

Operationel planlægning i forbindelse med jernbanedrift

Nadia Lyngaa Madsen & Tove Møller

Kongens Lyngby 2006
Eksamensprojekt-2006-13

Technical University of Denmark
Informatics and Mathematical Modelling
Building 321, DK-2800 Kongens Lyngby, Denmark
Phone +45 45253351, Fax +45 45882673
reception@imm.dtu.dk
www.imm.dtu.dk

Resumé

I projektet er udviklet en prototype på et beslutningsstøttesystem (BSS), engelsk: decision support system (DSS), der kan bruges til at hjælpe driftsledere med at træffe beslutninger i forstyrrede situationer i togtrafikken. Det er gennem samtaler erfaret, at driftslederne hos DSB baserer deres valg ud fra erfaring og simple værktøjer.

Prototypen er udviklet som en dynamisk diskret deterministisk simuleringssmodel i programmet Arena. Det er dog muligt at ændre modellen til en stokastisk simuleringssmodel, ved at indlæse forsinkelsesfordelinger.

Simuleringssmodellen indlæser originale køreplaner, materielomløbsplaner samt lokoførerturplaner, alle modtaget fra DSB. Da simulering ikke giver en løsning, men kan vise effekten af en valgt løsning, implementeres der i projektet otte genopretningsmetoder, der kan bruges til at rette op på forstyrrelser. Metodernes funktionalitet måles ud fra rettidighed og pålidelighed i systemet.

Under simuleringen er det muligt at få udskrevet advarsler, til både skærm og en fil, når en forstyrrelse opstår. Advarselne skrives ud i et skema, med oplysninger om hvilke tog, der er forsinket samt hvilke bindinger disse tog har. Det er muligt at vælge hvilke oplysninger, der ønskes udskrevet til advarselsskemaet, så dette kan tilpasses den enkelte bruger. Advarselsskemaet kan bruges til at opdage og håndtere forsinkelser inden disse spredes i systemet. Advarselsskemaet kan derfor betragtes som et første skridt mod et egentligt BSS.

Modellen agerer som forventet, og genopretningsmetoderne har vist sig at give gode resultater i forstyrrede situationer. Advarselsskemaet har vist sig at være et nyttigt hjælpeværktøj i en driftsleders arbejde.

Abstract

A prototype for a Decision Support System (DSS) to help train dispatchers in their decisions in disturbed situations, has been developed in this project. Through conversations with train dispatchers, it has been noticed that the train dispatchers at DSB (Danske Stats Baner) base their decisions on experience and simple tools.

The prototype has been developed as a dynamic discrete deterministic simulation model in the program Arena. It is possible to change the model to a stochastic simulation model by use of delay distributions.

The simulation model reads original time tables, rolling stock circulation plans and driver data, all received from DSB. Simulation does not give a solution but has the ability to show the effect of a given solution. Eight recovery methods have therefore been developed to recover from disturbances. The functionality of the recovery methods are measured as regularity and reliability.

During the simulation it is possible to receive warnings on screen and file when a disturbance occurs. The warnings will be sent to a file as a scheme with information about which trains are delayed and the connections of these trains. It is possible to choose what information to be in the scheme, in order to adjust the scheme for the user. The warning scheme can be used to discover and handle delays before these are spread to the system. The warning scheme can therefore be seen as a first step to a real DSS.

The model behaves as expected and the recovery methods have shown very good results in disturbed situations. The warning scheme has shown to be a useful tool for a train dispatcher.

Tak til

Vi vil gerne takke alle, der har bidraget med input og hjælp i forbindelse med projektets udførelse. En særlig tak til alle ansatte hos DSBs afdeling for Trafikkvalitet, specielt Claus Kirchoff Pedersen og Thomas Gordon Clausen. En stor tak til DSB driftsleder Henning Sørensen for sin imødekommenhed, samt Jens Johansen, DSB, for hjælp til håndtering af data. Vi vil ligeledes takke Jørn G. Larsen, Banedanmark, for at informere os om eksisterende beslutningsstøttesystemer.

Sidst vil vi takke projektets to vejledere Jesper Larsen, IMM, DTU og Allan Larsen, CTT, DTU.

Nadia Lyngaa Madsen

Tove Møller

DTU, Lyngby, februar 2006

Indhold

Resumé	i
Abstract	iii
Tak til	v
1 Indledning	1
1.1 Problemformulering	3
1.2 Rapportens inddeling	3
2 Introduktion til togtrafik	5
2.1 Togtrafik	5
2.2 Andre trafikformer	9
2.3 Begreber	11
3 Virksomhedsprofil af DSB	15

3.1	Fakta om den danske jernbane	15
3.2	Forstyrrelser hos DSB	17
3.3	DSBs personale	21
3.4	Analyse af en DSB driftsleder	29
3.5	DSBs rullende materiel	31
4	Simulering	33
4.1	Simulering i projektet	36
5	Beslutningsstøttesystemer	39
5.1	Forskellige planlægningsfaser	40
5.2	Teknikker til BSS	41
5.3	BSS i den operationelle planlægning	44
6	Genopretningsmetoder	49
6.1	Genopretning hos DSB	50
6.2	DSBs ventetidsregler	54
6.3	DSBs opfølgning på forstyrrelser	55
6.4	Genopretningsmetoder i projektet	59
7	Litteraturgennemgang	65
7.1	Operationel planlægning	66
7.2	BSS'er	66
7.3	Eksisterende BSS til operationel planlægning	69

7.4	Replanlægning i realtid	69
7.5	Analyse af driftsledere	71
7.6	Simulering i jernbanetrafikken	72
7.7	Taktisk materielplanlægning	74
7.8	Genopretningsmetoder	78
7.9	Samtidig genopretning af materiel og vagtplaner	81
8	Data	85
8.1	Materiel	85
8.2	Køreplan	87
8.3	Materieldata	87
8.4	Lokoførerdata	88
8.5	Togdata	89
8.6	Tognumre	89
8.7	Forsinkelsesfordelinger	91
9	Model	95
9.1	Arena	95
9.2	Beskrivelse af modellen	102
9.3	Forsinkelsesfordelinger	122
9.4	Advarsler	123
9.5	Kørselstider	123
9.6	Validering og verificering af model	124

10 Afprøvning af scenarier	129
10.1 Hverdagens forstyrrelser	130
10.2 Store forstyrrelser	132
10.3 Advarsler	141
11 Diskussion	143
11.1 Hverdagens forstyrrelser	144
11.2 Store forstyrrelser	145
11.3 Generelt	147
11.4 Diskussion af advarselskema	149
12 Fremtidigt arbejde	151
12.1 Simulering	151
12.2 Udvidelse af modellen	152
12.3 Fremtidige afprøvninger	153
13 Konklusion	155
A Stationer i modellen	157
B Variable i modellen	159
C Afstande mellem stationerne på Kystbanestrækningen	161
D Antal perroner på stationer i modellen	163
E Togfølgetider i modellen	165

Indledning

I togtrafikken kan en forstyrrelse få store konsekvenser, da jernbanens infrastruktur betyder at mange tog deles om de samme spor. Netop jernbanens begrænsede infrastruktur, gør at forsinkelser forårsaget af forstyrrelser hurtigt kan spredes til de tog, der opererer på jernbanen, med mindre der gøres noget aktivt for at håndtere forsinkelserne.

Togoperatører har driftsledere ansat til at overvåge og disponere togtrafikken. Driftsledernes opgave er, at træffe den endelige beslutning, om hvordan en opstået forstyrrelse håndteres.

For at blive driftsleder kræves flere års erfaring og viden fra togindustrien. Beslutninger, der træffes har indvirkning på mange passagerer, og det er derfor vigtigt, at driftslederne kender forholdene. Mange driftsledere har derfor udviklet en evne til at træffe beslutninger baseret på erfaring. Det er derfor interessant at se, om indførelse af et beslutningsstøttesystem, til at hjælpe driftslederne med at tage beslutninger i forstyrrede situationer, vil have indflydelse på togtrafikken.

I dette projekt udvikles en simuleringsmodel, der kan give advarsler, når der er forsinkelser i systemet. Advarslerne udskrives i et skema, der viser hvilke tog, der er forsinket og hvilke bindinger disse tog har. Driftslederne kan så ud fra dette skema vurdere, om der skal handles. Advarselsskemaet kan ses som

et første skridt mod et udviklet beslutningsstøttesystem til den operationelle planlægning i togtrafikken.

Til at undersøge beslutningsstøttesystemers effekt på togtrafikken, udvikles otte genopretningsmetoder, der er metoder til at rette op på forstyrrelser, så togtrafikken kan komme tilbage i balance, dvs. så togene igen kører efter deres køreplan.

For at vise genopretningsmetodernes funktionalitet på togtrafikken, simuleres det sjællandske jernbanenetværk i simuleringsprogrammet Arena, hvor reelle data indlæses.

Projektet er udført i samarbejde med DSB.

Det antages i rapporten, at læseren er bekendt med modellering, heuristikker og simulering.

1.1 Problemformulering

Vi ønsker at udvikle en prototype på et beslutningsstøttesystem, der kan forbedre beslutningsgrundlaget og dermed hjælpe DSBs driftsledere ved håndtering af driftsforstyrrelser. Beslutningsstøttesystemet skal kunne give advarsler ved forstyrrelser og deraf følgende mangel på materiel og lokoførere.

For at danne os et overblik over de problemer der opstår ved driftsforstyrrelser, har vi valgt at simulere jernbanenettet i simuleringsprogrammet Arena. Der udvikles en simuleringsmodel, der kun ser på DSBs sjællandske jernbanenetværk. Alle DSBs togafgange, bortset fra regionaltrafik i Jylland og på Fyn, vil dog indgå i modellen.

Til at vise om simuleringsmodellen agerer som ønsket i en forstyrret situation, og for at se hvordan forskellige beslutninger har indflydelse på togtrafikken, implementeres flere genopretningsmetoder. Metoderne afprøves for at teste deres funktionalitet. Det er vigtigt at holde sig for øje, at simulering ikke giver løsningsforslag til håndtering af forstyrrelser som resultat, men derimod kan vise, om der opstår problemer, der skal løses. Simulering kan ligeledes vise effekten af mulige valg.

For at få et indblik i de beslutninger som driftslederne hos DSB tager i deres dagligdag, samt hvilke hjælpemidler de har til rådighed, vil vi interviewe en af DSBs driftsledere. Vi vil i den forbindelse overvære driftslederens hverdag, undersøge hvilke programmer driftslederen har behov for, samt forhøre os om hvilke programmer, driftslederen mener, vil være mest effektive ved driftsforstyrrelser.

Et litteraturstudie over tidligere simuleringsprojekter samt eksisterende beslutningsstøttesystemer i både tog- og flyindustrien, vil ligeledes indgå i projektet. Der kortlægges også, hvilke beslutningsstøttesystemer DSB tidligere har forsøgt implementeret. Trafikstyringschef hos Banedanmark, Jørn G. Larsen, der har arbejdet med implementering af beslutningsstøttesystemer, vil i den forbindelse være interessant at tale med om hans erfaringer med beslutningsstøttesystemer.

1.2 Rapportens inddeling

Rapporten er inddelt kapitler, hvor kapitel 2 indeholder en generel introduktion til togtrafik. Her forklares desuden de begreber, som rapporten efterfølgende vil benytte.

I kapitel 3 gives en profil af virksomheden DSB, hvor der desuden gives en analyse af driftsleder baseret på interview og overværelse af arbejdsgang.

Derefter beskrives i kapitel 4 simulering som værktøj, og hvorfor netop simulering er valgt til dette projekt.

I kapitel 5 beskrives beslutningsstøttesystemers anvendelse i 3 forskellige planlægningsfaser, og mere specifikt i den operationelle planlægningsfase. Eksisterende beslutningsstøttesystemer i togtrafikken beskrives.

DSBs genopretningsmetoder og opfølgning på forstyrrelser, beskrives i kapitel 6, hvor også de i projektet implementerede genopretningsmetoder beskrives nærmere.

En gennemgang af litteraturen inden for simuleringsprojekter, beslutningsstøttesystemer og genopretningsmetoder til fly- og togtrafikken, er at finde i kapitel 7.

I kapitel 8 beskrives det data der er modtaget fra DSB, og som ligger til grund for alle oplysninger der indlæses i simuleringsmodellen.

En beskrivelse af hvordan simuleringsmodellen er udviklet, vil være at finde i kapitel 9, hvor også animationen til simuleringsmodellen betragtes. I kapitlet verificeres og valideres modellen ligeledes.

Afprøvninger af de implementerede genopretningsmetoder på forskellige scenarier, findes i kapitel 10. Det udviklede advarselsskema kommenteres ligeledes i dette kapitel.

Resultaterne fra afprøvningerne diskuteres i kapitel 11, hvor advarselsskemaets relevans ligeledes diskuteres.

Fremtidigt arbejde i forbindelse med simuleringsmodellen beskrives i kapitel 12.

Projektets konklusioner findes i kapitlet 13.

Bilag A-E indeholder en oversigt over samtlige stationer, variable, afstande, perroner og togfølgetider, der er benyttet i modellen. Modellen og det indlæste data kan findes på vedlagte CD-ROM.

Introduktion til togtrafik

I dette kapitel introduceres togtrafik. Da togtrafik adskiller sig fra andre former for trafik, sammenlignes med bus-, fly-, og biltrafik.

2.1 Togtrafik

Togtrafik, og kollektiv trafik generelt, er ifølge Kvist et al. [18] inde i en moderniseringsperiode, der skyldes den stigende teknologiske udvikling, de miljømæssige behov og det forældede eksisterende udstyr. I den politiske verden er togtrafikken også kommet på dagsordenen, og det skal inden for de nærmeste år være nemmere for passagerer, at transportere sig gennem det meste af Europa via tog.

Sammenlignet med andre former for trafik adskiller togtrafik sig ved udelukkende at være kollektiv. Der er langt flere bindinger i togtrafik end i andre former for trafik, i form af sikkerhedssystemer, anderledes infrastruktur, der bl.a. betyder færre overhalingsmuligheder og færre alternative ruter mm.

Togtrafik består både af persontog og godstog. Da DSB ikke administrerer godstog, beskrives godstog ikke nærmere i det efterfølgende. Rapporten beskæftiger

sig i stedet udelukkende med persontog.

Persontog kan inddeles i de følgende togtyper:

- Fjerntog (InterCity, InterCityLyn og internationale tog)
- Regionaltog
- Øresundstog (der kører mellem Sverige og Danmark)

2.1.1 Køreplaner

Hos togoperatører udarbejdes køreplaner for alle tog, så passagerer ved hvornår togene afgår, sammenstød undgås, alle stationer dækkes, så flere tog ikke holder i kø foran den samme station osv. Køreplaner udarbejdes altså på en måde, der giver et godt flow igennem netværket, så infrastruktur og materiel udnyttes bedst muligt.

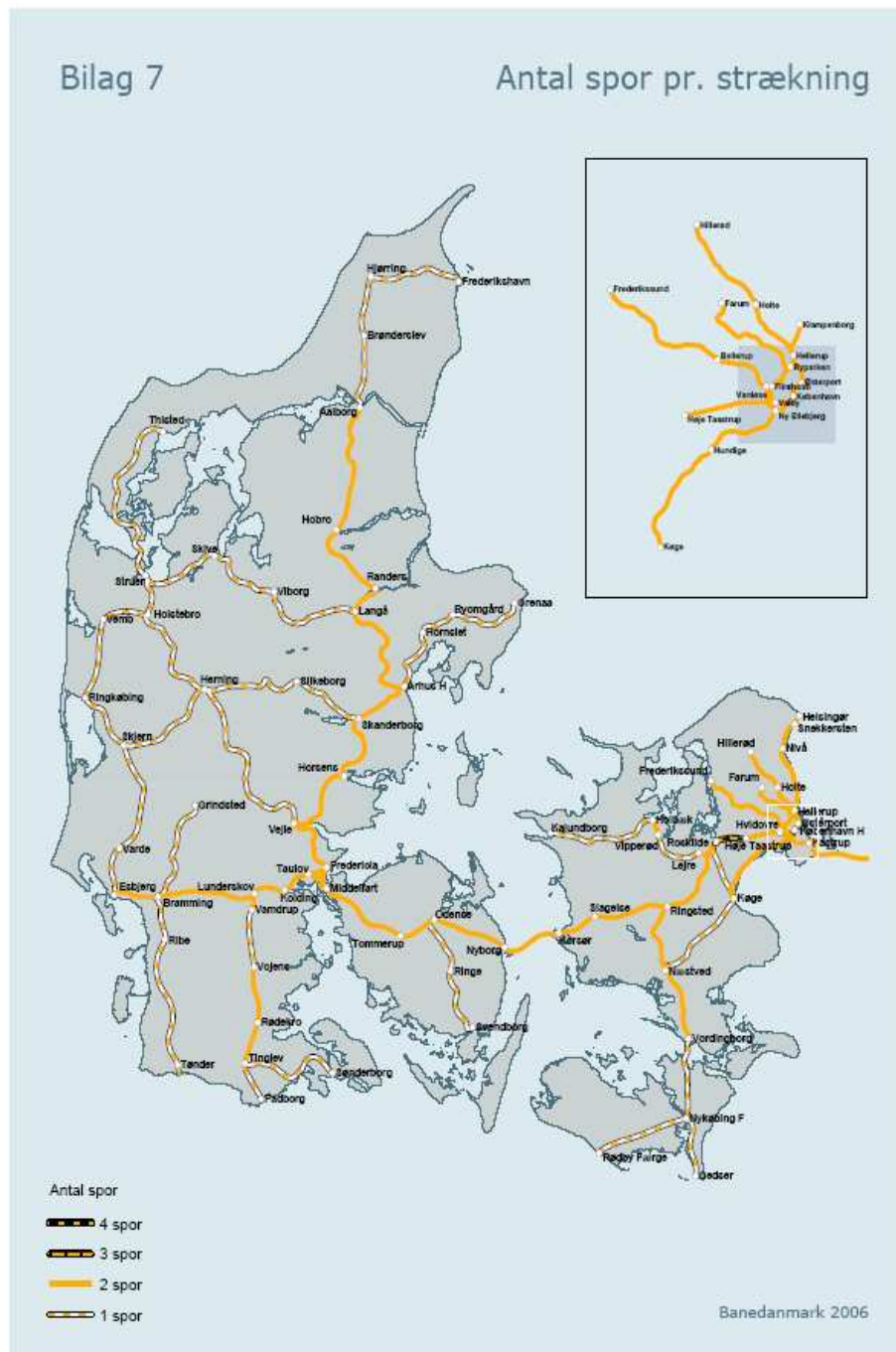
I køreplanen tilknyttes et bestemt tog til hver afgang, bestemt ud fra hvert afgangs unikke tognummer. Hos DSB gælder der, at hvis tognummeret er lige betyder, det at toget kører *mod* København, er tognummeret derimod ulige betyder det at toget kører *fra* København. F.eks. kører toget med tognummer 14 fra Lindholm station til Københavns Hovedbanegård (København H.), mens toget med tognummer 15 kører fra København H. til Lindholm station. Der er dog visse undtagelser gældende for de tog, der kun kører i Jylland eller på Fyn.

Et togs gennemsnitsfart defineret i køreplanen, bestemmes ud fra standsningsmønster, materiellets tophastighed, acceleration samt infrastrukturens tilladte hastigheder, der i Danmark fastsættes af Banedanmark.

2.1.2 Kapacitetsforhold

Togtrafik er generelt kendt ved de meget begrænsede overhalingsmuligheder de enkelte tog imellem. Det betyder, at rejsetiden for et tog, kan have indflydelse på rejsetiden for andre tog. Manglen på kontinuerte overhalingsmuligheder giver derfor mange afhængigheder (bindinger) imellem de enkelte togafgange. Denne afhængighed opleves både i planlægningsfasen, hvor køreplaner udarbejdes, samt i trafikafviklingsfasen (den operationelle fase), ved at forsinkelser breder sig til andre tog.

Kapacitet defineres ofte som trafikintensitet, altså antallet af tog pr. tidsenhed på et givent sted. Ifølge Landex [19] kan kapacitet alternativt defineres som



Figur 2.1: Antallet af spor pr. strækning i Danmark [3]

”Infrastrukturens evne til at håndtere en eller flere køreplaner”. Landex mener desuden, at det almindeligste tiltag til at øge kapaciteten er at forlænge rejsetiden for de gennemkørende (de hurtige tog). Når hastigheden ensartes, øges kapaciteten på bekostning af rejsetiden for de gennemkørende tog [19].

2.1.3 Enkeltsporede strækninger

Enkeltsporede strækninger har anderledes kapacitets- og rejsetidsforhold. For to eller flere tog med modsat kørselsretning, gælder der, at de er afhængige af, at kunne passere hinanden på udvalgte stationer, såkaldte krydsningsstationer. Disse stationer er ikke nødvendigvis placeret der, hvor togene naturligt mødes på strækningen. Passagen må derfor foregå ved den nærmeste station eller sidespor, hvilket kan medføre ventetid. Som det ses på figur 2.1 er store dele af Jylland og flere regionale dele af Fyn og Sjælland enkeltsporet.

Antallet af afgang, kaldet frekvensen, på en strækning afhænger i høj grad af infrastrukturens kapacitetsforhold. På en enkeltsporet strækning er der en begrænsning på antallet af tog pr. time. Som et eksempel på, hvordan antallet af pladser kan øges på en enkeltsporet strækning, kan det nævnes at DSB i stedet for at øge antallet af afgang på strækningen København H. - Holbæk, har indsat dobbeltdækkermateriel som et alternativ. Som det ses på figur 2.1, er der enkeltsporet en del af denne strækning.

2.1.4 Trafikkø

Køfænomenet som man kender det fra eksempelvis biltrafik, optræder ikke så hyppigt i togtrafik, da togtrafikken er planlagt og eventuelle køer er planlagt væk. Ifølge Landex [19] kan køfænomenet dog optræde ved følgende hændelser i togtrafikken:

- Forsinkelser, i form af uplanlagte afvigelser fra køreplanen. Disse forsinkelser opstår i afviklingsfasen, her og nu.
- Rejsetidsforlængelse, i form af ekstra tid der indarbejdes i køreplanen for at undgå forsinkelser. Rejsetidsforlængelsen indarbejdes i planlægningsfasen.

Begge hændelser giver køteoretisk ventetid, men opfattes forskelligt af passagerene.

For at sikre at to tog i samme retning ikke kolliderer, er der indført en sikkerhedsafstand kaldet *togfølgetid*. Togfølgetiden er defineret som den mindst mulige tid mellem to tog i samme retning. Størrelsen afhænger af den enkelte strækning hvor på togene befinder sig, bremseudstyr, sikkerhedsudstyr mm. For uddybelse omkring dette, se afsnit om togfølgetid i [19].

2.2 Andre trafikformer

2.2.1 Bustrafik

Bustrafik kan være både kollektiv og privat. Kollektiv bustrafik er ligesom togtrafik inddelt i planlagte strækninger, oftest kaldet linjer. Kollektiv bustrafik er kendetegnet ved mange stoppesteder i løbet af en tur, og afstandene mellem to stoppesteder er ofte mindre, end afstanden mellem to stationer i togtrafikken. I de større byer er der mange buslinjer der krydser de samme stoppesteder, hvilket giver flere mulige rutevalg for passagererne.

I modsætning til togtrafik, kan der i bustrafikken findes alternative ruter hvis der er opstået forstyrrelser i form af kø eller lukkede veje. Dette giver en større fleksibilitet når forstyrrelser skal håndteres. Der er i bustrafikken ikke samme muligheder for at indsætte ekstra 'vogne' på bussen, f.eks. i myldretiden, som det er gældende for togtrafikken.

2.2.2 Flytrafik

Flytrafik er både kollektiv og privat. Der er ikke stoppesteder undervejs på turen som i togtrafikken, men der kan forekomme mellemlandinger ved rejser over større afstande.

Et fly kan holdes tilbage 10-15 min (eller mere), hvis piloten mangler eller der er opstået andre forstyrrelser. Dette er derimod ikke en god løsning i togtrafikken, da et tog der holdes tilbage bare i kort tid, kan betyde forsinkelser for andre tog, manglende forbindelser til senere afgang eller i værste fald sammenstød med et eller flere tog senere på turen. I togtrafikken er der få skinner som mange tog skal benytte, hvilket ikke optræder på samme måde for flytrafikken. En 10 minutters forsinkelse betyder meget i togtrafikken, da forsinkelsen kan være svær at hente, mens den i flytrafikken næsten er ubetydelig.

I Danmark er den kollektive flytrafik ved at få større indpas, da indenrigs-

flyvninger mellem f.eks. Ålborg-København og Bornholm-København tager under 1 time, og da priserne (på billigdage) kan konkurrere med prisen på en tilsvarende rejse med tog.

2.2.3 Biltrafik

Biltrafikken adskiller sig fra togtrafikken ved primært at være privat og ikke efter en plan, da hver afgang udelukkende afhænger af den enkelte bilist. Der er således ingen bestemte afgang- og ankomsttider, eller start og slutstationer. Biltrafikken adskiller sig ligeledes ved at have en anderledes infrastruktur. Der findes ofte alternative ruter fra et sted til et andet.

Forstyrrelser i biltrafikken opstår oftest i myldretiden, hvor trafikken er tættest eller ved vejarbejde, der betyder spærring af bestemte veje, og medfører kødannelse.

2.2.4 Klargøring af materiel

Al materiel skal med jævne mellemrum til klargøring. Klargøring indebærer både teknisk fejlretning, vask, dieselpåfyldning, rengøring mm.

Hos DSB bliver der lagt klargøringsopgaver ind i materielomløbsplanerne og disse bliver så løbende justeret i den operationelle fase. DSB har tre klargøringscentre på Sjælland, Klargøringscenter Københavns Hovedbanegård, Klargøringscenter Kastrup og Klargøringscenter Helgoland.

Hvis et tog ikke skal til klargøring efter endt tur, er det lokoførerens job at udføre mindre klargøringsopgaver.

2.3 Begreber

I dette afsnit beskrives de begreber der efterfølgende benyttes i rapporten. Begreberne er inspireret af både litteraturen og af DSB.

2.3.1 Generelle begreber

Forstyrrelser: Forstyrrelser (engelsk: *disruptions* eller *disturbances*) benyttes i rapporten for alle hændelser, hvad enten der er tale om menneskelige fejl, vejrforhold eller andet, der medfører en forsinkelse.

Genopretning: Genopretning (engelsk: *recovery*) er en metode til at få et system tilbage i balance efter en eller flere opståede forstyrrelser. Systemet er genoprettet når det igen kører efter planen.

Model: En model er en beskrivelse af en afgrænset del af virkeligheden, i et sprog der er valgt ud fra det modellen skal benyttes til.

Beslutningsstøttesystem: Et beslutningsstøttesystem (BSS) (engelsk: *decision support system* (DSS)) er et værktøj, der kan hjælpe en beslutningstager med at træffe beslutninger i forstyrrede situationer.

2.3.2 Begreber i togtrafikken

Rettidighed: Rettidighed (engelsk: *regularity*) er et udtryk for hvor mange tog, der kører til tiden.

Pålidelig: Pålidelighed (engelsk: *reliability*) er et udtryk for hvor mange tog, der rent faktisk afgår, i forhold til det planlagte antal afgange.

Materiel: Togvogne kaldes i rapporten for materiel (engelsk: *rolling stock*).

Togsæt: Et togsæt er en selvkørende enhed, der kan kobles sammen med andre togsæt.

Togstamme: En togstamme er et samlet begreb for materiel. Der er en togstamme i hver afgang. En togstamme kan enten bestå af et togsæt eller et antal personvogne trukket af et lokomotiv.

Togvogn: I modellen bruges togvogn om mindre dele af en togstamme, hvad enten det er et togsæt eller en togvogn.

Driftsleder: En driftsleder (engelsk: *operator* eller *train dispatcher*) er den person der overvåger togtrafikken, og tager beslutninger, hvis der opstår problemer, der skal løses.

Togleder: Banedanmark kalder deres driftsledere for togledere (engelsk: *train controller*).

Disponering: Når en driftsleder træffer en beslutning og udfører den, kaldes

dette for disponering.

Materiel omløbsplan: Der benyttes en materiel omløbsplan, til at planlægge hvilke afgang materiellet skal køre (engelsk: *circulation of rolling stock*) i løbet af dagen.

Replanlægning: Replanlægning (engelsk: *re-planning*), er en kontinuerlig ændring af trafikken, så afviklingen forbedres.

Køreplan: En køreplan (engelsk: *train schedule* eller *time table*) er den plan togene følger.

Strækning: Strækning (engelsk: *train serie* eller *line*) er et togs tur fra startstation til endestation.

Infrastruktur: Infrastrukturen er defineret som det netværk, togene befinder sig i, dvs. hele jernbanen. Infrastrukturen inkluderer skinner, stationer, signaler mm.

Rangering: Rangering (engelsk: *shunting*) er en operation til omrokering af materiel.

Rangerplads: Rangerplads (engelsk: *shunting area*) er det område hvor rangeringen finder sted.

Rangerspor: Rangerspor (engelsk: *shunt track*) er de spor der fører til rangerpladsen.

Tilkobling og afkobling af vogne: Tilkobling (engelsk: *couple*) og afkobling (engelsk: *uncouple*) betyder at materiel enten sættes på togstammen, eller fjernes fra togstammen.

Opformering: Opformering (engelsk: *combining*) er når to eller flere tog, der kommer fra forskellige retninger kobles til et samlet tog, for derefter at køre videre som et tog.

Nedformering: Nedformering (engelsk: *splitting*) betyder at materiel fra en togstamme deles til to eller flere togsæt.

Trafik overvågning: Trafik overvågning (engelsk: *traffic control*) er en del af driftslederens arbejdsopgaver.

Tomkørsel: Tomkørsel (engelsk: *deadheading*) er når eksempelvis materiel transporteres uden passagerer fra en station til en anden, f.eks. hen til materiellets afgangsstation den efterfølgende morgen. Tomkørsel kan ligeledes være når en lokofører transporteres fra en station til en anden, uden at betjene toget.

Tilslutning: En tilslutning betyder at et tog skal afvente andre tog, på bestemte stationer.

2.3.3 Begreber i simulering

Simulerings model: En simulerings model, er en computerbaseret model af et virkeligt system med den hensigt, at illustrere hvordan det definerede system opfører sig.

Simulering: Simulering er en metode til at løse et problem, ved at benytte en

simulerings model.

Simulering på makroniveau: En simuleringsmodel på makroniveau indeholder ikke alle detaljer fra det virkelige system, men er opbygget af nogle detaljer samt antagelser.

Simulering på mikroniveau: En simuleringsmodel på mikroniveau indeholder alle detaljer fra det virkelige system. En simuleringsmodel på mikroniveau er således en mere eksakt repræsentation af virkelighedens system.

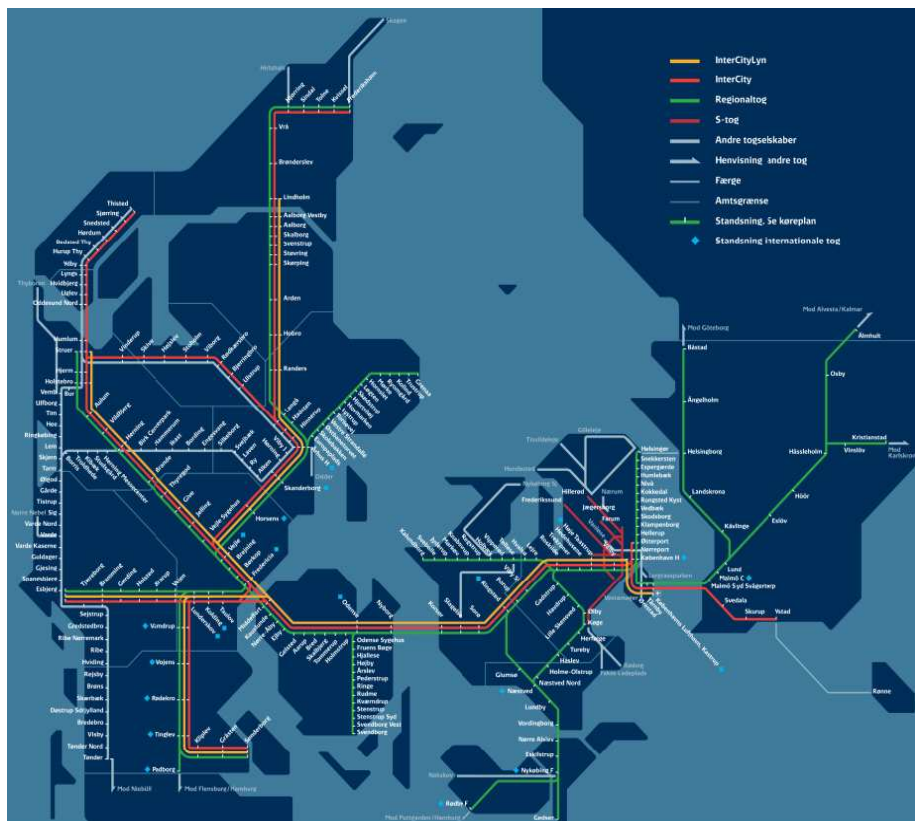
Virksomhedsprofil af DSB

Oplysninger benyttet i dette kapitel er primært hentet fra DSBs Årsberetning 2004 [7], DSBs hjemmeside [8], Banedanmarks netredegørelse for 2006 [3] samt fra Banedanmarks hjemmeside [4].

DSB er en forkortelse for ”Danske Stats Baner”, og har eksisteret i mere end 100 år. DSB er hovedaktør på togtrafikken i Danmark, hvor DSB i dag kun varetager passagertrafik og ikke godstransport som tidligere. Det danske marked er DSBs kernemarked, men i den internationale strategi har DSB en række fokusmarkeder, som Sverige, Norge, Storbritannien og Tyskland.

3.1 Fakta om den danske jernbane

DSB betjener de største passagerstrækninger på den danske jernbane, se figur 3.1. På figuren ses DSBs tre hovedstrækninger: den gule linje (InterCityLyn), den røde linje (InterCity) samt den grønne linje (Regional). Som det fremgår af figuren er der også andre togoperatører på det danske marked. DSB S-tog, der er en del af DSB Koncernen, og ejes 100 % af DSB, administrerer den mørkerøde linje. DSB S-tog opererer kun med tog i Hovedstadsområdet, og benytter særlige skinner til deres tog. S-togene dækker 11 forskellige strækninger, kaldet linjer,



Figur 3.1: DSBs danske strækninger

som alle kører hvert 20. min. i dag- og aften timer.

De grå linjer på figur 3.1 administreres af andre togselskaber, som eksempelvis Railion og Arriva.

Banedanmark er en statsejet virksomhed, der hører under Transport- og Energiministeriet, der udbyder skinner til togoperatørerne i Danmark. Banedanmark har ansvaret for vedligeholdelse af skinner, signaler, jernbaneoverskæringer, stationer mm. Det er Banedanmark der fastsætter hastigheden på en given strækning, DSB og andre danske togoperatører benytter. Figur 3.2 viser bl.a. hvor mange tog, der hver dag benytter sig af Banedanmarks skinner.

Tog i døgnet	1400 intercity- og regionaltog 1100 S-tog 170 godstog
Banelængde	2.323 km
Sporlængde	3.240 km
Broer	2.342
Areal	5.500 ha

Figur 3.2: Jernbane fakta [4]

3.1.1 DSBs passagerer

DSB er som sagt hovedaktør på passagertransporten i Danmark. På figur 3.3 kan det ses, hvor mange passagerer DSB havde i 2003 og 2004.

I de kommende 9 år (2006-2014) vil der blive gennemført offentlige udbud på togstrækninger, hvilket kan betyde en svækkelse i DSBs passagerandel.

Passagerer (antal 1000)	2004	2003	Ændring
Øst	34.413	34.065	1%
Vest	12.444	12.080	3%
Øst/Vest	7.848	7.557	4%
Øresund	5.776	5.222	11%
Internationale rejser	883	886	-
Fjern- og regionaltrafik	61.364	59.810	3%
Trafik i udlandet	9.700	9.680	-
S-tog inkl. Lille Nord	89.575	88.374	1%
Passagerer i alt	160.639	157.864	2%

Figur 3.3: DSBs passagerantal 2003 og 2004 (i 1000), [7].

3.2 Forstyrrelser hos DSB

Forstyrrelser opstår nemt i togtrafikken, og kan skyldes flere ting, som f.eks. materielle fejl i form af nedbrydning, problemer med at lukke døre i toget eller

lign. Forstyrrelser kan ligeledes skyldes menneskelige fejl, som f.eks. en forsinket lokofører eller togfører.

Forstyrrelser behøver dog ikke kun at skyldes materiel- eller personfejl, men kan også skyldes defekte skinner eller signaler, der så betyder en hastighedsnedsættelse eller spærring af en bestemt strækning. Vind- og vejrforhold spiller ligeledes en stor rolle. Her er forstyrrelserne sæsonpræget, hvor der om sommeren kan opstå ”solkurver”, hvor skinnerne bliver så varme at de udvider sig, om efteråret hvor der falder løv, der gør skinnerne glatte, og om vinteren hvor sne og frost kan skabe problemer i sporskifterne.

Sæsonprægede forstyrrelser er mulige at forudsige, hvorimod andre forstyrrelser derimod er umulige at forudsige, som eksempelvis terrortrusler, personpåkørsel eller uvarslede strejker blandt personalet.

Hos DSB inddeles forstyrrelser i to grupper efter forstyrrelsernes størrelse; *hverdagens forstyrrelser* og *store forstyrrelser*. Hverdagens forstyrrelser er de mindre forstyrrelser der opstår i dagligdagen, hvorimod store forstyrrelser ofte er de mere uforudsigelige forstyrrelser.

Forsinkelser forårsaget af en eller flere forstyrrelser, kan opdeles i to grupper efter forsinkelsernes indvirken på øvrige tog:

- Primære forsinkelser, der er en direkte effekt af forstyrrelsen.
- Sekundære forsinkelser, der er forsinkelser på de tog, der interagerer med tog der har primære forsinkelser.

En primær forsinkelse kan eksempelvis være, hvis et tog afgår for sent fra sin startstation og derved forsinkes resten af turen. Hvis dette påvirker andre tog, kaldes disse forsinkelser for sekundære.

3.2.1 Rettidighed og pålidelighed

Rettidighed benyttes i togtrafikken som et begreb for hvor mange tog, der ankommer til tiden i forhold til den pågældende køreplan. Der registreres af praktiske årsager ikke ankomsttider på alle togstationer i Danmark. Der er derfor udvalgt 43 såkaldte registreringsstationer, der giver et dækkende billede af rettidigheden. Det er ikke DSB selv, men Banedanmark, der måler DSBs rettidighed. Pålideligheden er et mål for hvor mange af de planlagte afgang, der realiseres. Togoperatører på den danske jernbane måles ud fra rettidighed og pålidelighed.

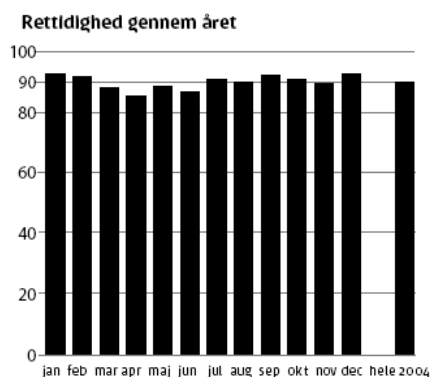
3.2.1.1 Rettidighed

I Danmark defineres et tog som rettidigt, når det er ankommet til en registreringsstation med mellem 0 og 5:59 min. forsinkelse, der er dog andre regler for S-togtrafikken. Definitionen af rettidigheden er et politisk spørgsmål, som DSB eller andre togoperatører ikke alene kan bestemme.

Rettidigheden udregnes på følgende måde

$$1 - \frac{\text{Antallet af forsinkede afgang}}{\text{Antallet af de totale afgang}}$$

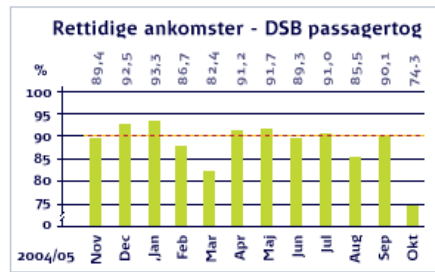
Det er DSBs mål at antallet af rettidige ankomster i 2006 er 90 %. [8]. På figur 3.4 ses rettidigheden for samtlige af DSBs passagertog gennem hele år 2004, med et gennemsnit på 90 %.



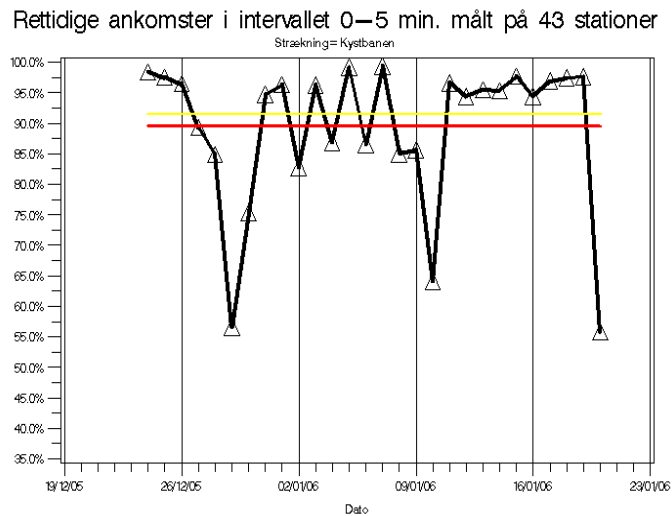
Figur 3.4: DSBs rettidighed gennem år 2004 [7].

På figur 3.5 ses ligeledes rettidigheden af samtlige af DSBs passagertog fra november 2004 til oktober 2005. Den gennemsnitlige rettidighed er her udregnet til 88 %. Sammenlignet med 2004, figur 3.4, er DSBs rettidighed altså faldet fra 2004 til 2005.

DSB måler desuden rettidighed for enkelte strækninger, som bl.a. Kystbane-strækningen, der beskrives senere i rapporten. Rettidigheden på denne strækning fremgår af figur 3.6.



Figur 3.5: DSBs rettidighed november 2004 til oktober 2005 [8].



Figur 3.6: DSBs rettidighed for Kystbanestrækningen december 2005 til januar 2006, modtaget fra DSB.

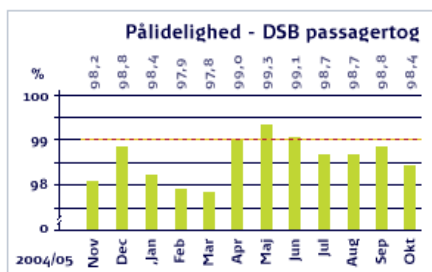
3.2.1.2 Pålidelighed

Pålidelighed er et udtryk for hvor mange af de planlagte afgangene, der rent faktisk afvikles. Pålideligheden udregnes ud fra følgende:

$$\frac{\text{Antallet af afviklede afgangene}}{\text{Antallet af planlagte afgangene}}$$

DSBs pålidelighed fra november 2004 til oktober 2005, ses på figur 3.7. Den gennemsnitlige pålidelighed er udregnet til 98,6 %.

DSBs mål for pålidelighed i 2006 er 99%.



Figur 3.7: DSBs pålidelighed november 2004 til oktober 2005 [8].

3.3 DSBs personale

3.3.1 Lokoførere

DSB har knap 600 lokoførere på arbejde i løbet af 24 timer. Heraf sidder fire lokoførere klar som reserver på København H., en som reserve på Fredericia station og en som reserve på Århus Banegård. Hver lokofører følger en nøje planlagt turplan for dagen. Et eksempel på en turplan er vist på figur 3.8. Reserverne har derimod ingen planlagte opgaver i løbet af dagen, men sidder klar til at varetage en opgave hvis der opstår en forstyrrelse. På København H. er to af lokoførerne tilknyttet to Øresundstog, der står klar til indsættelse ved forsinkelser i Øresundssystemet, som beskrives nærmere i afsnit 6.1.2. Hverken tog eller lokoførere kan benyttes til andre opgaver.

En lokofører uddannes ikke til at betjene alle materieltyper, men starter med en type og videreuddannes derefter til flere typer. Dette giver nogle problemer i forbindelse med planlægningen af vagtplan for lokoførerne. DSB kan derfor ikke "bare" indsætte en reservelokofører, hvis der opstår problemer, da lokoføreren ikke nødvendigvis har den relevante uddannelse til at udføre det pågældende job.

Turplan Kh Tur 148 6 Lkf

Blad nr 1
Gen. tj. tid: 5:23

Drift, Turplanlægning	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1 Ma 04:54										[ETS]															
1 Ti 06:25																									
1 On 06:25																									
1 To																									
1 Fr 06:27																									
1 Lø 06:25																									
1 Sø 06:25																									
2 Ma 07:56																									
2 Ti 07:56																									
2 On 07:56																									
2 To 07:56																									
2 Fr																									
2 Lø																									
2 Sø 09:00																									

Dammet 06.08.05 14:38

Figur 3.8: Turplan for en DSB lokofører [9].

Lokoførere må maksimalt arbejde 7 timer i løbet af en dag. Derudover har lokoførere krav på enten en pause af 30 min., eller to pauser af 20 min. i løbet af sin arbejdsdag. En lokofører kan ikke påbegynde sin tur på en hvilken som helst station, men skal begynde turen på en depotstation. Depotstationerne er placeret forskellige geografiske steder i landet, se figur 3.9, og fælles for disse stationer er at de er både start- og endestationer for flere tog. Ligeledes foregår skift mellem lokoførere på samme tog oftest også på disse depotstationer. Er der opstået en forstyrrelse, kan en lokofører skifte tur på andre stationer end på en depotstation. En lokofører kan kun holde pause på bestemte stationer,



Figur 3.9: Oversigt over DSBs depotstationer [9].

de såkaldte pausestationer. Grunden til dette er, at der skal være forskellige faciliteter til rådighed på stationen som eksempelvis køkken, toilet og opholdsrum. Alle DSBs depotstationer fungerer også som pausestationer.

Da Øresundssystemet er et dansk/svensk samarbejde, er der en ca. 50 – 50 fordeling af danske og svenske lokoførere på Øresundsbanen. Svenske lokoførere kører dog kun på dansk grund indtil København H., og danske lokoførere kører ligeledes kun på svensk grund indtil Malmø. Dette skyldes bl.a., at der er forskel på de danske og svenske signaler samt forskellige sikkerhedskrav i de to lande.

3.3.2 Togpersonale

Udover lokoføreren er også en togfører tilknyttet hver afgang. Ved InterCity og InterCityLyn afgange er der desuden togsteward og togstewardesser ombord på afgang.

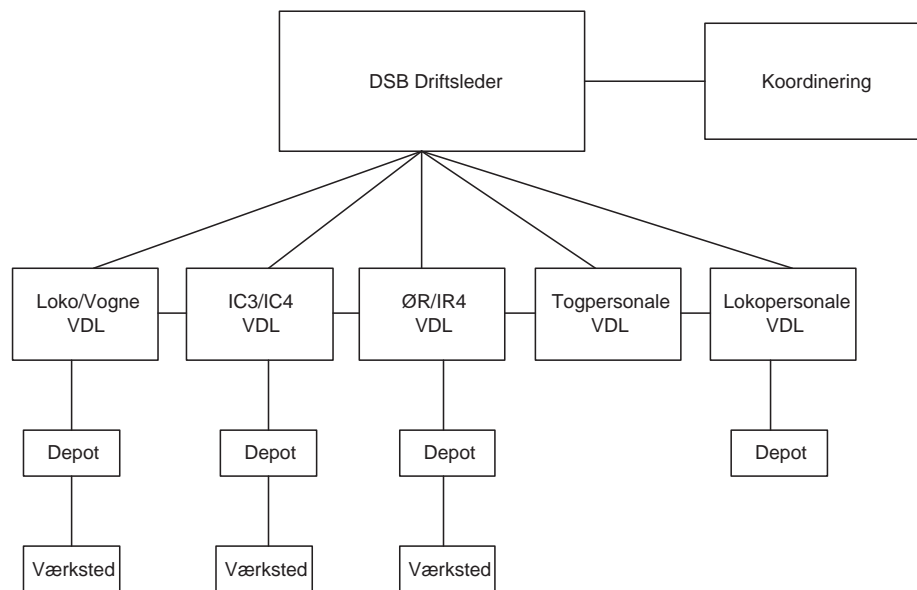
En togførers arbejde består i at kontrollere billetter, vise passagerne på plads, informere om ændringer og togskifte osv. Det er i det hele taget togførerens job at tage sig af alle serviceopgaver. Det er desuden togføreren, der giver signal til lokoføreren ved afgang.

En togsteward eller togstewardesse går rundt i toget (primært InterCity og InterCityLyn) med sin salgsvogn, så passagererne kan købe varer fra deres plads i toget.

3.3.3 Driftsledere

I DSBs kontrolcenter ved København H., kaldet Driftscenter Danmark, sidder tre driftsledere fra DSB og tre togledere fra Banedanmark, 24 timer i døgnet. To af DSBs driftsledere styrer togdriften i henholdsvis Øst- og Vestdanmark. Den tredje styrer kontakten til togpersonale, lokoførere samt kommunikationen udadtil, det vil sige meddelelser til DSBs skærme på perronerne, sms tjenester, meddelelser på internettet mm. Udover disse tre DSB medarbejdere er der desuden en fjerde driftsleder, der følger trafikken på perronerne på København H., og hjælper togpersonale og kunder hvis der er sket ændringer.

En driftsleder (engelsk: train dispatcher) er den person der overvåger togdriften og tager de endelige beslutninger hvis der opstår forstyrrelser. En driftsleders job er at sikre at togene kommer frem, til der hvor de skal, uden problemer. Ved at holde sig ajour med informationer om vejrforhold, nødstop, forsinkelser og ulykker, er det driftslederens ansvar at bestemme hvordan alle tog bedst muligt sendes til deres endestationer sikkert og effektivt. Ved at ændre i de planlagte afgange, forsøger driftslederen at håndtere forstyrrelsernes effekt i resten af netværket. Dette kan f.eks. være ved at ændre ankomst- eller afgangstid, ændre to togs planlagte krydsningsstation, samt forsøge at minimere de forsinkelser der påvirker andre tog. Denne omlægning af trafikken er meget krævende og er af stor kompleksitet. Alligevel foregår planlægningen oftest ud fra manuelle metoder samt tommelfingerregler. Driftslederen har begrænset indflydelse på primære forsinkelser, men har ifølge Kvist et al. [18] en nøglerolle ved sekundære forsinkelser.



Figur 3.10: Oversigt over DSB driftsledere og VDL'ere.

Togenes positioner måles kun på bestemte stationer, registreringsstationerne som beskrevet tidligere. Dette gør det svært for driftslederen at beregne en forstyrrelses indflydelse på resten af systemet, da driftslederen er nødt til at vente på, at tog, der forsinkes ved en ikke-registreringsstation, er ankommet til en registreringsstation så driftslederen kan få oplysninger om eventuelle forsinkelser. For at en driftsleder kan tage så gode beslutninger som muligt, skal driftslederen ifølge Kvist et al. [18] have adgang til gode modeller og til den "rigtige" information. Forfatterne mener altså, at det er nødvendigt at driftsledere har programmer og redskaber til rådighed, der kan give information om forskellige typer af forstyrrelser.

DSBs driftsledere er alle folk med baggrund og erfaring inden for togoperationer. De har enten en baggrund som lokoførere, værkstedsmedarbejdere, skinnemedarbejdere eller lign. Der kræves nemlig en stor indsigt og kendskab til de forskellige togtyper, ruter, stationsstrukturer mm. for at kunne træffe de beslutninger som en driftsleder dagligt skal træffe.

Det er vigtigt at en driftsleder opfører sig roligt, og ikke lader sig påvirke af, at der er opstået forsinkelser. Lader driftslederen sig påvirke og bliver stresset, kan situationen blot forværres og blive endnu mere kompleks.

3.3.4 Vagthavende driftsledere

Det er en af de vagthavende driftsledere (VDL'er), der har ansvaret for, at der er en lokofører på hver afgang, at lokoføreren kan betjene toget og, at lokoføreren har tid til den pågældende tur (fagforeningsregler overholdes osv.) Når en driftsleder, tager en beslutning om f.eks. at vende et tog før endestationen for at toget kan køre rettidigt den modsatte vej, skal driftslederen derfor først kommunikere dette ud til VDL'eren, der så undersøger hvilken lokofører og personale, der skal tilknyttes toget. Før driftslederen kan tage beslutningen, skal han altså først kommunikere med VDL'eren, der sidder et andet sted i landet. Figur 3.10 viser hvordan DSBs VDL'ere har ansvaret for forskellige områder.

En anden VDL'er sidder med ansvaret for materiel. Det er dennes opgave at tildele materiel til alle afgang. VDL'eren har ansvaret for at al materiel er på dets startstation fra morgenstunden af. Det betyder i praksis, at når driftslederen tager en beslutning, skal denne drøftes med personale-VDL'eren og med materiel-VDL'eren. En beslutning truffet af driftslederen skal altså først diskuteres med to andre, som så skal undersøge om beslutningen er mulig, for så at vende tilbage til driftslederen med svar. En beslutning truffet af driftslederen kan således tage et par minutter, før den bliver en realitet.

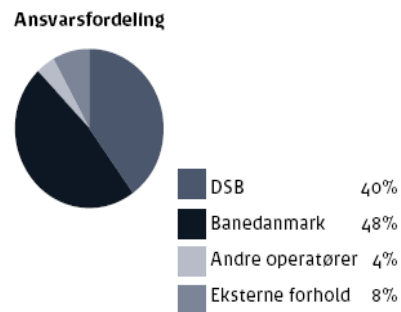
Et program der hurtigt kan beregne konsekvensen af driftslederens beslutning, vil kunne betyde at driftslederen og VDL'erne sparer meget tid i form af kommunikationen frem og tilbage.

3.3.5 Rapportering

DSBs driftsleder udarbejder på sin vagt en såkaldt døgnrapport over de problemer, der er opstået, de valg, der er foretaget for at håndtere forstyrrelsen osv. Banedanmarks togledere udarbejder ligeledes en driftsrapport.

Dagen efter en forstyrrelses indtræden, sammenholder DSBs afdeling for Trafik-kvalitet døgnrapporten med driftsrapporten, for i de tilfælde hvor der ikke er overensstemmelse imellem disse, at rette fejlen og placere ansvaret.

En driftsrapport dokumenterer fejl som f.eks. forsinkede tog. Alle tog som forsinkes mere end fem minutter knyttes til en driftsrapport. Driftsrapporten fortæller hvad der gik galt, årsagen til forstyrrelsen og hvor mange tog der efterfølgende blev forsinket på grund af den pågældende forstyrrelse. På figur 3.12 er vist et eksempel på en driftsrapport.



Figur 3.11: Ansvarsfordeling over forsinkelser i Danmark i 2004 [7].

Driftsrapporten beskriver hvilke tog, der er årsag til en given forstyrrelse, og hvilke tog forstyrrelsen efterfølgende har konsekvenser for. I dette eksempel viste det sig, at forstyrrelsen skyldtes at lokoføreren var i det forkerte tog, så et tog ikke blev afkoblet som planlagt.

Hos DSB benyttes driftsrapporterne som inspiration til at lære af tidligere fejl, da de fejl, der ses flere gange, således kan undgås. Denne opfølgingsproces beskrives nærmere i afsnit 6.3.

Banedanmark							
DSB-TGC							Side 1 af 1
Driftrapport: 632305 Tgf i forkert tog (HJ)							
Tognummer	Tidspunkt	Planafvig.	Station	Litra	Nummer af flygte/falt besatte tog		
IC 133	20.04.2005 10:06	-6	København H				0/2
Årsag				Ansvarlig			
612 Togpersonale				DSB Togpersonale			
Modtagere							
DSB Trafik, Driftledelsen		Trafikal opfølgning DSB		Trafikal opfølgning DSB			
DSB Togservice		Togpersonale kontoret					
Anmeldt af		Tidspunkt					
KH-KH		20.04.2005 10:14					
Opfølgning / Svar							
Ann. af	Tidspunkt	Tekst					
DSB-JOBEN	20.04 10:38	Ansvarsgruppe ændret fra DSB Driftledelse (777) til DSB passage (836).					
DSB-JOBEN	20.04 10:38	Der skulle have været afkoblet i ankomst Kh, men pas tgf fra R6 som var blevet bedt om at tage M 13340 fra Rk, kom dsv til at t et forkert tog, derfor kunne der ikke afkobles i ankomst Kh, de gøres så i afgang istedet, med forsinkelse til følge.					
VHA_RR	20.04 13:31	Kvalitetssikret					
DSB-HJE	21.04 09:29	Ansvarsgruppe ændret fra DSB passager (836) til DSB Togpersonale (774).					
Tilknyttede hændelser							
Min. andel	Tognr	Plan-afvig.	I/U/G	Station	Traf. årsag	Årsagstog	Tekst
6	133	-6	U	Kh	800		op og nedformering
6	2233	-6	U	Kh	170	133	

Figur 3.12: Banedanmarks driftsrapport, der viser at forstyrrelsen skyldtes at en lokofører var i det forkerte tog! [9]

3.4 Analyse af en DSB driftsleder

For at få et overblik over hvad en driftsleder arbejder med, og hvilke værktøjer en driftsleder har til rådighed i en forstyrret situation, interviewede og overværede vi DSB driftsleder Henning Sørensens arbejdsdag, fredag d. 4. november 2005. Vi fulgte driftslederen i løbet af eftermiddagsmyldretiden, hvor der er meget trafik. Den pågældende dag havde driftslederen ansvaret for DSBs trafik i Vest Danmark (Vest for Odense og hele Jylland).

3.4.1 Driftslederens udstyr

Driftsledere har flere muligheder for valg af værktøjer og programmer i løbet af deres vagt. Det er derfor tale om et personligt valg for hvilke redskaber hver enkelt driftsleder benytter sig af. Den driftsleder, vi talte med, tror ikke, at det kan lade sig gøre at finde et system, som samtlige driftsledere finder nyttigt, da der er stor forskel på hvad driftsledere føler sig mest trygge ved.

Driftslederen havde seks skærme stående foran sig på sin vagt, hvor han denne dag havde valgt, at have følgende informationer til rådighed:

1. Figur over strækningen mellem stationerne Børkop-Fredericia.
2. Figur over strækningen mellem stationerne Odense-Nyborg.
3. Regularitets og driftsstatistisk system, der viser hvornår tog er ankommet til en registreringsstation. Det er her muligt at se, hvor mange minutter et givent tog er forsinket lige nu. Systemet opdateres online når et toget afgår fra en registreringsstation.
4. Trafikinformation og TRIT (Tele og Radiobaseret Informationssystem til Tog).
5. MADS - (DSB program, der står for Materiel og Disponeringssystem).
6. ADMS grafer genereret af MADS. Graferne viser hvilke tog, et givent materiel benyttes til i løbet af dagen.

Figurer over strækninger mellem stationer, bruger driftslederen, til at se om en station er optaget, eller om der holder tog i kø foran stationen.

Regularitets og driftstatistisk system benyttes af driftslederen til at se hvilke tog der er forsinket og hvor meget togene er forsinket ved ankomst til en registreringsstation.

TRIT viser grafisk hvordan DSBs tog bevæger sig i Danmark, samt Øresundstog i Sverige. Systemet modtager oplysninger fra togene om deres status, dvs. om de er til tiden, eller forsinket inden for forskellige tidsintervaller. Disse oplysninger bruges i systemet, til at tildele de grafiske tog en farve efter togets status.

MADS og ADMS graferne bruger driftslederen til at få oplysninger om, hvornår materiel skal benyttes i løbet af dagen.

Driftslederen har desuden et program til rådighed, der viser hvor mange passagerer, der har været på et bestemt tog, samme dag sidste år. Driftslederen bruger denne oplysning til at vurdere hvor mange passagerer, der er med de forskellige tog, så driftslederen i tilfælde af nedbrud eller lign., ved om der skal indsættes busser, eller om der er så få passagerer, at det kan klares med taxi.

Driftslederen sidder med alle DSBs køreplaner i papirform, på trods af, at køreplanerne er tilgængelige i elektronisk format. Driftslederen har ud over køreplanerne nogle vigtige tider i hovedet, dvs. at han kender minuttallet de fleste tilslutninger.

3.4.2 Opsamling på besøg hos driftsleder

Under besøget i Driftscenter Danmark, var det vores opfattelse, at der var mange forsinkede tog i driftslederens område. Vi spurgte derfor direkte driftslederen om han ikke aktivt skulle gøre noget for at forbedre situationen. Driftslederens erfaring og oplysninger fra Regularitets og driftsstatistik systemet, sagde ham dog, at da der ikke var nogle tog, der var forsinket mere end 20 min., ville et indgreb blot forværre situationen og derved betyde flere forsinkelser. Driftslederens valg i denne situation, var altså baseret på hans erfaring og intuition samt oplysninger fra Regularitets og driftsstatistik systemet.

Efter samtale med driftslederen, bemærkedes det, at alle DSBs driftsledere benytter sig af forskellige programmer, til at træffe beslutninger ud fra. Vi tror derfor, at et program, som alle driftsledere vil finde brugbart, kræver mange specifikationer og muligheden for at til- og fravælge informationer, således at det fortsat er op til den enkelte driftsleder hvilke informationer der er synlige.

3.5 DSBs rullende materiel

Jernbanedrift er kapitaltungt og anskaffelse af materiel (engelsk: rolling stock) er ofte en stor investeringspost. I forbindelse med udskiftning af materiel er det derfor vigtigt at gennemgå alle alternativer. Udskiftning af materiel til mere moderne materiel giver en mulighed for at forkorte rejsetider og derved forbedre køreplanen. Udskiftning af materiel kan nogle gange være et alternativ til forbedring af infrastrukturen på kort sigt, som f.eks. udskiftning af lokomotivdrevne tog med selvkørende togsæt. Rejsetiden for et lokomotivtrukket tog afhænger af antallet af vogne der er koblet på lokomotivet. Hvorimod rejsetiden for et selvkørende togsæt, er den samme uanset antallet af togsæt, togstammen består af. Ud fra et rejsetidssynspunkt, kan det derfor godt betale sig at udskifte lokomotivdrevne tog.

Det rullende materiel hos DSB, kører efter en materielomløbsplan, der er udarbejdet af DSBafdelingen Planlægning og Trafik, flere måneder før den reelle trafikafvikling. I omløbsplanen er der for alle togvogne i materielbeholdningen angivet præcis hvilke ture, der skal køres i løbet af en dag, og hvornår en bestemt vogn skal til eftersyn eller på værksted.

DSB bruger i den daglige kørsel følgende materiel:

- Personvogne: ABs, ABns, ADns-e, B/Bk, Bn/Bn-o.
- Togsæt: ET (Øresundstog), MFA (IC3-tog), MR/MRD.
- Strækninglokomotiver: EA, ME.

3.5.1 Rangering

Som det beskrives i afsnit 7.7.3 i litteraturgennemgangen, er der ofte mangel på passagemateriel i myldretiden. Uden for myldretiden har togoperatører dog ofte overskud af materiel. Dette overskud kan ”parkeres” på en rangerplads. Denne parkering kaldes *rangering* (engelsk: *shunting*). Det er specielt om natten, at der opstår et stort behov for rangering af tog på rangerpladsen, da der er få nattoget med passagerer. Målet med rangeringen af tog henover natten, er at de togoperationer der begynder fra morgenstunden den efterfølgende dag, begynder uden de store problemer, således at klargørings-, vedligeholdelses- og vagtplaner er overholdt.

En af problemstillingerne ved rangering, er at materiel er stærk begrænset i dets

bevægelser pga. jernbanens infrastruktur. F.eks. skal togfølgetiden af sikkerhedsmæssige årsager overholdes for to efterfølgende tog på det samme spor eller sporskifte.

Rangering er et emne, der i litteraturen berøres af bl.a. Freling et al. [11]. Rangeringsprocessen beskrives ikke nærmere i denne rapport, da processen i ikke er relevant for projektets problemstilling.

Simulering

I dette kapitel beskrives først simulering som metode, og i afsnit 4.1 beskrives, hvorfor netop simulering er valgt som metode til dette projekt.

Følgende litteratur er benyttet til det efterfølgende afsnit: *Simulation with Arena* af Kelton et al. [16], *Teknikker i IT-støttet beslutningstagen* af Jens Clausen [5] samt *Robustness in train scheduling* af Hofman og Madsen [13].

Simulering beskæftiger sig med modeller af systemer, hvor systemet er en funktion eller proces, der enten er virkelig eller planlagt. Simulering kan bruges til at give et billede af virkeligheden, og kan ligeledes benyttes til at teste forskellige parametre og derefter til at analysere resultaterne fra parametertuningen. Simulering er et godt værktøj til at undersøge simple systemer, men ifølge Kelton et al. [16] ligger den helt store styrke ved simulering, når komplekse systemer skal undersøges. Han mener, at den største grund til at simulering er blevet så populært et værktøj, som det er, skyldes evnen til at håndtere komplekse modeller af tilsvarende komplekse systemer.

I modsætning til andre metoder, giver simulering *ikke* direkte en løsning som resultat. Ønskes en løsning som resultat, skal der først afprøves flere alternative løsninger, og disse skal så sammenlignes for at finde den bedst egnede løsning til det specifikke problem. Ved at køre flere simuleringer, kan resultatet for hver kørsel evalueres og eventuelle forbedringer eller mangler kan så opfanges og

rettes.

Clausen nævner i *Teknikker i IT-støttet beslutningstagen* [5], at da det ikke altid er muligt at beskrive sin problemstilling, så den kan løses ved matematiske metoder, kan man i stedet benytte simulering.

Simulering har generelt tre overordnede formål:

- Undervisning (læringsværktøj)
- Evaluering af et eksisterende system (planlægningsværktøj)
- Planlægning af et nyt system (planlægningsværktøj)

Simulering som læringsværktøj kan benyttes til f.eks. i togsammenhæng at træne driftsledere i at træffe bedre beslutninger i forstyrrede situationer. Som læringsværktøj er simulering velkendt for piloter, der benytter flysimulering til at træne flyvning, da dette både er lærerigt og langt mere økonomisk i forhold til at flyve rigtigt. Simulering som planlægningsværktøj til at evaluere allerede eksisterende systemer, kan f.eks. benyttes til at se hvordan den eksisterende køreplan reagerer i forskellige scenarier. Til planlægning af nye systemer, kan simulering eksempelvis bruges til at teste systemet inden det reelt eksisterer. For eksempel kan nye genopretningsmetoder i togdrift testes.

Simulering er den proces at designe og udarbejde en computermodel af et reelt eller foreslået system, med det formål at udføre eksperimenter til at give en bedre forståelse af systemets opførsel ud fra givne krav. Selve modelleringen er afgørende for resultatet af disse eksperimenter, da resultatet afhænger af repræsentationen af modellen, såvel som analysen. Det er derfor vigtigt at indsamle så meget data og så mange detaljer som muligt til modelleringen, da et højt detaljeringsniveau giver mere nøjagtige resultater. Et højt detaljeringsniveau kan dog have indflydelse på længden af kørselstiden. Da det valgte detaljeringsniveau for en simuleringsmodel er af stor betydning for det endelige resultat, er det altså vigtigt at bestemme hvor mange og hvilke detaljer, der er nødvendige for det specifikke problem. Det nødvendige detaljeringsniveau afhænger udelukkende af formålet med simuleringen og af hvorledes resultaterne håndteres. En simuleringsmodel kan enten være *makroskopisk* eller *mikroskopisk* afhængig af detaljeringsniveauet.

Der kan benyttes andre metoder end simulering til at undersøge systemer. En grund til at vælge netop simulering, er at en simuleringsmodel kan blive meget kompleks, hvis der er behov for dette, for at repræsentere systemet nøjagtigt. Andre metoder kan kræve flere simplificerende antagelser omkring systemet for

at udføre en analyse, hvilket kan stille spørgsmålstejn ved valideringen af modellen.

Her opsamles kort fordele og ulemper ved brug af simulering.

Fordele ved simulering:

- Nemmere at håndtere komplekse systemer.
- Godt til afprøvning af scenarier, uden indgriben i systemet.
- Giver et virkelighedsnært billede af den situation der undersøges.
- Derudover mener Huisman et al. [15], at en fordel ved simulering er, at der kan tilføjes detaljer til systemet som ønsket.

Ulemper ved simulering:

- Giver ikke en løsning til et problem som resultat.
- Hvis modellen er opstillet forkert, kan det være svært at finde fejlen.
- Kræver mange og præcise data.
- Kan blive tidskrævende hvis mange detaljer medtages.
- Derudover mener Huisman et al. [15], at resultaterne kan være svære at fortolke, hvis mange detaljer inkluderes i modellen.

Klassificering af simuleringmodeller

Der er flere måder at klassificere simuleringmodeller på, Kelton et al. [16] foreslår følgende tre sammenligninger, som en mulighed:

Statisk kontra dynamisk simulering

Tid spiller ingen rolle i *statiske* modeller, i modsætning til *dynamiske* modeller. De fleste operationelle simuleringmodeller er derfor dynamiske.

Kontinuert kontra diskret simulering

I *kontinuerte* simuleringmodeller kan tilstanden af systemet ændre sig kontinuert over tid. I en *diskret* simuleringmodel derimod, kan ændringer i tid kun

ske ved separate punkter i tiden (f.eks. ved pauser). Det kan godt lade sig gøre at udvikle modeller, der både er kontinuerte og diskrete, hvilke kaldes 'mixed' kontinuerte-diskrete modeller.

Deterministisk kontra stokastisk simulering

Simuleringsmodeller, der ikke har et tilfældigt input, er *deterministiske*. I en deterministisk simuleringsmodel opfører systemet sig på præcis samme måde, hver gang simuleringen gentages. Deterministiske simuleringsmodeller benyttes derfor ofte til konsekvensberegning, da der hurtigt kan beregnes konsekvensen af en bestemt beslutning.

Stokastiske simuleringsmodeller derimod, opererer med et vist tilfældigt input. Stokastiske simuleringsmodeller genereres ud fra på forhånd valgte stokastiske sandsynlighedsfordelinger. Her vil udfaldet af simuleringen altså ændre sig for hver gentagelse. Stokastiske simuleringsmodeller kan benyttes til at måle robusthed i køreplaner, som f.eks. udført af Hofman og Madsen [13]. Ifølge Jens Clausen [5] er de fleste simuleringer i relation til beslutningsstøtte stokastiske simuleringsmodeller. Dette skyldes at de områder, der undersøges ofte er dynamiske, og at det derfor er nødvendigt at indlægge forskellige forstyrrelser, for at gøre modellen så virkelighedsnær som muligt.

4.1 Simulering i projektet

Simulering af togsystemer giver en detaljeret repræsentation. Simulering er en fornuftig måde at modellere detaljerne ved de komplekse interaktioner tog imellem og mellem tog og infrastrukturen.

Simulering giver gode visuelle muligheder, som andre alternative metoder som f.eks. matematiske modeller ikke giver mulighed for uden brug af brugergrænseflade eller lign. Simulering giver et overblik over den aktuelle situation, og det gør det muligt lettere at se eventuelle flaskehalse og forstyrrelser i systemet.

Simulering har den fordel at det kan give advarsler, når en taget beslutning medfører problemer andre steder i systemet. Advarslerne kan så bruges af driftslederne til at opdage senere forstyrrelser i systemet, inden de ellers ville have opdaget det.

DSB har et stort jernbanenetværk med høj frekvens af tog. Systemet er dynamisk, og det gør det svært at forudsige konsekvensen af en given forstyrrelse, da systemet hele tiden ændres. Her er simulering godt at benytte til at danne et overblik over situationen, og til at forudsige hvorledes forskellige forstyrrelser

påvirker resten af netværket. Der opstår mange forskellige forstyrrelser i jernbanedriften, og en simuleringsmodel kan således benyttes til at se, om der er en sammenhæng i forstyrrelserne og deres påvirkning.

Simulering benyttes i projektet til at afprøve forskellige scenarier og genopretningsmetoder. Ved at sammenligne resultaterne findes på den måde den bedste beslutning i en given situation. For at en simuleringsmodel kan benyttes som baggrund for en beslutning, skal der enten afprøves flere løsninger, der sammenholdes og derefter udvælges den bedste til situationen, eller simuleringsmodellen skal kædes sammen med en matematisk model eller heuristik, der vælger ud fra givne kriterier.

Den i projektet udviklede simuleringsmodel er en *dynamisk diskret deterministisk* simuleringsmodel. Modellen er dynamisk, da tiden er en vigtig faktor i simuleringen. Der er stor forskel på effekten af en forstyrrelse, afhængig af hvornår på dagen forstyrrelsen indtræder. Modellen er diskret, da den er opbygget ud fra planlagte hændelser (engelsk: *events*) som ankomsttid, afgangtid, planlagte stationer osv. Modellen er deterministisk, da den ikke indeholder tilfældigheder, dog kan disse indføres hvorved modellen bliver stokastisk. Tilfældigheder indføres i form af indlagte forsinkelser baseret på statistiske fordelinger, og kan derfor ændre sig fra kørsel til kørsel.

Simuleringsmodellen indeholder mange detaljer, men mangler dog stadig visse detaljer som signaler, sporskifter, retningsbestemte spor mm. for at kunne benyttes af togoperatører til beslutningsstøtte. I projektet er modellen derfor en makroskopisk simuleringsmodel, da det er vigtigere at vi får brugbare resultater i forhold til at få meget virkelighedsnære resultater.

Beslutningsstøttesystemer

I dette kapitel beskrives først generelt om BSS'er. Herefter beskrives de forskellige planlægningsfaser BSS'er kan bruges i, samt hvilke teknikker der er til udvikling af BSS'er. Sidst beskrives BSS'er i den operationelle planlægning, og der kortlægges for eksisterende systemer.

Et BSS (engelsk: *decision support system (DSS)*) er et interaktivt computerbaseret system, hvis intension er at hjælpe beslutningstagere med at træffe beslutninger i forstyrrede situationer.

Traditionelt set har fokus på BSS'er været forretningsmæssige applikationer. Den øgede udvikling i hardware og software har dog betydet at potentialet for IT-understøttet beslutningstagen er vokset markant også inden for de mere utraditionelle områder [5].

Et BSS kan hjælpe en beslutningstager med at tage *bedre* beslutninger. Men hvornår er en beslutning bedre? Der er stor forskel på betydningen af den bedste beslutning, da mange overvejelser og hensyn spiller ind. Ønskes der f.eks. en høj rettidighed på trods af, at dette kan have indflydelse på pålideligheden? Er nogle tog vigtigere end andre? Det er blot nogle af de spørgsmål man skal overveje. Disse hensyn er ofte modstridende, hvilket ifølge Jens Clausen [5] skaber et *multi-kriterie beslutningsproblem*. I praksis kan det være et problem at få beslutningstagerens præferencer på en sådan måde, at det kan danne grundlag

for udvikling af et IT-system. Det er derfor ofte nyttigt, hvis BSS'et giver flere alternativer til en løsning og den endelige beslutning derefter tages af driftslederen.

Beslutninger træffes ofte ud fra regler baseret på betingelser, som skal være opfyldt. Disse betingelser skal ligeledes implementeres i BSS'et. Der kan her være tale om simple betingelser så som, at der kun kan holde et tog på hver perron, men også mere komplekse betingelser som, at overholde arbejdstidsregler, at lokoførere skifter på de rigtige stationer mm.

De komplekse betingelser, der er svære at formulere så de kan kontrolleres af software, giver begrænsede muligheder, for hvad det underliggende system kan rådgive om [5].

5.1 Forskellige planlægningsfaser

Typen af IT-understøttelse til beslutningstagen afhænger i høj grad af tidshorisonten, for hvornår beslutningen skal træffes. Tidshorisonten kan variere fra sekunder til flere måneder eller år, afhængig af beslutningen. Der er f.eks. stor forskel på om der skal planlægges materielomløbsplaner, der skal i brug om seks måneder, om der skal planlægges nye stationer, eller om der skal træffes beslutninger til disponering her og nu.

Der findes generelt tre faser i en planlægningsproces: den *strategiske*, den *taktiske* og den *operationelle* planlægningsfase.

Strategisk planlægningsfase

Den strategiske planlægningsfase for materiel og lokoførere foregår lang tid før planerne realiseres, ofte flere år før. Planerne udarbejdes for at finde ud af om det nødvendige antal lokoførere og materiel er til rådighed over de næste år, eller om der skal anskaffes mere. Da anskaffelse af materiel er en stor omkostning, planlægges materiel over en større årrække end planlægningen af lokoførere.

Et vigtigt område i den strategiske planlægningsfase, er den service der kan tilbydes kunderne. Derfor skal beslutninger om ændringer i infrastrukturen tages i denne fase.

Taktisk planlægningsfase

Den taktiske planlægningsfase, er den planlægning der foregår seks måneder til et år, før afviklingen, som bl.a. planlægningen af de køreplaner der skal realiseres om et år. I den taktiske planlægningsfase planlægges desuden materielomløbet

for myldretidstog og det resterende materiel. Der udarbejdes også vagtplaner for lokoførere, samt rangeringsplaner i den taktiske planlægningsfase.

Operationel planlægningsfase

Den operationelle planlægningsfase er den planlægning, der foregår samtidig med afviklingen. Der skal altså her planlægges ud fra hvordan systemet reagerer den pågældende dag.

Den planlægningsfase vi har valgt at beskæftige os med, er den operationelle planlægningsfase, nærmere betegnet her-og-nu planlægningen. Denne planlægning kaldes i litteraturen også for realtids kontrol, se afsnit 7.1.

5.2 Teknikker til BSS

Oftest er BSS'er baseret på en model af det problem, der skal løses. Det vil sige, at problemet er formuleret af en mængde betingelser, der skal være opfyldt i en løsning og kvalitetskriterier, der vægter værdien af en løsning.

Der er flere måder at implementere BSS'er på, f.eks. kan simple spørge-værktøjer (engelsk: query-tools) give en vis form for hjælp [30]. Mere komplekse systemer anvender ofte en form for kunstig intelligens. De mere traditionelle teknikker er optimeringsmodeller og simuleringsmodeller. Optimeringsmodeller er typisk en matematisk model som f.eks. en lineær programmeringsmodel eller en heuristik. Simuleringsmodeller er nærmere beskrevet i kapitel 4.

Ved benyttelse af kunstig intelligens (AI), er metoderne anderledes og ofte baseret på intelligent søgning og traditionelle AI metoder som f.eks. A*-søgning. En ulempe ved benyttelse af AI metoder, er at hvis problemstillingen er tilstrækkelig kompleks, er metoderne ineffektive og giver dårlige løsninger. En anden mulighed er derfor at anvende teknikker baseret på automatisk læring, f.eks. kunstige neurale netværk [5].

5.2.1 DSS Community

En gruppe af internationale forskere inden for BSS'er, har dannet gruppen 'Decision Support System Community' [23]. Formålet med gruppen er, at gruppens forskning skal give andre forskere retningslinjer og krav til hvad der udgør et BSS.

Ifølge DSS Community har et BSS generelt tre hovedkomponenter [18]:

- DBMS ("Database Management System"), der samler, organiserer og giver brugeren adgang til data.
- MBMS ("Model-base Management System"), der håndterer brugen af modeller, der er en del af systemet.
- UI ("User Interface"), der håndterer interageringen mellem brugeren og systemet. UI er for brugeren det, der svarer til BSS'et.

Det følgende omhandler beslutningsstøtte til togdisponering specifikt, men gælder også beslutningsstøtte generelt.

Inden for design og implementering af BSS'er, har DSS Community opstillet følgende iagttagelser, set fra en driftsleders syn [18]:

1. Det er svært at træffe gode beslutninger, da de forstyrrelser der opstår ofte er meget komplekse og derfor svære at overskue.
2. Der er stor usikkerhed i situationen.
3. Den bedste løsning på kort sigt er ikke nødvendigvis den bedste løsning på lang sigt.
4. Forskellige perspektiver leder til forskellige beslutninger, således at forskellige beslutninger træffes i ens situationer.

Et eksempel på punkt 1 er, at der f.eks. ikke måles ankomst- og afgangstider på alle stationer, hvilket besværliggør driftslederens mulighed for at forudsige en forstyrrelses indvirkning på det samlede netværk, og beregning af en given beslutnings konsekvens. Et eksempel på punkt 2 er, at det kan være svært at sige hvor hurtigt et bestemt tog kører på et givent tidspunkt, da hastigheden afhænger af flere faktorer som bl.a. materieltype, materielstand, den pågældende strækning osv. Et eksempel på punkt 3, er hvis en driftsleders beslutning om f.eks. at opretholde en tilslutning her og nu, kan betyde at flere forsinkelser breder sig i netværket. Et eksempel på punkt 4, er at ens forstyrrelser håndteres forskelligt, da beslutningerne afhænger af den pågældende driftsleder, der er på arbejde. Hos DSB findes en prioriteringsrækkefølge for hvordan togdisponeringen ved forstyrrelser skal ske. Driftslederne er dog ikke pålagt at følge dette regelsæt, og mange beslutninger træffes derfor ikke ens, men afhænger af den pågældende driftsleders erfaring og intuition.

Derudover kan det tilføjes, at det kan være en fordel at træffe en hurtig beslutning, som er god på kort sigt, for at vinde tid til at finde den bedste videre strategi. Det er dog en balancegang, da en god beslutning på kort sigt, i visse

tilfælde kan være fatal i det lange løb.

Ifølge Kvist et al. [18] er formålet med et BSS at gøre beslutningstagningen mere klar og mindre kompleks. Et ”godt” BSS tager ligeledes højde for at alle konfliktløsninger foregår i et dynamisk realtids miljø, hvor der ikke stoppes for andre processer i netværket imens beslutningen tages.

5.2.2 Hjælp til driftsledere

De muligheder en driftsleder har i dag, er meget baseret på manuelle opgaver som f.eks. at indtegne nye ændringer i et diagram, for at beregne sig frem til om der opstår problemer. Ved adgang til et godt BSS bør driftslederen derimod være i stand til at overvåge togdisponeringen på en mere kontrolleret måde.

Ved besøg i Driftscenter Danmark, har vi gjort os den erfaring at den manuelle beslutningsproces kræver meget erfaring for den enkelte driftsleder, der skal have mange bolde i luften. Derudover kræves mange telefonopkald mellem driftslederen og de implicerede parter; VDL’er, lokoførere, togførere mm., som beskrevet i afsnit 3.3.3. Vi tror at en hjælp her kan være et BSS.

Den driftsleder, vi talte med, nævnte at alle ændringer han laver og alle informationer han modtager fra VDL’erne og lokoførerne nedskrives. Han savnede et værktøj, hvor hver part der ændrer noget fra det planlagte (f.eks. udtager materiel undervejs på ruten), indtaster dette i et fælles online system, der så automatisk opdaterer denne ændring, så alle andre er klar over den nuværende situation.

Det er vigtigt at have driftsledernes opbakning ved udarbejdelse af et BSS, da driftslederne er de kommende brugere. Det kan derfor være en god ide at have driftslederne med i udarbejdelsen af BSS’et.

Hvis der ses bort fra driftsledernes erfaringer og viden i udarbejdelsen af et BSS, kan det let føre til et færdigt system, der ikke accepteres af de kommende brugere, hvilket kan betyde at systemet ikke benyttes. Dette er et velkendt fænomen i andre former for organisatoriske ændringer.

5.3 BSS i den operationelle planlægning

De fleste eksisterende BSS'er benyttes i den strategiske eller taktiske fase af planlægningen, f.eks. i form af en matematisk model, der optimerer dele af køreplansplanlægningen, og ikke i den operationelle her-og-nu fase. Der er dog udviklet systemer til brug i den operationelle fase, og nogle af disse beskrives kort i det følgende.

Da BSS'er udvikles af kommercielle virksomheder, kan det være svært at skaffe information omkring systemerne via hjemmesider og videnskabelige artikler, da systemerne er tilegnet den enkelte kunde, og da kunden muligvis ikke har interesse i at konkurrenter eller andre skal kende til systemet.

For at undersøge markedet for eksisterende BSS'er i togindustrien, har vi derfor valgt at tale med Banedanmarks Trafikstyringschef, Jørn G. Larsen. Jørn G. Larsen har mange års erfaring med BSS'er. Han er blevet præsenteret for flere forskellige BSS'er, da Banedanmark (dengang Banestyrelsen) og DSB tidligere har undersøgt mulighederne for fælles at investere i et BSS. Informationen om de efterfølgende BSS'er er derfor baseret på Jørn G. Larsens kendskab, samt søgning på internettet om de systemer Jørn G. Larsen fortalte om.

5.3.1 Krav til BSS

Ifølge et notat [2] fra Atkins til Banestyrelsen marts 2002 vil Banestyrelsen og DSB gerne have etableret et fælles beslutningsstøttesystem. Systemet skal kunne vise følgende:

- Et billede af infrastrukturen.
- Passagerovergangstider og vendetidsregler for hver enkelt station.
- Gældende køreplaner.
- Toges aktuelle placering på infrastrukturen.
- Data for de enkelte togs aktuelle bemanning.
- De enkelte togs aktuelle oprangeringer.
- Togenes aktuelle bemanning.
- Togenes passagerantal.

- Prioritering af togtyper.

Notatet siger videre at:

”Generelt skal informationerne kunne overføres automatisk til BSS’et fra andre systemer, og det skal være muligt at rette informationer lokalt i systemet.

Systemet skal kunne præsentere og strukturere information fra forskellige data-systemer hos DSB og Banestyrelsen, så de kan danne baggrund for en fælles disponering baseret på fakta. Resultatet af de trufne disponeringer skal automatisk præsenteres for de berørte interessenter, og informationer skal automatisk videreføres til de systemer, der måtte have brug for dem.

Det næste mål er, at BSS’et skal kunne overvåge, om der opstår konflikter og advare driftslederen om dette.

Det sidste formål er, at BSS’et skal kunne komme med forslag til løsninger af de fundne konflikter, som driftslederen kan vælge. Resultatet af den valgte løsning skal automatisk præsenteres for de berørte interessenter, og informationer skal automatisk videreføres til de systemer, der måtte have brug for dem.”

5.3.2 Eksisterende BSS

Under Jørn G. Larsens research af BSS’er besøgte han bl.a. Holland og Schweiz for at blive præsenteret for de her beskrevne BSS’er.

5.3.2.1 Holland

I Holland har sporudbyderen Railned været med i flere infrastrukturprojekter, hvor BSS’er er blevet anvendt. Her kan bl.a. nævnes BSS’et DONS (’Designer of Network Schedule’), der er udviklet til at hjælpe i udarbejdelsen af køreplaner. Til at evaluere kvaliteten af køreplaner (robustheden) benyttes en simuleringsmodel kaldet ’DONS-Simulator’ [14].

Banestyrelsen undersøgte et BSS udviklet af den hollandske sporudbyder Railned. Systemet fungerede godt i Holland, hvor sporopbygningen er speciel i strukturen. De hollandske stationer er ofte opbygget i en slags ’diamant’ form, for at øge kapaciteten på stationerne. Når et tog ankommer til en station, giver BSS’et flere forslag til hvordan toget kan komme hen på den planlagte perron. Systemet kan

dog ikke håndtere personel- og materieldisponering på det plan der er behov for i Danmark, så systemet blev derfor fravalgt.

5.3.2.2 Schweiz

Jørn G. Larsen fortalte desuden om et fuldt automatiseret BSS til den schweiziske jernbane. Banestyrelsen var imponeret over dette system, der kobler materiel, spor og personel. Systemet giver derved en total viden om alle forhold vedrørende disponering.

Al viden i systemet eksisterer elektronisk. Det betyder at al information er tilgængeligt via skærme, og at der ikke 'spildes' tid på at søge informationen andre steder. Ulempen ved systemet er dog, at selv den mindste ændring skal opdateres her og nu, hvilket kræver en høj disciplin. Systemet er udviklet af firmaet Steria [28].

Ifølge Jørn G. Larsen, har indførelsen af dette BSS betydet at de schweiziske driftsledere i stedet for at bruge 80 % af deres tid på at registrere hvad der sker i systemet, nu kan nøjes med 20 % af tiden på dette og i stedet benytte de resterende 80 % på disponering.

Banedanmark fravalgte ligeledes dette schweiziske BSS til indførelse i Danmark på daværende tidspunkt, da det var for omkostningstungt og da der kræves for meget fra driftslederne i form af konstant opdatering. Systemet er for rigtigt til Danmark hvor det foretrækkes at der er mennesker bag beslutningerne.

5.3.3 Principplaner

I stedet for et fælles BSS, har DSB og Banedanmark sammen udarbejdet såkaldte *principplaner* for Kystbanestrækningen, og arbejder på at udvikle principplaner for resten af landets fjernbaner. Hver af Principplanerne består af nogle retningslinier for hvordan der skal handles i en bestemt situation. Det kan her nævnes at DSB S-tog ligeledes benytter principplaner for S-tog nettet.

Principplanerne er udarbejdet, for at der handles mere ensartet og i henhold til tidligere opnåede erfaringer, når der er uregelmæssigheder i jernbanenetværket, som har været oplevet tidligere. Når en forstyrrelse, der er set før, opstår - som f.eks. en nedfalden køreledning, er det op til driftslederen at finde den principplan, der omhandler nedfalden køreledning. Det pointeres af Jørn G. Larsen at mange forstyrrelser er gentagelser af hinanden, den eneste forskel er *hvornår*

på dagen forstyrrelsen opstår. Det er således driftslederens ansvar at få kommunikeret ud til alle implicerede parter; VDL'ere, lokoførere, togførere mm. hvilken principplan der følges. Dermed ved alle hvilken strategi, der benyttes.

Ifølge Jørn G. Larsen er det de menneskelige faktorer, som lokoførere og togførere, der er kritiske for at få principplaner til at virke. Kommunikerer principplanen tidligt ud til alle parter, betyder det at oplysninger om ændringer i køreplaner, hurtigere er tilgængelige for personale passagerer, der så er bekendte med forstyrrelsernes omfang.

5.3.4 Afrunding

Da DSB og Banestyrelsen undersøgte markedet i 2001 og 2002, fandt de ikke et system der var godt nok og til den rigtige pris. De har derfor fortsat udviklingen af principplaner som grundlag for operationel disponering. Ved benyttelse af principplaner til f.eks. BSS, er der overladt en del til situationen, og dermed til driftslederne.

Genopretningsmetoder

Genopretningsmetoder (engelsk: *recovery methods*) er metoder til at få et system tilbage i balance efter en eller flere opståede forstyrrelser, der har en effekt på systemets opførsel. Systemet er fuldt genoprettet, når det igen kører efter den oprindelige plan. I togtrafikken deles mange tog om de samme spor, og der kan derved let opstå en akkumulering af forsinkelser i systemet. Formålet er altså, at få systemet tilbage i balance for at begrænse omfanget af de sekundære forsinkelser.

Der kan benyttes flere former for genopretningsmetoder i en forstyrret situation, da der kan være flere mål for genopretningen. Set fra en togoperatørs side, kan det være et mål, at tilgodese passagerne bedst muligt ved for eksempel, at aflyse færrest mulige afgang. Et andet mål, kan derimod være at skabe ro i togtrafikken hurtigst muligt, ved f.eks. at holde tog tilbage på deres udgangsstationer, indtil der igen er overblik over situationen, og årsagen til forstyrrelsen er fjernet.

Inden for flytrafik er der forsket en del i genopretningsmetoder, der tager hensyn til de tre faktorer; materiel, personale og passagerer. En del af forskningen her, har resulteret i at beslutningsstøttesystemer, til hjælp ved genopretning, i dag anvendes praktisk i moderne flydisponering. Det er oftest en heuristik, der som beregningsmetode ligger bag løsningen. Fordelen ved at bruge heuristikker i et BSS er, at systemet hurtigt kommer med en løsning. Denne løsning er ikke

nødvendigvis optimal, hvilket dog heller ikke er altid er målet for en genopretningsmetode. Målet kan derimod være at finde en løsning, der kan bruges her og nu.

En driftsleder har altså mange muligheder for valg af genopretningsmetoder i en forstyrret situation, og det er derfor interessant at undersøge, hvilke genopretningsmetoder der er mest fordelagtige i bestemte situationer.

For at udføre denne undersøgelse, kortlægges først hvilke initiativer DSB gør i dag for at genoprette efter forskellige forstyrrelser, og hvordan DSB følger op på opståede forstyrrelser, så eventuelle gentagerfejl undgås. Sidst, beskrives de genopretningsmetoder, der implementeres i projektet.

6.1 Genopretning hos DSB

Alle oplysninger i de efterfølgende afsnit er modtaget fra DSBs afdeling for Trafikkvalitet, DSBs hjemmeside [8] samt DSBs intranet [9].

Hos DSB er det driftslederne i Driftscenter Danmark, der har ansvaret for genopretning efter en forstyrrelse. Ansvaret for genopretning er opdelt i: ansvar for materielgenopretning og ansvar for personelgenopretning. Det er ofte personalets arbejdstidsregler, der er svære at opfylde i en genopretningsituation, da personalet skal ende arbejdsdagen på en bestemt station og ikke alle lokoførere kan betjene alle tog, som beskrevet i afsnit 3.3.1.

DSBs mest simple form for genopretning i forbindelse med mindre forsinkelser, er at lade togene køre en anelse hurtigere end normalt. Der er i køreplanen indbygget en vis buffertid i køretiden mellem stationerne, og så længe hastighedsbegrænsningen på strækningen bliver overholdt, kan denne buffertid udnyttes, så mindre forsinkelser kan indhentes ved at sætte hastigheden op. Det skal dog tages med i betragtningen hvilket materiel, der køres med, så komforten for passagerne holdes på et rimeligt niveau.

DSB gør mange tiltag for at materiel, der er blevet forsinket i løbet af dagen, kommer frem til den station, hvor materiellets første planlagte afgang dagen efter foregår fra.

DSBs generelle materiel genanvendelses procedure er som følger:

1. Hvis et tog skal afgang, men materiellet ikke er ankommet fordi det foregående tog er forsinket, afgang toget når materiellet er ankommet (ved mindre

forsinkelser).

2. Der indsættes reservemateriel, hvis dette er til rådighed.
3. Tog vendes før endestationen og kører derved igen rettidigt.
4. Aflysning af afgang (og derfor også afgang retur igen).

6.1.1 DSBs generelle disponeringsregler

DSB har nogle retningslinjer for den daglige drift kaldet 'Disponerings- og prioriteringsregler'. Disse regler er udviklet, for at driftslederen ved hvordan forskellige kendte situationer skal håndteres, når de opstår.

DSBs disponeringsregler har til formål at sikre at disponeringen foretages i overensstemmelse med de indgåede aftaler de enkelte togoperatører imellem.

Der findes dog situationer, der ikke er til at forudse. I disse situationer er det op til Driftscenter Danmark at håndtere og løse situationen bedst muligt. Hovedprincippet er, at rettidige DSB tog har retten til at forblive rettidige.

6.1.2 DSBs generelle prioriteringsregler

DSB tog prioriteres i følgende rækkefølge:

1. InterCityLyn (L).
2. InterCity (IC), EuroCity (EC) og Internationale Persontog (IP).
3. Regional (RE) og Øresundstog (ØR).
4. InterRegional (IR), EuroNight (EN), Fakultative Persontog (FP) og Skoletog (SK).

Tog fra gruppe 1 og 2 overhaler tog fra gruppe 3 og 4, såfremt toget fra gruppe 3 eller 4, højst forsinkes 5 min. udenfor myldretiden, og *ikke* forsinkes i myldretiden. Ved konflikt mellem tog fra gruppe 1 og 2, prioriteres tog på vej mod opformering højest. Ved konflikter mellem DSB passagertog (herunder tog der kører på DSBs operatørlicens), indhentes forholdsordre fra DSBs driftsledelse, som træffer den endelige afgørelse.

Internationale tog mod København H. fremmes kun, hvis toget herved kan nå frem til den ordinære tilslutningsforbindelse.

6.1.2.1 Øresunds- og Kystbaneforbindelsen

Der er specielle disponerings- og prioriteringsregler for Øresundstog og Kystbanetog, der benytter Kystbanestrækningen se figur 6.1. Kystbanestrækningen dækker over alle stationer fra Kastrup til Helsingør.



Figur 6.1: Kystbanestrækningen med både Kystbane -og Øresundssystemerne [8].

Ved nedsat kanalkapacitet, hvilket vil sige at kapaciteten mellem to stationer er mindre end normalt, gælder der generelt, at tog ankommende fra nord, dvs. fra Helsingør eller Nivå mod København H. eller Kastrup Lufthavn (Kastrup), har fortrinsret i løbet af morgenen og formiddagen, mens tog fra København H. og Kastrup mod nord har fortrinsret om eftermiddagen. Denne prioritering skyldes at antallet af passagerer er størst mod København i løbet af morgenen og formiddagen, ligeledes størst fra København i løbet af eftermiddagen.

Der gælder desuden på hele Kystbanestrækningen fra Helsingør-Kastrup og omvendt, at Øresundstog har første prioritet i forhold til Kystbanetog:

1. Øresundstog (Helsingør-Kastrup)
2. Kystbanetog (Nivå-Kastrup)

Forsinkelse fra Malmø mod Helsingør

Hvis et Øresundstog fra Malmø mod Helsingør er forsinket mere end 6 min. ved ankomst til Kastrup station, indsættes en reservestamme på København H. med rettidig afgang mod Helsingør. Det forsinkede tog fra Malmø udgår så, og bliver ny reservestamme på København H. Ved flere efterfølgende forsinkede tog fra Malmø, indsættes reservetog for det først ankomne tog til København H., det efterfølgende tog vil så afgå fra København H. til det næste togs planlagte afgangstid (toget 'falder' et nummer på København H.).

Ved større forsinkelser eller nedbrud på et Øresundstog mellem København H. og Nivå, kører Kystbanetoget helt til Helsingør for at undgå aflysninger. Det overvejes desuden om det forsinkede Øresundstog skal vendes i Nivå for at undgå at forsinkelserne breder sig.

Forsinkelse fra Helsingør mod Malmø

Hvis et Øresundstog fra Helsingør mod Malmø, forsinkes indtil 5 min. inden ankomst til Nivå station, opretholdes den normale togrækkefølge, som listet ovenfor. Denne opretholdelse får en lille betydning for Kystbanetoget, der forsinkes 1-2 min.

Hvis Øresundstoget derimod er forsinket mellem 5 og 8 min. inden ankomst til Nivå, kører Kystbanetoget før Øresundstoget fra Nivå, og Øresundstoget kan så efterfølgende overhale Kystbanetoget på Rungsted Kyst eller Klampenborg station, hvor Øresundstoget ikke har planlagt stop. Dette medfører en forsinkelse på ca. 3 min. for Kystbanetoget.

Er Øresundstoget forsinket mere end 8 min. fra Helsingør inden ankomst til Nivå station, bliver Øresundstoget bagved Kystbanetoget hele vejen indtil København H. Reservestammen på København H. indsættes, således at Øresundstoget opretholder en rettidig afgang mod Malmø. Ved flere efterfølgende forsinkede tog fra Helsingør mod København H., indsættes reservestammen som rettidigt tog, og de efterfølgende tog vil så falde et "nummer" og køre i næste togs afgangstid.

Aflysninger

Ved større uregelmæssigheder, som eksempelvis infrastrukturproblemer, kan der opstå behov for at udtage tog på strækningen. Tog udtages efter rækkefølgen; først udtages myldretidstog, de tog der kører mellem København H. og Helsingør, se figur 6.1, derefter udtages Kystbanetog evt. kun en del af strækningen.

Der gælder for Øresundssystemet, at der er reservestammer på henholdsvis

København H. og Malmø station, og at disse skal benyttes aktivt, hvis der er opstået forstyrrelser.

6.1.3 DSBs specifikke regler

DSB har desuden udarbejdet mere specifikke regler for togdisponeringen, med henblik på bestemte tognumre i bestemte situationer. De specifikke regler gælder primært for de tog, hvor mange passagerer er afhængige af tilslutninger fra andre tog. De specifikke regler beskrives ikke nærmere i rapporten.

6.2 DSBs ventetidsregler

DSB definerer ventetiden som: ”*afventning af et forsinket tog, udover afventende togs planmæssige afgangstid ifølge køreplanen*” [9]. Dette benyttes ved tilslutningsstationer, altså stationer hvor der afgår og ankommer andre tog, som nogle passagerer er afhængige af. For at indhente mindre forsinkelser, er det muligt at gå på kompromis med den tid der ventes. Flere faktorer som tid på dagen, antallet af passagerer der berøres mm., skal dog tages i betragtning.

I tilfælde af forsinkelser, er det togførerens ansvar at give driftsledelsen en rejsemelding, således at de kan vurdere om der forbindelsestog skal afventes. Denne rejsemelding skal indeholde tognummer, forsinkelse, forbindelsestognummer, antal passagerer og deres destination. Driftsledelsen udarbejder så en vurdering af konsekvenserne, og melder tilbage til togføreren om der skabes forbindelse eller ej. Modtager driftsledelsen ikke en rejsemelding, afventes ikke.

Såfremt det fra strækninger med enmandsbetjente tog ikke er muligt at få oplysning om antallet af passagerer til et tilslutningstog, må der afventes indenfor den foreskrevne ventetid. Kan tilslutning ikke opnås indenfor de anførte ventetider, og forbindelsen ønskes opretholdt, indhentes forholdsordre hos Driftscenter Danmark.

Det er DSBs politik, at der sørges for at tilgodese flertallet af passagerer, samt at forhindre allerede opståede forsinkelser i at sprede sig til andre tog.

6.2.1 Hovedregler

- De fleste af DSBs tog, bort set fra visse undtagelser, afventer tilsluttende tog i op til tre min. ud over køreplanens planmæssige afgangstid.
- Regionaltog afventer ikke mandag-fredag i tiden kl. 06.00–09.00 og 15.00–18.00.
- Dagens sidste tog kan dog afvente i op til 10 min. uden at give rejsemelding til driftslederen.

6.3 DSBs opfølgning på forstyrrelser

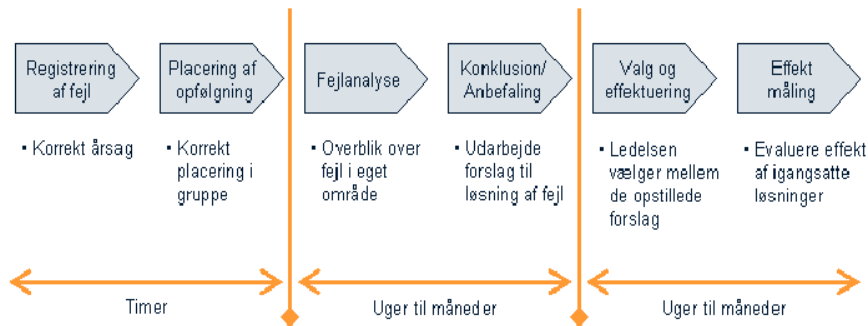
DSB gør mange tiltag for at analysere, hvad der gik galt, og hvad der gik godt i de situationer, hvor en forstyrrelse har betydet forsinkelser til DSBs tog.

Hos DSB har afdelingen Trafikkvalitet ansvaret for at følge op på opståede forstyrrelser, samt finde årsagen til forstyrrelserne. DSB Trafikkvalitet mener, at hvis de kan bestemme årsagen til en forstyrrelse, så kan denne viden bruges som erfaring til at undgå den samme forstyrrelse en anden gang. Hos DSB inddeles forstyrrelser i to grupper afhængig af forstyrrelsens omfang: hverdagens forstyrrelser og store forstyrrelser. Der er forskellige metoder til at følge op på disse forstyrrelser, som det ses i de efterfølgende afsnit.

6.3.1 Opfølgning på hverdagens forstyrrelser

Hver dag er DSB årsag til at omkring 100 tog forsinkes på grund af ca. 50 opståede forstyrrelser. Eksempler på typiske hverdags forstyrrelser hos DSB er:

- Et tog kommer sent fra klargøring og forsinkes fra udgangsstationen.
- Der er mange rejsende og toget holder lidt for længe på stationerne og forsinkes derved.
- Togføreren kommer for sent til rettidig afgang, pga. ankomst med forsinket tog.
- Lokoføreren er under indøvelse.
- Dørene kan ikke lukke og det tager tid at spærre døren.



Figur 6.2: Opfølgning på hverdagens forstyrrelser hos DSB [9].

- DSB holder et tog tilbage for at passagerer kan skifte tog.

Som det fremgår af punkterne ovenfor, er hverdagens forstyrrelser *mindre* forstyrrelser. Hver gang en sådan forstyrrelse forsinket et eller flere tog, undersøger DSBs opfølgere, hvad der skete og forsøger at uddrage læringen, således at fejlen ikke gentages en anden gang.

Formålet med denne proces er at finde og fjerne gentagefejl mest effektivt. Det sker ved, at DSB kort undersøger hver forsinkelse og placerer den i en fejlgruppe. De fejlgrupper som indeholder flest forsinkelser gøres der mest ved, da det typisk giver mest rettidighed for samme indsats. Arbejdsgangen for DSBs forløb i opfølgningen på hverdagens forstyrrelser, kan ses på figur 6.2, og er som følger:

1. Registrering af fejl

Når tog forsinkes opretter Banedanmark en driftsrapport, som beskriver årsagen til forsinkelsen og hvilke tog som er påvirket af forstyrrelsen. Driftsrapporten udpeger også en ansvarlig for opfølgningen. Banedanmark udpeger den ansvarlige ud fra deres umiddelbare vurdering af situationen, men efterforsker ikke forstyrrelsen i detaljer.

2. Placering af opfølgning

DSBs trafikopfølgeres første opgave er at sætte sig ind i årsagen til forstyrrelsen. Ofte er der information nok i driftsrapporten til at forstå forstyrrelsen, men det kan blive nødvendigt at indhente flere informationer. Det kan f.eks. ske ved at ringe til togpersonalet eller togføreren for at høre deres version af sagen.

Ved materielle fejl kan man endvidere undersøge togets computer-log. I nogle tilfælde kan en anden afdeling end Trafikkvalitet bedre undgå, at forstyrrelsen opstår en anden gang, og derfor afleverer trafikopfølgeren forstyrrelsen med en god forklaring til en opfølger fra en anden afdeling. Togets computer-log har måske vist, at det var en betjeningsfejl og derfor afleveres driftsrapporten til DSBafdelingen Fremføring som kan justere efteruddannelsen af lokoførere om nødvendigt.

Driftsrapporten bliver så placeret i en fejlgruppe hos den afdeling som kan rette fejlen.

3. Fejlanalyse

En gang om måneden gennemgår de forskellige DSB afdelinger deres fejlgrupper med det formål at finde de årsager, som forsinker flest tog, eller som det er relativt let at gøre noget ved. Resultatet er et overblik over hvilke fejl der optræder hvor ofte.

4. Konklusion og anbefaling

Efter fejlanalysen er det klart hvilke fejl, der forsinker mange tog eller som er relativt lette at gøre noget ved. Opgaven er derefter at konkludere på månedens forstyrrelser og anbefale en eller flere indsatsområder, som vil nedbringe antallet af forsinkelser i afdelingen. Anbefalingerne udarbejdes typisk af opfølgerne sammen med de ansvarlige for materiel eller personale. Resultatet er konkrete forslag (anbefalinger) til at sænke antallet af tog forsinket af afdelingen.

5. Valg og effektivering

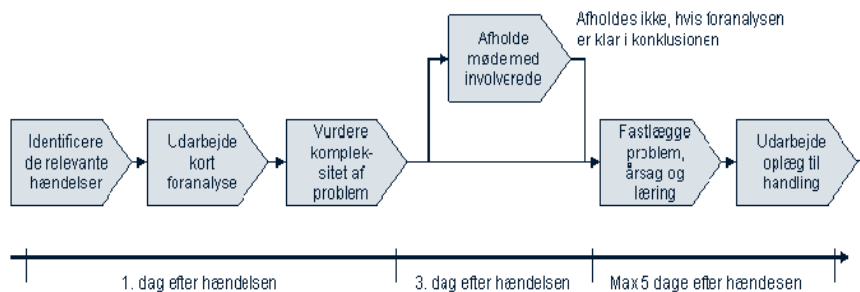
Der vil ofte være flere forslag og gode ideer end afdelingen er i stand til at gennemføre. Derfor er det afdelingsledelsens opgave at beslutte hvilke forslag der skal gennemføres. Nogle forslag skal eventuelt koordineres med andre afdelinger. Resultatet er, at afdelingen har besluttet at gøre en indsats for at nedbringe en bestemt type forsinkelser.

6. Effektmåling

Det vil typisk tage nogle måneder at gennemføre de besluttede forbedringer. Derefter skal der kunne måles en effekt af den besluttede indsats. Man skal kunne se, at den pågældende fejlgruppe bliver mindre eller næsten forsvinder med den helt rigtige indsats. Resultatet er et målbart fald i forsinkelser pga. den pågældende fejlgruppe.

6.3.2 Opfølgning på store forstyrrelser

I modsætning til hverdagens forstyrrelser, opstår der nogle gange store uforudsete forstyrrelser, der medfører at DSB ender i en situation, hvor trafikken går *virkelig* galt! Det kan f.eks. være, når en køreledning falder ned og der så ikke er plads til den planlagte trafik, når en bombetrussel indtelefoneres eller når togpersonalet uden advarsel nedlægger arbejdet pga. strejke. Efter sådanne dage med stor uorden i trafikken evaluerer DSB driftsafviklingen og passagerinformationen for at opnå læring til næste gang en stor forstyrrelse opstår. Når den samme læring ses flere gange giver det en klar forbedringsmulighed. Figur 6.3 viser forløbet i opfølgningen på en stor forstyrrelse, hvor arbejdsgangen er følgende:



Figur 6.3: Opfølgning på store forstyrrelser [9].

1. Identificer de relevante hændelser

Dagen efter en stor forstyrrelse gennemfører DSB Trafikkvalitet en opfølgning på forstyrrelsen. En opfølgning udløses helt systematisk hvis forstyrrelsen har påvirket mere end 50 tog.

2. Udarbejdelse af kort foranalyse

Der udarbejdes en kort foranalyse, der gennemføres ved at ringe rundt til de relevante parter og kort interviewe dem for at få belyst forløbet. Typisk tages først kontakt til driftslederen og derefter interviewes de øvrige relevante parter.

3. Vurder kompleksitet af problem

Ud fra de indledende interview vurderer DSB Trafikkvalitet om der er rimelig enighed om forstyrrelsens forløb og læringspunkterne.

4.a. Afhold møde med involverede

Hvis der ikke er enighed om forløb eller årsager, så indkaldes der til et møde, hvor de forskellige parter kan bidrage til afdækning af forløbet i fællesskab. Normalt er det ikke nødvendigt, og det er i øvrigt en mere tidskrævende arbejdsmetode.

4.b. Fastlægge problem, årsag og læring

Ud fra interview og et eventuelt møde med parterne, udarbejder DSB Trafikkvalitet et kort notat, som beskriver forstyrrelsens forløb og de eventuelle læringspunkter. Notatet vil typisk indeholde en anbefaling til, hvad der kan gøres bedre en anden gang. Med notatet er opfølgningen på den konkrete forstyrrelse slut.

5. Udarbejdelse af oplæg til handling

Når samme læringspunkt ses flere gange, er der basis for at udarbejde et forslag til en konkret forbedring af den måde DSB håndterer større uregelmæssigheder. Forslaget diskuteres med de relevante afdelinger, som også har ansvaret for at gennemføre dem.

6.4 Genopretningsmetoder i projektet

For at simplificere implementeringen af forskellige genopretningsmetoder, genoprettes der i projektet kun på Kystbanestrækningen, se figur 6.1. Grunden til at netop Kystbanestrækningen er valgt, skyldes bl.a., at der er stor homogenitet i det materiel, der kører på strækningen, hvilket er en fordel i modelleringen, da modellen så kan begrænses til kun at indeholde disse typer af materiel. Kystbanestrækningen er desuden interessant, da det er en belastet strækning med mange afgange i timen, hvor forstyrrelser derfor kan have stor indflydelse på trafikken.

Til at bestemme hvilke genopretningsmetoder der implementeres for Kystbanestrækningen, har vi benyttet os af DSBs genopretningsmetoder, de genopretningsmetoder vi har læst os til i litteraturen samt de metoder vi intuitivt mener vil være gode i en operationel planlægningsfase, se tabel 6.1.

Genopretningsmetoderne i projektet dækker et bredt område af mulige forstyrrelser og inddeles derfor i to grupper efter forstyrrelsens omfang, inspireret af DSB.

6.4.1 Hverdagens forstyrrelser

Genopretningsmetoder implementeret i simuleringsmodellen til at håndtere hverdagens forstyrrelser:

1. Hvis et tog skal afgå, men materiellet ikke er ankommet, afgår toget når materiellet er ankommet (ved mindre forsinkelser).
2. Indsættelse af reservestamme rettidigt fra København H. mod Helsingør, hvis et Øresundstog ankommer forsinket til Kastrup.

ad 1) Hvis et tog skal afgå, men materiellet ikke er ankommet, fordi det foregående tog er forsinket, afgår toget 4 minutter senere end det skulle, forudsat at materiellet er ankommet. Hvis materiellet ikke er ankommet aflyses afgang.

ad 2) Der indsættes reservemateriel og reservelokofører rettidigt på København H. mod Helsingør, hvis der er opstået forsinkelse på et Øresundstog fra Sverige mod Kastrup. Det forsinkede tog fra Sverige kører til København H. efter planen, udtages her og bliver ny reservestamme. DSB benytter deres to reservestammer på København H. ved forsinkelser fra både Helsingør og Sverige. Vi ønsker den bedste rettidighed i Danmark, og gør derfor ikke noget for at nedbringe forsinkelser opstået i Danmark der sendes videre til Sverige. Indsættelse af rettidig reservestamme, er reelt set den eneste mulighed, udover aflysning, der er for at genoprette på Øresundstog, der er blevet forsinket i Sverige.

6.4.2 Store forstyrrelser

Genopretningsmetoder implementeret i simuleringsmodellen til at håndtere store forstyrrelser:

1. Hvis et tog skal afgå, men materiellet ikke er ankommet, afgår toget når materiellet er ankommet (ved mindre forsinkelser).
2. Indsættelse af reservestamme rettidigt fra København H. mod Helsingør, hvis et Øresundstog ankommer forsinket til Kastrup.
3. Hvis en station er spærret, vendes tog på hver side af stationen og kører tilbage som det andet tog ville have gjort.
4. Hvis der er nedsat perronkapacitet på en station, prioriteres tog i kø foran stationen efter deres retning, og tog med højeste prioritet har således første ret til at benytte sporet.

5. Er et tog forsinket mere end 19 min. undervejs udtages det, da det efterfølgende tog har planlagt ankomst 20 min. senere. Det vil derfor skabe mere plads på skinnerne at udtage det forsinkede tog.
6. Ved nedsættelse af den maksimale tilladte hastighed, udtages myldretidstog fra starten af, for at bevare en høj rettidighed.
7. Aflysning af afgangen fra start af, og derfor også afgangen retur igen.
8. Tog vendes på Snekkersten station før endestationen og kører derved rettidigt den modsatte vej.

ad 1) Samme metode som for hverdagens forstyrrelser. Toget afgår 4 minutter senere end planlagt, hvis materiellet er ankommet forsinket til startstationen.

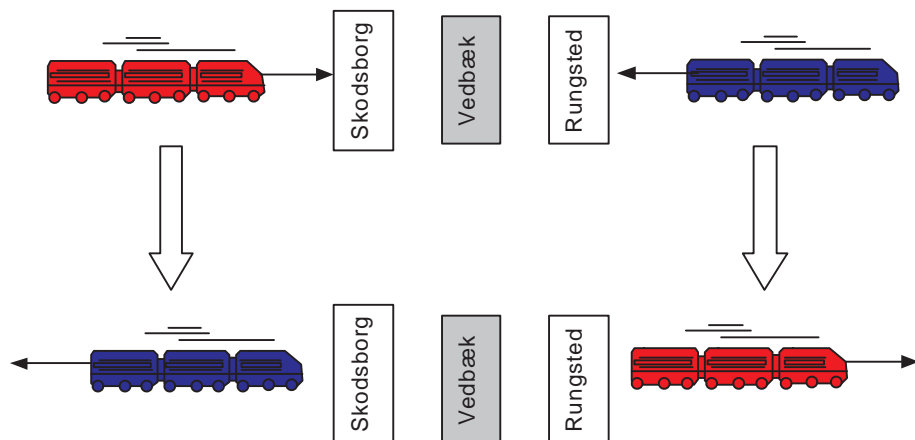
ad 2) Som beskrevet ovenfor om genopretningsmetoder til hverdagens forsinkelser, så er der ikke meget at gøre ved de forsinkelser der opstår for et Øresundstog i Sverige. Metoden med indsættelse af rettidig reservestamme på København H. mod Helsingør bruges derfor også som genopretningsmetode ved større forstyrrelser.

ad 3) En station kan være spærret helt for gennemkørsel, hvis der er opstået en større forstyrrelse som f.eks. en terrortrussel eller en personpåkørsel. I en sådan situation er det vigtigt at være forberedt, da det hurtigt lammer hele netværket at en station ikke kan benyttes. I en sådan situation genopretter vi ved, at vende togene parvis på stationerne på hver side af den spærrede station. Et tog venter på et andet tog fra den modsatte side af spærringen, overtager det modsatkørende togs oplysninger og kører så det andet togs tur færdig, se figur 6.4.

ad 4) Hvis der kun er et passabelt spor på en station mod normalt flere, og der dermed skabes kø på begge sider af stationen, prioriteres tog efter deres retning. Tog mod København har således fortrinsret i morgenmyldretiden og tog fra København har ligeledes fortrinsret i løbet af eftermiddags- og aftenmyldretiden. Dette er baseret på antallet af passagerer der transporteres.

Pga. den måde vi har modelleret vores simuleringsmodel på, kan vi ikke nedsætte kapaciteten på en strækning, men derimod kun på stationer. Det betyder, at når en stations kapacitet sænkes, svarende til kun en perron, så kan vi ikke garantere, at der ikke er flere tog på strækningen mellem en anden station og den station med nedsat perronkapacitet. Det giver altså et forkert billede af kanalkapaciteten, og er derfor i stedet en nedsat perronkapacitet.

ad 5) Er et tog forsinket mere end 19 minutter på en station aflyses næste afgang umiddelbart. Toget fortsætter til endestationen og venter der til næste



Figur 6.4: To tog ankommer til stationerne før den spærrede station (Vedbæk). Togene overtager hinandens oplysninger, og kører derved det andet togs tur færdigt.

gang materiellet har afgang fra stationen.

ad 6) Er der nedsat hastighedsbegrænsning på Kystbanestrækningen, pga. sporarbejde eller skinnernes stand eller lign., så udtages alle myldretidstog.

ad 7) Et tog kan aflyses fra start, f.eks. hvis materiellet er brudt ned, eller hvis der er så mange forstyrrelser, at det er nødvendigt at udtage tog. Når et tog udtages, aflyses ligeledes afgangens retur.

ad 8) Hvis et tog er 13-19 min. forsinket ved ankomst til Snekkersten station, på vej mod Helsingør, vendes toget på Snekkersten station og kører rettidigt sydpå. Ved over 13 minutters forsinkelse, kan toget ikke længere nå at vende i Helsingør, hvorfor den nedre grænse på 13 min. er valgt. Passagererne, der skal til Helsingør må da stå af på Snekkersten station, og passagererne på Helsingør station må vente indtil næste afgang. Til gengæld opnås en rettidig afgang fra Snekkersten mod København. Ved forsinkelser på mere end 19 minutter kan toget heller ikke køre rettidigt fra Snekkersten, og det tages derfor ud ved ankomst til Helsingør og 'springer' de følgende to afgange over.

Genopretningsmetode	DSB	Litteraturen	Egen intuition
1	x		x
2	x	x	
3			x
4	x		
5			x
6	x		x
7	x	x	
8	x	x	x

Tabel 6.1: Inspiration til valg af de forskellige genopretningsmetoder.

6.4.3 Lokoførere

Vi genopretter ikke for lokoførere. Kommer en lokofører således for sent til en planlagt afgang, sættes en 'dummy' lokofører på toget i stedet.

Der er flere grunde til at vi ikke genopretter for lokoførere. En grund er, at vi hellere vil have genopretningsmetoderne for materiel til at virke end at have 'halve' genopretningsmetoder for materiel og lokofører, der ikke giver brugbare resultater.

Litteraturgennemgang

I dette kapitel vil vi gennemgå litteratur inden for togdrift og togplanlægning, der er relevant for projektets problemstilling. Der berøres flere områder inden for togplanlægning i projektet, hvilket også vil afspejles i dette kapitel.

Inden for flytrafikken er optimering benyttet hyppigt gennem de seneste årtier, hvorimod der i togindustrien ikke har været samme fokus på optimering. Der findes således i dag systemer inden for alle planlægningsområder i flytrafikken. Der er forskellige forklaringer på hvorfor netop flytrafikken har haft større bevågenhed omkring optimering. Dels er der større kapital i flytrafik og dels er flytrafik meget standardiseret og internationaliseret. Togtrafikken derimod er begrænset i form af jernbanens infrastruktur, den store forskel i materiel osv., som beskrevet i afsnit 2. Der er ikke den samme tradition for international trafik i togindustrien, hvor togoperatører ofte kun opererer i det land, de hører hjemme i.

Litteraturgennemgangen er inddelt som følger; først beskrives litteraturen inden for operationel planlægning. Dernæst beskrives i afsnit 7.2 litteraturen om BSS'er, specielt BSS'er til den operationelle planlægning. Desuden beskrives et udviklet ekspertsystem i afsnit 7.3. Replanlægning i realtid beskrives i afsnit 7.4. Derefter beskrives i afsnit 7.5 en analyse af svenske driftsledere, foretaget for at danne et overblik over hvilke beslutninger driftsledere skal træffe, og om driftslederne har de rigtige redskaber til rådighed for at kunne træffe disse beslut-

ninger. I afsnit 7.6 beskrives simuleringsprojekter udført i togtrafikken. Taktisk planlægning beskrives i afsnit 7.7. Sidst beskrives genopretningsmetoder i både tog og flyindustrien.

7.1 Operationel planlægning

Den operationelle planlægningsfase er den sidste af de tre planlægningsfaser; den strategiske, den taktiske og den operationelle, som beskrevet i afsnit 5.1.

I oversigtsartiklen ”Operations Research in Passenger Railway Transportation” af Huisman et al. [15] opdeles den operationelle fase yderligere i to dele i henhold til opdelingen hos den Hollandske togoperatør NS Reizigers (NSR). Det NSR kalder det operationelle niveau, er den planlægning der sker ca. to måneder inden afvikling, hvor der planlægges detaljer i køreplanen, materielomløb, mandskabsplan, hvor rangeringsplanerne udarbejdes og hvor de forskellige togafgange tildeles en perron på hver station der passeres. Den anden del af den traditionelle operationelle fase, kaldes i artiklen for kort-tids planlægning, hvilket her vil sige den daglige planlægning af de samme emner som i to-måneders planlægningen. Her tages f.eks. ekstra tog (som følge af en bestemt begivenhed), hastighedsnedsættelser, togvogne, der ikke kan køre som planlagt, mm. i betragtning.

Den fase i den operationelle planlægning som vi har valgt at beskæftige os med, dvs., her-og-nu planlægning, både for at forhindre en forstyrrelse og for at genoprette driften efter en forstyrrelse, er i artiklen helt uden for den operationelle fase og kaldes realtids kontrol.

Der findes ikke mange artikler om operationel planlægning i togtrafikken, hvilket gør det svært for os at benytte os af andres erfaringer, men samtidig gør det interessant at undersøge.

7.2 BSS'er

Et BSS er generelt et computerbaseret interaktivt system, der samler de nødvendige informationer fra forskellige kilder og giver brugeren hjælp i organiseringen og udnyttelse af informationen. Ofte gør systemet det også muligt for brugeren at analysere og evaluere de forskellige beslutningsalternativer.

Ifølge Hellström et al. [12] inddeler Oliveira [20] litteraturbidragene om BSS'er i tre kategorier:

- Analytiske modeller.
- Simuleringsmodeller.
- Interaktive systemer.

Med interaktive systemer, menes systemer, der er baseret på samarbejde mellem driftsleder og computer, også selvom kernen er baseret på analytiske eller simuleringsmodeller.

7.2.1 Beslutningsstøtte i den operationelle fase

Artiklen "Decision support in the train dispatching process" [18] er udarbejdet af de svenske universiteter Uppsala og Dalarna i samarbejde med den svenske togoperatør Banverket.

I Sverige har der været stor fokus på driftsledernes rolle og arbejdsmiljø. Denne artikel af Kvist et al. [18], mener at det i fremtiden vil være vigtigt at driftsledere har anvendelige og passende designede BSS'er (DSS) samt overvågningssystemer til rådighed. Artiklens mål er at udvikle og evaluere simple og lettilgængelige hjælpeværktøjer. For at nå dette mål, har forfatterne ment, at det var nødvendigt at analysere hvordan driftsledere rent faktisk håndterer konfliktløsning og re-planlægning når en forstyrrelse er indtrådt.

I Sverige er der to indbyrdes afhængige projekter: TOPSim (Train traffic Operation and Planning SIMulator) og CATD (Computer-Aided Train Dispatching). TOPSim benyttes til at udvikle og evaluere BSS'er samt menneske-maskindialogen til fremtidige overvågningssystemer i togtrafikken. CATD benyttes til at formulere specifikationer til TOPSim.

Forfatterne har tidligere analyseret algoritmer til beslutningsstøttet disponering af tog. Analysen viste at det er svært, nærmest umuligt, at indføre alle relevante aspekter i et sådan system, da forstyrrelser i togtrafikken sjældent er ens og derfor er svære at tage højde for. Kvist et al. mener derfor, at et BSS bør baseres på en model, der hjælper driftslederen i sin løsning, og ikke på en model der producerer en færdig løsning. Det skal desuden være muligt at få hjælp fra BSS'et i realtid.

Forfatterne har gennem deres litteratursøgning hos DSS Community (se afsnit 5.2.1), erfaret at der stort set ikke findes noget litteratur om realtids beslutningstagen. Forfatterne tilføjer derfor det mindre undersøgte område, 'dynamisk beslutningstagen' (engelsk: Dynamic Decision Making (DDM)).

Målet med forfatterens hjælpeværktøj, er at sigte mod, at en beslutningstager opnår en større forståelse af sine opgaver, samt hjælpe beslutningstageren til at finde en løsning, der er acceptabel.

For at nå dette mål, var det nødvendigt at kortlægge driftsledernes håndtering af konfliktløsning og genoprettelse. For at få feedback med det samme, på ideen om BSS'er i togtrafikken, indgik forfatterne i 1996 et samarbejde med togoperatøren Banverket med henblik på øget fokus inden for fremtidige overvågningsystemer og brugergrænseflader til togdisponering. Sammen med Banverket opstiller forfatterne følgende krav til hvad et BSS bør kunne:

1. Identificere grunden til en forstyrrelse, og de deraf følgende konflikter, eller i hvert fald gøre driftslederen opmærksom på, at en konfliktsituation er ved at opstå.
2. Finde mulige løsninger, foreslå alternative løsninger samt forudsige effekten af alternative løsninger.

Forfatterne vil beskrive implementeringen og evalueringen af det omtalte BSS i kommende artikler.

7.2.2 Opsamling

Kvist et al. beskæftiger sig med problemstillingen at udarbejde et BSS til togdisponering. Til udvikling af dette, har forfatterne valgt at analysere driftslederne samt deres behov for hjælpeværktøjer. Vi har ligeledes fundet det relevant at følge en driftsleders dagligdag, for at se hvilke forstyrrelser der opstår og vigtigst, hvordan forstyrrelserne håndteres. Derudover har vi indgået et samarbejde med en togoperatør, DSB, hvor vi har haft mulighed for at benytte os af mere togkendes viden og kommentarer til vores ideer og program.

Vi ønsker dog ikke at udvikle et BSS ligesom forfatterne, men derimod en prototype på et værktøj, der kan hjælpe DSB med at overveje, om de skal investere i et BSS, og hvad det så skal indeholde.

Af de krav forfatterne opstiller sammen med Banverket for et BSS, opfylder vores program dele af det første punkt; at gøre driftslederen opmærksom på en konfliktsituation, der er ved at opstå.

7.3 Eksisterende BSS til operationel planlægning

Der har ikke været muligt at finde videnskabelige artikler i litteraturen om eksisterende BSS'er til brug i den operationelle planlægning i forbindelse med togdrift. Dette kan blandt andet skyldes, at forskningen inden for dette område endnu ikke er nået så langt, og at de kommercielle virksomheder, der udvikler BSS'er ikke udgiver videnskabelige artikler om deres produkter. Det er vigtigt, at der under udvikling af et BSS, tages højde for den eksisterende infrastruktur, det enkelte lands sikkerhedskrav samt de eksisterende systemer hos togoperatøren. Dette gør det dyrt for en togoperatør at anskaffe et system, og er en af grundene til, at der kun eksisterer få BSS'er i togindustrien i dag.

7.3.1 Ekspertsystem

Vi har fundet et enkelt udviklet BSS i litteraturen, kaldet et 'ekspertsystem', som dog er helt tilbage fra 1989.

Ifølge Hellström et al. [12] udviklede Komaya et al. [17] i 1989 et ekspertsystem til at støtte overvågningen af høj trafiktæthed i forstyrrede situationer i togtrafikken. Systemet genererer automatisk en ny plan, der går på kompromis med forskellige tilpasninger af planen. Systemet er baseret på en kombination af simulering og "if-then"-regler. Komaya et al.'s arbejde viste, at ved anvendelse af ekspertsystemet, overvågede en uerfaren driftsleder trafikken lige så godt som en erfaren driftsleder uden ekspertsystemet. Dette bekræfter at Kvist et al. [18] har ret i at udvikling af BSS'er til togindustrien er den rette vej at gå.

Som tidligere beskrevet, kræves der i dag stor ekspertise indenfor togtrafikken for at blive driftsleder. Komaya et al.'s arbejde har vist, at ved benyttelse af ekspertsystemet kan man spare nogle års erfaring for driftsledere, hvilket ellers har været afgørende. Vi tror, at der i fremtiden vil være større fokus på ekspertsystemer eller andre IT-baserede hjælpemærktøjer til driftslederne, og at driftslederne derfor ikke behøver at besidde mange års togerfaring.

7.4 Replanlægning i realtid

Forfatterne Wikström et al. [32] til "Train traffic control by re-planning in real-time" fokuserer i artiklen på overvågning af den fremtidige togtrafik og bruger-

interaktionen mellem driftslederen og informations- og overvågningssystemerne.

Overvågningssystemer til togtrafikken er ifølge forfatterne ofte designet til at overvåge infrastrukturen, og derigennem styre togtrafikken. Forfatterne foreslår at målet i stedet skal være at planlægge trafikken, der opererer på infrastrukturen. Forfatterne vil udvikle et system, der følger den dynamiske udvikling af togtrafikken for at kunne forhindre forstyrrelser før de opstår. Systemet skal gøre driftslederne i stand til at replanlægge, så driftslederne, i stedet for at varetage den trættende og tidskrævende manuelle overvågning, kan fokusere på afviklingen af trafikken. Ved replanlægning forstås, kontinuerlig ændring af den ineffektive eller konfliktfyldte nuværende trafikafvikling, så afviklingen bliver bedre, det vil sige mere effektiv med færre konflikter. Det skal altså være driftsledernes job, at finde en ny optimal plan for trafikken, ud fra informationerne som systemet giver.

Forfatterne har udarbejdet en analyse af driftsledere. Ud fra denne bemærkes det, at driftslederne har svært ved at modtage nok information om den aktuelle situation, og i stedet oparbejder en evne til at have oplysningerne i hovedet, i artiklen kaldet 'mentale modeller' (engelsk: *mental models*) i artiklen, baseret på mange års erfaring og fragmenteret information. I fremtiden, når togtrafikens nye behov for flere og hurtigere tog indtræder, mener forfatterne at togtrafikken vil være så kompleks, at det vil være svært at bevare disse mentale modeller. Forfatterne mener, at det er en krævende opgave at benytte mentale modeller, da det reducerer evnen til at koncentrere sig om den aktuelle situation.

Der udvikles i samarbejde med den svenske togoperatør Banverket, et værktøj bestående af simuleringssystemet SIMON/TTS og en grafisk brugergrænseflade. Målet er at al beslutningsrelevant information skal integreres i dette værktøj. Det er indtil videre muligt at overvåge simuleret togtrafik, foreslå en ny køreplan og dynamisk iagttage trafikafviklingen ved hjælp af værktøjet.

Driftslederne har haft en stor rolle i udviklingen af brugergrænsefladen, der indeholder en interaktiv tid-sted graf som driftslederne ellers benytter manuelt på papirform.

Der udføres tre scenarier hvor otte driftsledere deltager. Resultatet viser at stort set alle driftsledere er skeptiske ved introduktionen af værktøjet, men at flere efterfølgende overraskes positivt af værktøjet.

Forfatterne mener dog selv, at de mangler et stort stykke arbejde endnu for at verificere at deres strategi holder. De mener at BSS'er skal videreudvikles før de kan tages i brug. Det er her vigtigt at BSS'er testes af driftsledere i mere avancerede forsøg.

7.5 Analyse af driftsledere

For at kunne tilbyde passagerer en god service, forsøger togoperatører at opnå en høj rettidighed og pålidelighed. I Sverige er omkostningen ved denne punktlighed meget høj, hvilket både Banverket og SJ (Svenske Statsbaner) såvel som andre har erklæret. Problemet viser sig da også gældende i andre lande [12].

Der har derfor været stor opmærksomhed på, hvordan en optimal overvågning af trafikken sikres. Hurtigere tog, forøget trafiktæthed, ophøjede kundestandarder og større og større områder, der skal overvåges af en enkelt driftsleder, har gjort driftslederens tid og evne til en af de største flaskehalse i togtrafikken.

Når tog kører efter planen, er det nemt at være driftsleder, da eventuelle sammenstød og mangel på personel eller materiel er planlagt væk. Når en forstyrrelse derimod påvirker systemet, bliver opgaven utrolig svær at løse optimalt.

Hellström et al. [12] udarbejder en analyse af driftsledere på baggrund af interview med svenske driftsledere og eksperter i togtrafik. Målet med interviewene er at nå frem til en bedre forståelse af en driftsleders arbejdsbetingelser og samtidig få driftslederens syn og mening på forskellige fænomener tilknyttet overvågningsopgaver.

Analysen gav følgende resultater:

- I situationer med forstyrrelser, er driftslederen ikke i stand til at overveje alle mulige alternativer. Driftslederen skal være selektiv og udvælge de bedste alternativer, og derefter grundigt sammenligne disse for at finde den bedste løsning.
- Driftsledere har svært ved at forudsige konsekvensen af en given beslutning. En mulig grund, er at driftslederne ikke har andre BSS'er til rådighed end en blyant, viskelæder og en oversigt over de grafiske køreplaner (tidsted diagrammer).
- Driftslederne har ikke den fulde information om alle tog tilgængeligt. Der kendes kun togs positioner på bestemte stationer. Driftslederne er derfor kun i stand til groft at estimere et togs ankomsttid til en station eller mødepunkt.
- Forstyrrelser opdages ofte for sent, hvilket kan skyldes både tekniske såvel som organisatoriske årsager.

Forfatterne konkluderer at driftslederne, der overvåger forskellige områder fra forskellige kontrolcentre ikke kommunikerer med driftslederne fra de andre centre. Dette må være specifikt for Sverige, hvor der måske er flere togoperatører på jernbanen. I Danmark kommunikerer DSBs driftsledere med driftsledere fra andre togoperatører, hvis der er opstået en forstyrrelse, der gør, at der er behov for at tale sammen.

7.6 Simulering i jernbanetrafikken

Forfatterne Hooghiemstra og Teunisse [14] behandler det hollandske jernbanelnetværk i artiklen "The use of Simulation in the Planning of the Dutch Railway services". Her benyttes simulering til at analysere, hvor meget forstyrrelser påvirker rettidigheden. Artiklen holder sig til den strategiske planlægningsfase hvor infrastrukturen samt køreplanen planlægges. Denne fase er den tidligste planlægningsfase og ligger før den taktiske og operationelle planlægning, som beskrevet tidligere. Målet er at undersøge robustheden af en køreplan ved hjælp af simulering. I artiklens benyttede metode, er planlægning af infrastruktur tæt forbundet til valg af køreplan og her kan udbyttet ved at bruge simulering være stort, da simulering af forskellige scenarier kan give svar på hvilket scenarie der er bedst ud fra nogle valgte kriterier. Simuleringen kan derved støtte den endelige beslutning. Målet med simuleringen er, at se om en forfining af køreplanen, kan gøre den mere robust, samt at finde ud af om en ændring i infrastrukturen har indflydelse på rettidigheden. Robustheden af en køreplan er ligeledes behandlet af Hofman og Madsen i [13], der beskrives nærmere i afsnit 7.8.

"Anwendung der Betriebssimulation im Eisenbahnwesen" (engelsk titel: Simulation of Railway networks) af Ostermann et al. [21]. Artiklen er en gennemgang af fordele ved brug af simuleringssværktøjer i såvel planlægning af infrastruktur, materiel og køreplaner, som i selve den løbende udførelse af togkørslen. Forskningsprojektet Opentrack udført hos Institut for trafikplanlægning og transportteknik på ETH Zürich havde som mål, at udvikle et effektivt simuleringssprogram som kan hjælpe med at løse komplekse problemstillinger inden for jernbanevæsenet. Projektet bruger den koreanske jernbane som teststed og simulerer på mikroniveau, med alle detaljer som signaler, blokke, hastighed og bremsekurver.

Forfatterne mener, at det i fremtiden vil være påkrævet, hvis godstogsindustrien skal være konkurrencedygtig med lastbilindustrien, at planlægning af dagens kørsel skal foregå mere ad hoc på den aktuelle dag, for at imødekomme den øgede 'just in time' produktion. Dette vil dog medføre yderligere forhindringer for persontogene og dermed øge behovet for effektiv disponering. I Opentrack

projektet er der til brug i den daglige planlægning af køreplaner brugt et planlægningsinstrument ARMIS-P (advanced railway automation, management and information system-planning module). Dette værktøj kan dog ikke garantere en konfliktfri køreplan, og der er således brug for et simuleringsværktøj, som kan forudse konflikter, således at driftslederen enten kan afværge konflikten eller afvikle konflikten med så få gener som muligt. Simuleringsværktøjet skal tilbyde driftslederen beslutningsstøtte til løsning af konflikten. Forfatterne beskriver ikke nogen form for test af deres forslag til den operationelle planlægning og konfliktløsning ved hjælp af simulation. De har kun testet den mere tekniske simulering i Korea, men dette er ikke interessant for vores projekt. Deres tanker omkring hvordan den daglige drift kan forbedres, ligner meget vores, men er udbygget en del i forhold til det vi har tænkt. Så vidt vi kan se, ligger gennemførelsen af ideerne i artiklen en del år ude i fremtiden.

Forfatterne lægger desuden stor vægt på, at data skal standardiseres for at minimere den manuelle bearbejdning af data, hvilket er nødvendigt for at kunne overføre data mellem forskellige programmer. Dette er også en nødvendighed for DSB, da vores projekt har vist at data opbevares i forskellige databaser og ikke nødvendigvis kan benyttes mellem de forskellige afdelinger.

I artiklen "New Real Environment Simulation Models on Railway Network" af Sotek et al. [27] udvikler forfatterne en simuleringsmodel, hvor simuleringen foregår i tre skridt. Det første skridt er infrastruktur og data, modtaget fra den tjekkiske togoperatør Czech Railways. Næste skridt er indførelse af forstyrrelser, aflysninger o.lign. Den reelle simulering foregår først i tredje skridt, hvor der iterativt søges efter og løses konflikter. Det er hele tiden muligt at standse simuleringen og ændre i data eller parametre.

Forfatterne præsenterer flere praktiske eksempler på projekter udført inden for togindustrien. Da der ikke henvises til andre forfattere i artiklen, antages det at Sotek et al. selv er forfatterne bag de nævnte projekter. Der vises et skærmbillede fra et af de præsenterede projekter, GTN-DOZ (Graphic-technological extension of remotely controlled signalling and interlocking equipment AZD), der viser den operationelle situation af det overvågede område i real tid. Udover at holde styr på den operationelle situation genereres der prognoser for en given periode (ofte 2 timer) baseret på modtaget data. Forfatterne præsenterer ligeledes et simuleringsmodul kaldet SENA, der er en simuleringsmodel udviklet for Czech Railways, til udarbejdelse af køreplaner.

Ud fra de præsenterede projekter, konstruerer forfatterne en simuleringsmodel, der bl.a. gør det muligt, at:

- Udregne den regulære køretid.

- Udregne togfølgetiden.
- Ændre togs ruter og foreslå alternative ruter.
- Aflyse tog og eventuelt indsætte busser eller lign. på ruten.

Artiklen berører nogle interessante områder, men præsenterer desværre resultaterne i en så dårlig kvalitet, at det er svært at konkludere noget ud fra disse. Resultaterne præsenteres i form af grafer, der er uskarpe og hvor oplysningerne står på tjekkisk. Det er derfor umuligt for os at konkludere noget ud fra disse.

7.6.1 Opsamling på litteratur om simulering

Simulering er ved at vinde større indpas i togindustrien, og som beskrevet i artiklerne ovenfor har simulering vist sig effektiv i de fleste af de gennemførte projekter og givet positive resultater.

Indtil videre har litteraturen om simulering i togindustrien mest været koncentreret om den strategiske og den taktiske planlægning. Simulering som brugbart værktøj i den operationelle planlægningsfase hører stadig fremtiden til. Der er dog allerede taget nogle skridt i retning mod et operationelt simuleringsværktøj, ligesom vores projekt er et første skridt i retning mod et BSS baseret på simulering. Vi mener, at der er et stort potentiale i videreudvikling af BSS'er, der fungerer sammen med simulering.

7.7 Taktisk materielplanlægning

Taktisk planlægning, er som beskrevet i afsnit 5.1 den planlægning, der foregår mellem seks måneder til et år, før selve afviklingen.

Alle artikler i de kommende afsnit er udført i samarbejde med den hollandske togoperatør NSR.

7.7.1 Materielomløb

Peeters og Kroon beskriver i artiklen "Circulation of railway rolling stock: A branch-and-price approach" [22] en metode til at allokere materiel til de forskellige afgange i løbet af en dag. Algoritmen, der benyttes, tager udgangspunkt

i køreplanen og efterspørgslen af siddepladser. Målet er effektivt at udnytte togvognene, der hvor der er størst behov, ved at ændre i togenes sammensætninger undervejs på ruten, ved enten at koble vogne på eller af. Kvaliteten af en løsning vurderes på tre kriterier; passagerservice (antal kilometer, hvor der mangler siddepladser), robusthed (antallet af rangeringsopgaver) og omkostningen af løsningen (antallet af materielkilometer). Forfatterne nævner at problemerne med materielomløb er et vigtigt emne, da der ligger stor kapital i materiellet, og fordi det er en årelang proces at lave store ændringer i materielbeholdningen. Det er således en stor fordel økonomisk såvel som servicemæssigt at optimere på hvilke og hvor mange vogne, der benyttes på hver afgang.

Der er mange hensyn og begrænsninger at tage i betragtning når der planlægges allokering af togvogne til de forskellige afgange. Først og fremmest den tid, der er på stationen til at op- eller nedformere et tog, rækkefølgen vognene er sat sammen i og i hvilken retning togene kører ind og ud af stationen.

Det bemærkes i artiklen, at det er fordelagtigt at holde de forskellige materieltyper adskilt i de forskellige toglinier, hvilket gør det lettere at genoprette togtrafikken efter en forstyrrelse. Det bemærkes ligeledes at modellen også kan bruges i den operationelle fase, men at den er udformet til at kunne bruges til at undersøge hvordan ændringer i f.eks. toglængden, eller antallet af stationer der kan på eller afkobles på, berører den samlede løsning.

Den benyttede branch-and-price algoritme løser problemet med materielomløb på en enkelt dag for en enkelt eller flere strækninger, der interagerer. Forfatterne har løst problemet til optimalitet og testet algoritmen på opgaver for NSR.

7.7.2 Udvidet materielomløb

Artiklen "A Rolling Stock Circulation Model for Combining and Splitting of Passenger Trains" af Fioole et al. [10] er en udbygning af modellen i [22] og handler om at tildele den "rigtige" mængde af materiel til en given køreplan for en generisk uge. Ved tildelingen kendes ankomst- og afgangstider samt det forventede antal passagerer for hvert enkelt tog. Når tildelingen af materiel er overstået, er planen ikke endelig. Der skal nemlig tages højde for højtider, vedligeholdelse samt rangering.

En af problemstillingerne i planlægningen af materiel, er hvordan vedligeholdelse af materiel planlægges. I Holland er køreplaner og materielplaner udarbejdet meget kompakt, og er derfor følsomme overfor forstyrrelser. Forudbestemte planer for vedligeholdelse har en lille chance for at blive overholdt, og vedligeholdelse planlægges derfor kun i den operationelle fase hos NSR.

Et højt serviceniveau hos togoperatører betyder bl.a. at alle passagerer, især 1. classes passagerer, har et sæde til rådighed i løbet af deres rejse. Dette serviceniveau kan dog ikke altid opfyldes i myldretiden, da materielkapaciteten simpelthen ikke er stor nok. Udenfor myldretiden er materielkapaciteten derimod oftest tilstrækkelig, til at alle passagerer kan få et sæde, og at togvogne ligeledes kan frakobles for at spare eller vedligeholde disse.

Forfatterne udvælger fire strækninger fra det hollandske jernbanenetværk, som de beskæftiger sig med. Det er de fire største strækninger passagermæssigt, samt de strækninger hvor næsten alle tog op- eller nedformes undervejs. Ved nedformering af togvogne, er retningen af togvognene af stor betydning, hvorimod retningen ved til- og frakobling af vogne på stationen, ikke er af stor betydning.

Et problem i tildelingen af materiel, er at NSRs materiel, ligesom de fleste andre togoperatørers, er af forskellig type. Når et tog skal op- eller nedformes, skal materiellets position kendes. Bliver der problemer med en speciel type materiel, skal driftslederen nemlig vide hvor det tætteste materiel, der kan benyttes, befinder sig. Dette betyder reelt, at der hele tiden skal noteres hvor de forskellige tog, og deres vogne, befinder sig på jernbanen.

Modellen præsenteret i artiklen antager at togvogne, der er opbevaret på en station kan kobles på et tog med senere afgang fra stationen, uanset rækkefølgen af de opbevarede togvogne. En tilfredsstillende materielplan, er en balance af flere kriterier, som f.eks. minimering af *(i)* antallet af kørte kilometer (effektivitet), *(ii)* antallet af manglende ledige sæder (service), og *(iii)* antallet af rangeringer (robusthed). Modellen gør det muligt at lave en opvejning af disse forskellige kriterier.

Forfatterne udvikler en Integer programming (IP) model, der som beskrevet bygger videre på et problem beskrevet af Peeters og Kroon [22]. Den udvidede model, gør det muligt at op- og nedformere togvogne undervejs på turen. Først er modellen dog bygget op uden mulighed for op- og nedformering, men med mulighed for at til- og frakoble vogne inden afgang, undervejs og ved endestationen. Herefter udvides modellen med muligheden for op- og nedformering af flere togafgange undervejs.

Problemet løses ved hjælp af CPLEXs mixed IP software. Resultaterne har forbedret planerne hos NSR i forhold til de manuelt udførte planer.

7.7.3 Materiel allokering

Formålet med artiklen ”Allocation of Railway Rolling Stock for Passenger Trains” [1] af Abbink et al. er at beskrive hvorledes NSR kan tilbyde et højt service niveau for deres passagerer både i og uden for myldretiden. For at imødekomme dette kræves en tilstrækkelig materielkapacitet. Det har dog vist sig for operatøren, at netop materielkapaciteten er en af flaskehalsene i den service NSR tilbyder deres kunder.

På det travleste tidspunkt i løbet af morgenmyldretiden, hvilket er omkring kl. 8, har NSR 250 tog kørende samtidig. Specielt her er der mange passagerer, der ikke har et sæde til rådighed under deres transport, hvilket skyldes mangel på materielkapacitet. Denne mangel skyldes en kombination af flere faktorer som f.eks. at antallet af passagerer er steget voldsomt over de sidste par år, og at nyt materiel, der er bestilt hjem, ikke er blevet leveret tids nok.

Da flere tog har et overskud på kapacitet, mener forfatterne at problemet med manglende sæder i morgenmyldretiden kan løses ved at finde en bedre måde at allokere materiellet. Problemet er en del af den taktiske planlægning, det vil sige den planlægning af materielomløbet, der ligger måneder forud for den faktiske afvikling af trafikken. Problemet går ud på, at finde den mest effektive allokering af de forskellige typer af materiel til alle strækninger, på en sådan måde at så mange passagerer som muligt har en siddeplads, specielt i myldretiden.

Først bestemmes en allokering af materielkapaciteten til de tog der kører i morgenmyldretiden. Idéen med dette er, at hvis det er muligt at finde en passende allokering af materielkapaciteten i løbet af morgenmyldretrafikken, så vil denne allokering også være passende for resten af dagen. Forfatterne mener at dette er en rimelig antagelse, da den krævede materielkapacitet til aftenmyldretiden i praksis er mindre end morgenmyldretiden. Aftenmyldretiden strækker sig over længere tid end morgenmyldretiden, og har et lavere højdepunkt. Allokeringen af materielkapacitet til morgenmyldretiden er altså et eksempel på flaskehals planlægning, hvor målet er at maksimere den effektive materielkapacitet.

Dernæst bestemmes materielomløbet af de resterende tog i løbet af dagen, altså ikke-morgenmyldretids togene. Denne planlægning er et effektivitets problem, hvor målet er at minimere det totale antal af kørte materielkilometer.

Herefter bestemmes antallet af togvogne der skal placeres på en rangerplads henover natten, til at være lig med antallet af togvogne der skal benyttes på rangerpladsen den efterfølgende morgen. Dette gøres i praksis ved at ændre materielomløbet for de tidlige morgentog eller de sene aftentog, eller ved at tilføje såkaldte ’deadheading’ tog. Det sidste skridt af planlægningsprocessen er

organiseringen af, hvornår vedligeholdelse af materiellet skal varetages.

Forfatterne har udviklet en model, der ud fra en given køreplan og efterspørgslen på sæder, kan give en optimal allokering af de forskellige materieltyper til de forskellige strækninger, med det mål at minimere manglen på sæder i myldretiden. Modellen implementeres i OPL Studio 3.1 og løses ved hjælp af CPLEX 7.0. Resultaterne har været tilfredsstillende for planlæggerne i NSR.

7.7.4 Opsamling

DSB har samme problem som NSR med at det ikke er alle passagerer, der har en siddeplads i morgenmyldretiden.

Ligesom NSR har DSB, for at øge materielkapaciteten, oplevet at bestille materiel fra en leverandør, der så ikke har kunnet levere rettidigt. DSBs bestilling af IC4 tog, skulle have kørt på de danske skinner i starten af 2005, og er nu udskudt indtil et sted imellem 2006 – 2008 pga. fejl hos leverandøren. Dette er selvfølgelig et problem der er svært at forudsige, og som desværre betyder at materielkapaciteten ikke øges som planlagt.

Vi beskæftiger os ikke med allokeringen af togvogne i løbet af natten eller tidlig morgen. Vi antager derimod at de vogne, der skal afgang først den efterfølgende dag, er blevet allokeret til deres startstation i løbet af natten. Forfatternes model kan derfor ikke direkte benyttes i vores arbejde.

Hos DSB planlægges vedligeholdelsesplaner for at sikre at værkstederne hele tiden har noget at lave, der sker dog ofte ændringer der resulterer i at vedligeholdelsesplaner omlægges. Det er VDL'eren med ansvaret for værkstederne, beskrevet i afsnit 3.3.3, der står for den operationelle planlægning af vedligeholdelsesplaner.

7.8 Genopretningsmetoder

Artiklen ”A Model predictive control approach for recovery from delays in railway systems” [26] af de Schutter et al., beskriver hvordan en ”model predictive control” (MPC) kan benyttes i togindustrien.

MPC er en tilpasset overvågningsdesignsteknik fra procesindustrien. En af fordelene ved MPC er at det tillader begrænsninger på input og output og kan

håndtere ændringer i systemparametre ved kontinuerligt at opdatere model og overvågningsstrategi.

Den præsenterede metode tillader både 'hårde' og 'bløde' begrænsninger. Det vil sige at i nogle tilfælde tillades at en aktivitet påbegyndes, selvom de planlagte foregående aktiviteter ikke er blevet afsluttet. I togsammenhæng kan dette betyde at et tog ikke afventer andre tog, som planlagt, men bryder denne forbindelse.

Metoden kan benyttes i online applikationer og kan håndtere (forudsagte) ændringer i systemparametrene. Forfatterne mener derved, at hvis man kan forudsige de forsinkelser, der vil opstå i forbindelse med en forstyrrelse, så kan man inkludere denne information, når det optimale overvågningsinput for de næste operationer skal bestemmes. Formålet med overvågningshandlingen er at genoprette fra forsinkelser på optimal vis ved at bryde nogle forbindelser. Det kan eksempelvis ske ved at ændre et togs standsningsmønster eller lign.

Det er vigtigt at kunne beregne fremtidige konsekvenser ved de valg driftslederne træffer dagligt, for på den måde at reducere antallet af sekundære forsinkelser i systemet. I togoperationer, hvor et tog har planlagte forudbestemte forbindelser til andre tog, og hvor disse tog er meget forsinkede, er det nogle gange at foretrække - set fra et globalt *performance* synspunkt - at lade toget afgå alligevel, på trods af, at dette betyder at passagerer derved ikke kan skifte imellem to eller flere tog. Herved undgås en mulig akkumulering af forsinkelser i jernbanenettet.

Hovedformålet med overvågningsmetoden præsenteret i artiklen, er at genoprette fra tidligere og kendte forsinkelser samt fra fremtidige og forudsigelige forsinkelser. Dette sker ved at bryde nogle forbindelser, hvis det er muligt, eller ved at lade nogle tog køre hurtigere end planlagt. Begge disse tiltag af overvågningshandlinger har en omkostning tilknyttet. Aflysninger og brudte forbindelser betyder nemlig utilfredse kunder. I Holland, hvor forfatterne er fra, betaler togoperatøren NSR en kompensation ved forsinkelser på over 30 min., og det er derfor dyrt for operatøren, hvis mange passagerer 'efterlades' på en station, fordi et tog kører forbi for at indhente tid.

Hofman og Madsen [13] har i deres eksamensprojekt fra 2005 undersøgt robustheden af køreplaner for DSB S-tog. Ved hjælp af simulering i Arena er forskellige køreplaner samt alternative linjeføringer blevet undersøgt og sammenlignet. Forfatterne har ligeledes testet tre forskellige genopretningsmetoder. Den ene genopretningsmetode vender tog før endestationen, når en vis forsinkelse er nået. Der kan kun vendes på enkelte stationer og to tog i træk i samme retning kan ikke begge vendes. Forfatterne har også implementeret en genopretningsmetode, der aflyser bestemte linier (strækninger), så der bliver mere plads til de øvrige tog, således at disse får bedre mulighed for at indhente forsinkelser. Aflysning af en

strækning bliver iværksat, når rettidigheden når under et vist niveau og holdes der. Ligeledes ophæves afflysningsniveauet, når rettidigheden er blevet holdt over et vist niveau, mens tilpas mange tog har været gennem systemet. Den tredje og sidste genopretningsmetode, der er implementeret i modellen, er rettidig indsættelse af reservetog på Københavns Hovedbanegård (København H.). Hvis et tog på vej mod København H. er forsinket mere end en vis grænseværdi, indsættes et tog på København H. som erstatning, så toget kører rettidigt. Det forsinkede tog tages ud af systemet, når det ankommer til København H. Af passagerhensyn er det højst hvert andet tog på en linie, der genoprettes på denne måde.

Der er i projektet eksperimenteret med hvilken indflydelse de tre genopretningsmetoder har på forskellige køreplaner og hvordan forskellige forsinkelser påvirker rettidigheden. Til sidst er forskellige køreplaner blevet sammenlignet i forhold til robusthed. Det viser sig at buffertid på stationerne har stor indflydelse på robustheden af en køreplan. Det er dog en grænse for hvor meget buffertid, der er nødvendig for at køreplanen er robust. Derudover har antallet af linier og liniestrukturen ligeledes indflydelse på robustheden.

Angående genopretningsmetoderne konkluderes det, at når rettidigheden er høj er den bedste metode at vende tog inden endestationen. Ved lav rettidighed er afflykning af linier den bedste genopretningsmetode. Metoden med indsættelse af tog giver en høj pålidelighed, da man undgår at afflyse tog, men er altså ikke så effektiv som vending af tog, da det kun er muligt at indsætte reserver på København H.

7.8.1 Opsamling på genopretningsmetoder

Så længe DSB overholder Banedanmarks hastighedsbegrænsninger, har DSB mulighed for at indhente mindre forsinkelser ved at øge hastigheden, da der er indlagt buffertid i køreplanen, som forfatterne de Schutter et al. også anbefaler. Dette er dog ikke en mulighed, vi har i den udviklede simuleringsmodel.

Der er ligheder mellem vores projekt og Hofman og Madsens projekt. Blandt andet har vi implementeret lignende genopretningsmetoder, og begge projekter benytter simuleringsmodeller. Der er dog en forskel, i og med forfatterne har arbejdet med en bybane (DSB S-tog), og vi har arbejdet med DSBs fjerntrafik. I forbindelse med genopretning har vi koncentreret os om Kystbanestrækningen, som har visse ligheder med en S-togs linie i form af infrastruktur, standsningsmønster mm.

Der er dog forskellige mål for projekterne. Hofman og Madsens projekt beskæftiger sig med den taktiske planlægningsfase, mens vores projekt koncentrerer sig om den

operationelle fase.

7.9 Samtidig genopretning af materiel og vagtplaner

Indenfor dette område, undersøges to artikler, en fra togindustrien og en fra flyindustrien.

7.9.1 Togindustrien

Artiklen ”Simultaneous disruption recovery of train timetable and crew roster in real time” [31] af Walker et al. beskriver hvordan, der udvikles og implementeres en optimeringsmodel, der genopretter den eksisterende køre- og vagtplan for togindustrien. Genopretningen udføres samtidig i modsætning til tidligere tiltag i litteraturen, hvor disse problemer altid er løst separat.

Artiklen er udarbejdet i samarbejde med en New Zealandsk togoperatør. Hos togoperatøren løses forstyrrelser manuelt, og afhænger udelukkende af driftslederen, der er på arbejde. Når en forstyrrelse opstår, er det op til driftslederen at identificere hvilke tog, der er påvirket af forstyrrelsen, og så ændre de planlagte tider af det påvirkede tog med den højeste prioritet. Prioriteten bestemmes af driftslederen baseret på togtype eller den betydning forsinkelsen har. Driftslederen benytter et ’*Train Controller Diagram*’ (*TCD*), en lineal og forskellige farveblyanter til at indtegne de nye tider for de resterende tog. Dette gøres i realtid.

Genopretning efter en forsinkelse, involverer ifølge artiklen to relaterede processer:

1. Bestemmelse af en revideret eller forbedret køreplan.
2. Tilpasning eller reparation af de tilknyttede vagtplaner.

Begge disse processer er påvirket af løsningen fra den anden. Forfatterne konstruerer derfor køreplan og vagtplan samtidig. Der udvikles først en delmodel der kobler de to underliggende problemer sammen. Dette kædes herefter sammen med genopretning i en model, der foreslår forbedringer af køre- og vagtplaner med udgangspunkt i de eksisterende.

Fra et praktisk synspunkt er der ikke den store mening i at løse langt ud i fremtiden, da det er meget muligt, at en ny forstyrrelse optræder inden den nye plan for genopretning (efter den forrige forstyrrelse), er fuldt gennemført. Ideelt set, mener forfatterne derfor at løseren ('*solveren*') skal køre kontinuert, hvor information om nye forstyrrelser, så indtastes når de opstår.

Modellen er en Integer Programming (IP) model og kan benyttes til at generere køre- og vagtplaner fra bunden. Forfatterens intention er dog, ud fra denne basismodel, at udvikle en tilgang til genopretning i realtid. Målet for denne genopretning - det vil sige kriteriet for et godt forslag til ændringer i køre- og vagtplaner, er, at den skal afvige mindst muligt fra den eksisterende køreplan og have mindst mulig stigning i omkostning for ændring af vagtplanen. Løsningsmetoden er 'branch and bound with column and constraint generation'.

Delmodellen, der konstruerer køre- og vagtplaner samtidig, testes på South Island Coal ruten, der er et lille isoleret enkeltsporet delnetværk i det New Zealandske jernbanenetværk. Modellen, der genopretter efter en forstyrrelse testes på en simulering af Wellington Metro. Resultaterne er positive, og giver forfatterne forventninger om, at de har udviklet et værktøj til brug i den operationelle fase i afviklingen af togtrafikken. De to netværk, der er testet på, er mindre komplekse end DSBs netværk. Hvis modellen skal kunne bruges hos DSB, vil den formentlig kræve en del yderligere udvikling.

7.9.2 Flyindustrien

Artiklen "An Optimization Model for the Simultaneous Operational Flight and Pilot Scheduling Problem" [29] af Stojković et al. beskriver og løser det operationelle pilotplanlægningsproblem for en dags aktiviteter. Problemet består i at modificere de eksisterende planlagte flyafgange og planlagte arbejdsopgaver i realtid, imens flyenes ruter holdes uændret. Dette kræver at alle fly besættes med piloter, imens ændringer i flyplaner og i den følgende dags vagtplan minimeres.

Der opstår ofte forstyrrelser i flyselskabernes planer. Forstyrrelserne påvirker de planlagte flyplaner, tildelingen af fly og besætningsopgaver. Forstyrrelserne kræver ofte hurtige ændringer, og udføres derfor oftest sekventielt. Først tilpasses flyplanerne, så de tager højde for eventuelle flyaflysninger. Derefter revideres tildelingen af fly og flyruter. Sidst rekonstrueres besætningsplanerne, så de dækker alle resterende fly med ledig besætning. Den sekventielle tilgang giver dog ikke altid mulige og produktive løsninger.

Da piloter er kvalificeret til forskellige jobs: kaptajn, 1. officer mm., kan en pilot ikke bare indsættes hvor der er mangel. Ligeledes er piloter kun kvalificeret til

at flyve bestemte flytyper. Forfatterens tilgang er derfor at modificere dagens planlagte opgaver for en given gruppe af piloter, ved samtidig at forsinke nogle fly imens flyruterne bevares.

Forfatterens mål er, at minimere forskellen mellem de nye og de planlagte afgangstider, samt det totale antal af piloter, hvis efterfølgende dag påvirkes af modificeringerne. Modellen er formuleret som en 'integer nonlinear multicommodity network flow model'. For at løse problemet, benyttes en Dantzig-Wolfe dekomposition kombineret med en branch-and-bound metode.

Løsninger med en god kvalitet opnås tilfredsstillende hurtigt. Der er dog kun testet på små konstruerede problemer og ikke på virkelige eksempler.

7.9.3 Opsamling på litteratur om samtidig genopretning af materiel og vagtplaner

I begge de beskrevne artikler opnås gode resultater ved at kombinere de to problemer og princippet i de to modeller om at den nye løsning skal ligge tæt op ad den gamle løsning, er ens. For togmodellen er det et kriterie, at omkostningen ved ændringen i mandskabsplanen minimeres, mens det i flymodellen er et kriterie, at der ændres mindst muligt i den næste dags mandskabsplaner. Inden for togtrafik er afstandene ikke de samme som i flytrafik, og det vil som regel være muligt at undgå at ændringer i mandskabsplaner den ene dag, ikke vil influere på mandskabsplaner den følgende dag. I flytrafik derimod, tales der om så lange afstande, at en pilot kan havne i et helt andet land, end det land hans følgende flyvning har udgangspunkt i. Det vil nok være svært at bruge en model opbygget til brug i flygenopretning i genopretning af togtrafikken, da der på trods af flere ligheder er mange forskellige regler og hensyn, der skal tages i betragtning. Men det er muligt for begge industrier at hente inspiration hos hinanden.

Data

I dette kapitel beskrives hvilke data der er modtaget fra DSB og efterfølgende behandlet, for at kunne bruges i modellen.

Al benyttet data er modtaget fra DSB og er originale data. Materieldata og køreplansdata er fra tirsdag d. 8. november 2005, lokoførerdato er fra tirsdag d. 6. september 2005.

8.1 Materiel

I dette projekt er DSBs materieltyper (kaldet litra) inddelt i 11 grupper, fra litra 1-12, som det fremgår af tabel 8.1. Litra 8 er ikke med i modellen, da der her er tale om andre togoperatørers materiel, der ikke er interessant for dette projekt.

Hos DSB kan flere litratyper samles til et togsæt, mens andre kun kan kobles med samme type. Hos DSB sammenkobles vogne til togsæt på følgende måde:

- Togsæt bestående af en litra 1 og en eller flere litra 2, samt et lokomotiv (litra 6 eller litra 7).

Betegnelse hos DSB	Betegnelse i modellen
ABs	Litra 1
B/Bk	Litra 2
ABns og ADns-e	Litra 3
Bn	Litra 4
Bn-o	Litra 5
ME	Litra 6
EA	Litra 7
ET	Litra 9
MR	Litra 10
MFA	Litra 11
ER	Litra 12

Tabel 8.1: Materieltyper benyttet i projektet.

- Togsæt bestående af en litra 3, et lokomotiv (litra 6 eller 7) og 1-5 vogne af litra 4 og litra 5.
- Togsæt bestående af litra 9 kan kun sammenkobles med samme type.
- Togsæt bestående af litra 10 kan ligeledes kun sammenkobles med samme type.
- Litra 11 og 12 kan kobles sammen.

Ligesom materiel er inddelt i materieltyper (litra), er togsæt inddelt i togekategorier. De togekategorier, der benyttes i projektet kan ses i tabel 8.2. DSB har 12 forskellige togekategorier. Da flere af disse kategorier ikke er relevante for projektet, er disse ikke med i modellen, og derfor 'mangler' nogle togekategorier i tabellen.

Betegnelse hos DSB	Betegnelse i modellen
Eurocity	1
InterCity	3
Lyn	5
Materiel	6
Øresund	7
Regional Øst	9
Regional Vest	11

Tabel 8.2: Toglekategorier benyttet i projektet.

8.2 Køreplan

Der er modtaget køreplaner for alle DSBs tog på følgende form, se tabel 8.3.

Tognummer	Togkategori	Station	Ankomst tid	Afgangs tid
2	L	RG	24120	24120
2	L	KY	24330	24330
2	L	BO	24510	24510

Tabel 8.3: Uddrag af rå køreplansdata modtaget fra DSBs Trafikopfølgningssystem. Tiderne er angivet i sekunder efter kl. 00.00

De rå data er behandlet, så de kan indlæses i Arena. Da Arena ikke kan indlæse tekst, skal alle stationsnavne laves om til tal, se bilag A. Ved indlæsning af køreplaner er alle togafgange repræsenteret ved fire søjler, som det ses i tabel 8.4, og lige så mange rækker som der er stationer på togets rute. Ruternes længde varierer fra 3-23 stationer, og den samlede køreplan, der indlæses, er derfor givet ved en matrix med 23 rækker og 3272 søjler, da $(4 \cdot 818 = 3272)$.

Tognummer	Station	Ankomst tid	Afgangs tid
2	32	24120	24120
2	31	24330	24330
2	30	24510	24510

Tabel 8.4: Uddrag af indlæst køreplansdata.

I tabel 8.4 ses et udsnit af køreplanen for afgang med tognummer 2. Toget passerer blandt andet stationerne 32-31-30. Ankomsttiden og afgangstiden er ens, da toget ikke standser ved disse tre stationer.

8.3 Materieldata

Opranger.-nøgle	OMPLS litra	Tog-kat	Tog nr.	Opr fra	Opr til	Afg	Ank	Antal
1460893	MFA	L	2	AR	KGV	15900	16050	1
1460894	ER	L	2	OD	NG	21600	22380	1
1460895	ER	L	2	CPH	KAC	27660	27900	1
1460895	MFA	L	2	CPH	KAC	27660	27900	1

Tabel 8.5: Eksempel på materieldata for tognummer 2.

Oprangeringsnøgle	OMPLS litra	Opr-station	Op/Ned	Tog-kat	Videre	Tog nr.	Antal
1460893	MFA	AR	+	IC	0	153	1
1460894	ER	OD	+	IC	0	861	1
1460895	ER	KAC	-	IC	0	145	1
1460895	MFA	KAC	-	IC	0	153	1

Tabel 8.6: Eksempel på materielbindinger for vogne på tognummer 2.

Tabel 8.5 og tabel 8.6 er uddrag af de materielplaner der er modtaget fra DSB. Ved at sammenholde de to tabeller opnås den fulde information om hver togvogns planlagte omløb (materiellets kørsel i løbet af dagen). Af tabellerne ses, at vognen 'MFA' fra AR (Århus) kl. 15900 (4:25) udgør afgangene med tognummer 2 (Lyntog). Før denne opgave var vognen på afgangene med tognummer 153 (InterCity), hvilket ses ud fra den samme oprangeringsnøgle (1460893) i tabel 8.6. I OD (Odense) kobles vognen 'ER' på afgangene med tognummer 2. Denne vogn har tidligere kørt afgangene med tognummer 861. Ved ankomst til KAC (Kastrup Klargøringscenter) kl. 27900 (7:45), afkobles vognene. MFAs næste opgave er tognummer 153 og ERs næste opgave er tognummer 145.

Disse materielplaner og materielbindingsplaner er så bearbejdet til en sammenhængende bindingsplan (se tabel 8.7) for hver materieltype (litra), der så indlæses i Arena.

Startstation	Tid	Tognummer	Videre
41	300	191	1
	11700	691	0
	24900	612	0
	29520	617	0
	35760	429	1
	46920	136	2
	66840	169	

Tabel 8.7: Uddrag af bindingsplan for vogn med litra 11 (ER).

8.4 Lokoførerdata

Lokoførerturplanerne er modtaget fra DSB, og et udsnit af planen er vist i tabel 8.8.

Aktuelt turnr	Elementkode	Mødetid	Afgangstation	Tog nr.	Ankomststation	Sluttid
420,7	Opp	35340	OD	116	OD	35340
420,7	Tff	35340	OD	116	KH	40680
420,7	Ned	40680	KH	116	KH	40680
420,7	Bev	40680	KH	116	KH	40920
420,7	Pau	40920	KH	0	KH	42720
420,7	Oph	42720	KH	0	KH	49740

Tabel 8.8: Uddrag af en lokoførers turplan modtaget fra DSB.

Ud fra de rå data er loføreropgaverne ('Elementkode') opdelt i fire overordnede grupper (pause, passiv fremføring, fremføring af tog og diverse opgaver), hvilket uddybes i afsnit 9.2.9.1. Kolonnen 'Aktuelt turnnummer' er omsat til lokoførernumrene 1-585, da det er det antal, der er behov for at varetage alle opgaverne. Tognummeret 0 betyder at arbejdsopgaven ikke har noget med en afgang at gøre, men at der i stedet er tale om en pause ('Pau'). Data for hver af de fire grupper er inddelt i filen 'lokofører bindinger.xls'.

8.5 Togdata

Ud fra materieldata og lokoførerdato er der udarbejdet en fil, der for hvert tognummer angiver hvilken af de 11 litragrupper materiellet tilhører, hvilken togkategori toget tilhører, hvilke lokoførere der er tilknyttet toget samt lokoførernes sluttider, se tabel 8.9.

Tognr	Litra	Kategori	Loko1	Slut1	Loko2	Slut2	Loko3	Slut3
2	11	5	293	19500	512	26220	29	27900
6	11	5	349	31680	0	0	0	0
10	11	5	379	23100	298	33720	0	0
11	11	5	449	27900	299	32640	376	33120

Tabel 8.9: Uddrag af liste med sammenhæng mellem tognummer, litra, togtkategori og lokoførere.

8.6 Tognumre

Tognumre for de togtkategorier der bruges i modellen:

Togkategori	Tognummer
1 (International)	30-39, 230-231, 233, 370-371, 386-387, 482-483, 1400-1442 og 1500-1599.
3 (InterCity)	100-199, 400-479, 600-999, 1443-1499 og 2300-2399.
5 (Lyn)	2-29, 40-99 og 600-799.
7 (Øresund)	1000-1199 og 2000-2179.
9 og 11 (Regional)	1200-1399, 2200-2299, 2400-2899, 3000-3299, 3400-3499, 3600-3799, 4000-4599 og 4900-4999.

Tabel 8.10: Tognumre for de togekategorier der indlæses i modellen.

På Kystbanestrækningen kører tognnumrene:

- Øresundstog: 1000-1199 og 2000-2179.
- Regionaltog: 1300-1399 og 3000-3099 (myldretidstog).

8.6.1 Øresundstog og internationale tog

Det har ikke været muligt at modtage data om Øresundstog mens disse er i Sverige. Vi kender derfor kun til Øresundstogenes planlagte ankomst til Kastrup, samt den resterende tur mod Helsingør.

Øresundstog mellem Helsingør og Sverige bliver planmæssigt kørt med litratypen ET (litra 9) med enkelte undtagelser. Det kan derfor betegnes som et lukket omløb, da ET-materiellet ikke bliver brugt til kørsel andre steder. Som tommelfingerregel kører et Øresundstog fra København H. mod Helsingør med tognnummer 20xx, og tilbage igen med et tognnummer 20xx, der er 11 højere end det foregående (xx henviser til tal fra 00 til 99). Mellem København H. og Sverige har Øresundstogene numrene 10xx.

Øresundstogene med retning mod Sverige skifter tognnummer på København H., fra 20xx til 10xx, og Øresundstog mod Helsingør skifter tognnummer på København H. fra 10xx til 20xx. Det gælder ligeledes for tognnumrene 21xx og 11xx.

Det har ikke været muligt at modtage data om internationale togs afgang uden

for Danmarks grænser. Det antages derfor, at tog fra Tyskland ankommer som planlagt til Padborg og Rødby, og fortsætter efter køreplanen.

8.7 Forsinkelsesfordelinger

Der er modtaget data om forsinkede ankomster for InterCity-, Lyn- og Øresundstog, baseret på målte forsinkelser hos DSB. Forsinkelserne er målt på en 'normal' dag hos DSB, dvs. en dag uden større forstyrrelser. Forsinkelserne tildeles når tog træder ind i simuleringsmodellen, dvs. når InterCity- og Lyntog ankommer til Korsør og ligeledes når Øresundstog ankommer til Kastrup.

Der er 67 Intercitytog og 23 Lyntog, der i løbet af simuleringen ankommer til Korsør fra Jylland, og 61 Øresundstog, der ankommer til Kastrup fra Sverige.

Data om forsinkelser behandles vha. Arena programmet 'Input Analyzer', der tilnærmer de empiriske data til statistiske fordelinger. Input Analyzer finder den fordeling, der bedst repræsenterer data.

8.7.1 Øresundstog

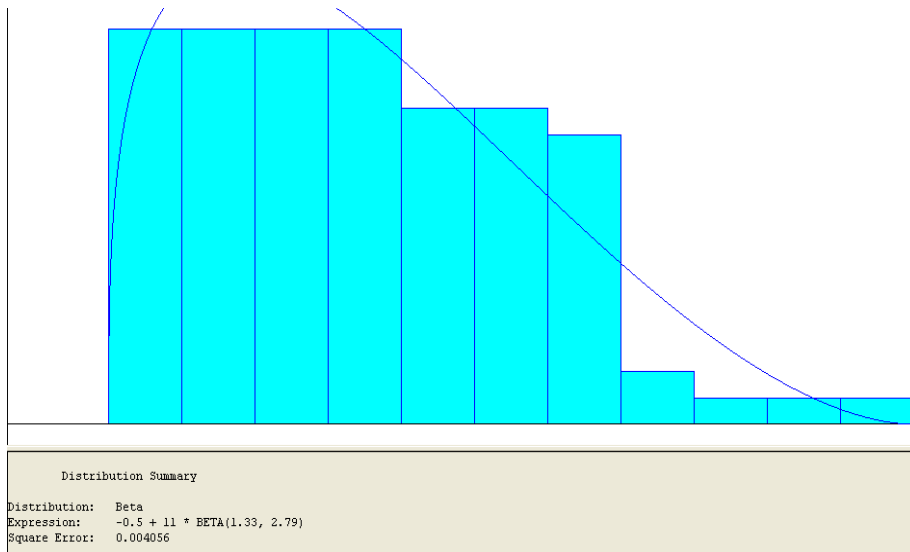
De 61 Øresundstog tildeles ved ankomst til Kastrup station en forsinkelse, baseret på forsinkelsesdataen. Forsinkelserne ligger i intervallet 0 – 10 min.

Input Analyzer giver følgende forsinkelsesfordeling for Øresundstog fra Sverige mod Danmark: $(-0.5 + 11 \cdot \text{BETA}(1.33, 2.79))$ min., som kan ses på figur 8.1. Det ses på figuren, der har minutter ud ad x-aksen, og antallet af forekomster op ad y-aksen, at der er mange små forsinkelser, og få store forsinkelser.

8.7.2 Tog fra Jylland og Fyn

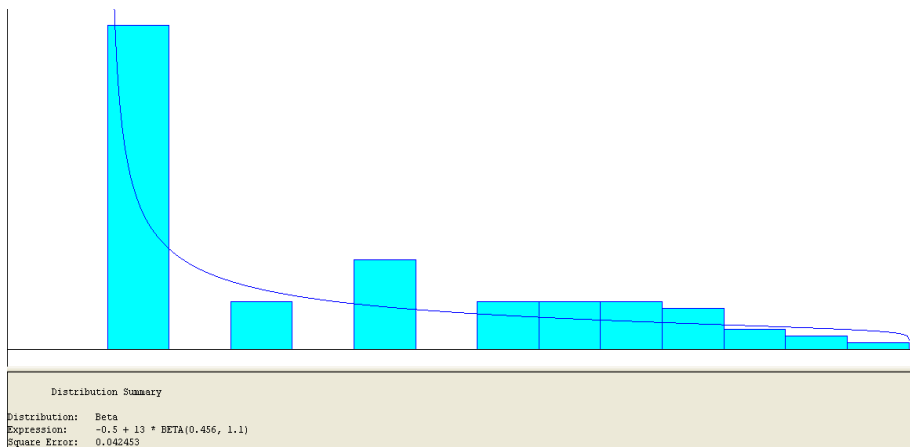
Alle InterCitytog og Lyntog fra Jylland og Fyn tildeles ved ankomst til Korsør station en forsinkelse. Forsinkelsernes størrelse er forskellig for de to togekategorier, og de tildeles derfor hver deres forsinkelsesfordeling, igen ved benyttelse af Input Analyzer.

De 23 Lyntog tildeles forsinkelser i intervallet 0 – 12 min. Input Analyzer giver følgende forsinkelsesfordeling for Lyntog: $(-0.5 + 13 \cdot \text{BETA}(0.456, 1.1))$ min.,



Figur 8.1: Fordelingen over forsinkelser for Øresundstog fra Sverige mod Danmark, tilnærmet ved benyttelse af Arena programmet Input Analyzer.

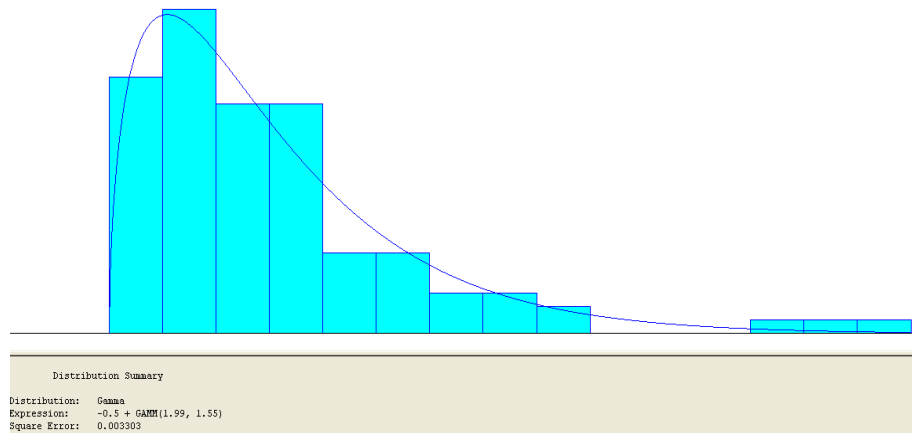
som ses på figur 8.2.



Figur 8.2: Fordelingen over forsinkelser for Lyntog mod København, tilnærmet ved benyttelse af Arena programmet Input Analyzer.

De 67 Intercitytog tildeles forsinkelser i intervallet 0-14 min. Input Analyzer

giver følgende forsinkelsesfordeling for Intercitytog: $(-0.5 + \text{GAMM}(1.99, 1.55))$ min.



Figur 8.3: Fordelingen over forsinkelser for InterCitytog mod København, tilnærmet ved benyttelse af Arena programmet Input Analyzer.

To af de fordelinger Input Analyzer anbefaler som den bedste fordeling, er beta fordelingen. Denne fordeling er ifølge Hofman og Madsen [13] også den intuitivt mest oplagte fordeling, da den netop giver en masse små forsinkelser og færre store forsinkelser. Forfatterne [13] refererer ligeledes til artiklen *Test schedule performance and reliability for trains stations* af Carey and Carville, hvor det anbefales at benytte beta fordelingen til at repræsentere forsinkelser.

Model

Dette kapitel omhandler en beskrivelse af modellens opbygning, hvordan genopretningsmetoderne er implementeret og hvordan der tildeles forsinkelser. Kapitellet afsluttes med at validere og verificere modellen.

Ved opbygning af simuleringsmodellen, er det valgt at opdele modellen i mindre dele, kaldet *moduler*, for at øge overskueligheden. Disse moduler er alle opbygget af Arena elementer.

Den opstillede simuleringsmodel er en generisk model, da alle stationer i netværket er repræsenteret ved den samme station. Dette er valgt, da stationerne grundlæggende er ens, og modellen derved simplificeres.

9.1 Arena

Modellen simuleres som beskrevet i kapitel 4 i simuleringsprogrammet Arena. Arena er et simuleringsprogram, der har mange anvendelsesmuligheder og fungerer godt sammen med Microsoft produkter, som eksempelvis Excel og Access.

9.1.1 Entiteter

I simuleringsmodeller er der flere typer af objekter, der kan operere i systemet. I Arena repræsenteres de '*virkelige hændelser*' ved dynamiske objekter kaldet *entiteter* (engelsk: *entities*), der kan bevæge sig rundt i systemet. Entiteterne har individuelle numre, og kan kobles sammen med andre entiteter til en ny entitet med et nyt entitetsnummer, og kan ligeledes splittes og opnå de originale entitetsnumre igen.

I simuleringsmodellen er entiteterne bl.a. repræsentanter for alle beskeder om togafgange, der sendes, og for alle togvogne. En besked om en togafgang parres på startstationen med de togvogne der skal køre turen og togvognentiteterne kobles herefter sammen til en samlet togentitet. Dette tog kan således køre ud på ruten, med alle nødvendige oplysninger om afgangstider, standsningsmønstre mm.

I modellen er entiteter ligeledes repræsentanter for lokoførernes arbejdsopgaver, som beskrives i afsnit [9.2.9.1](#).

9.1.2 Transportere

En *Transporter* (engelsk: *transporter*) er det objekt, der kan transportere entiteter rundt i systemet, og har tre aktivitetsniveauer: optaget, ledig og inaktiv. Transporteren skal have en hastighed og kende distancen fra sit startsted til sit slutsted.

Entiteter og transportere bevæger sig forskelligt rundt i netværket, da der er flere krav til transporterne, så som hastighed og kendskab til distancer, der skal være opfyldt. Det er derfor vigtigt, at modellen opbygges så både entiteter og transportere kan benytte netværket.

I modellen er lokoførere repræsenteret som transportere. Vi repræsenterer jernbanens infrastruktur ved et netværk, der kun er beregnet til transportere. Det betyder, at der skal være en transporter tilknyttet hver togentitet, for at togentiteten kan bevæge sig i netværket fra station til station. Der skal altså være en lokofører før et tog kan afgang. En transporter kan derimod godt fragtes rundt i systemet uden at være tilknyttet en entitet, altså såkaldt 'tomkørsel' (engelsk: *deadheading*). Dette benyttes bl.a. til at illustrere, når en lokofører fragtes passivt med taxi, bus eller lign., som beskrives i afsnit [9.2.9.3](#).

9.1.3 Attributter

For at individualisere hver entitet, kan man tilknytte en *attribut* (engelsk: *attribute*). En attribut er en fælles karakteristik for alle entiteter, men med forskellig værdi, for på den måde at differentiere entiteterne fra hinanden. En attribut kan være i form af en talværdi eller i form af en animeret figur, for at markere en visuel forskel. En attribut er et mærkat *knyttet til* entiteten.

Alle attributter i modellen er navngivet 'AttNN', hvor NN refererer til en beskrivelse af attributten. Dette giver et overblik over, hvad attributten repræsenterer, og adskiller attributter og variable fra hinanden. I modellen har alle togetiteter f.eks. attributten 'AttTogNr', der henviser til en togafgangs unikke tognummer, for på den måde at adskille tog fra hinanden.

I den videre beskrivelse af modellen, vil følgende tabel benyttes til at beskrive de attributter, der tildeles i de moduler, der gennemgås:

Attribut	Beskrivelse
AttTogNr	Beskriver det unikke tognummer som hver togafgang har.

Tabel 9.1: Tabel over attributter.

9.1.4 Variable

I Arena er variable defineret som *globale* variable. I modsætning til attributter er variable *ikke* tilknyttet hver enkelt entitet, men hører i stedet til systemet som helhed. Variable er tilgængelige for alle entiteter, og mange variable ændres af netop entiteter. Variable er navngivet 'VarNN', hvor NN refererer til en beskrivelse af variabelen. I modellen benyttes variable ofte til at gemme værdierne når der indlæses, for derefter at tildeles værdierne til entiteter i form af attributter. F.eks. indlæses variabelen 'VarTogNr', der fortæller værdien af en specifikt afgang's tognummer i Arena elementet 'Indlaes oplysninger'. Toget tildeles så attributten 'AttTogNr' der sættes lig med 'VarTogNr' i Arena elementet 'Tildel attributter', således at toget har sit unikke tognummer, se figur 9.1. Variabelen 'VarTogNr' overskrives næste gang et nyt tognummer indlæses. Variable benyttes desuden i modellen til at gemme oplysninger f.eks. når vogne til- og frakobles, så værdierne kan tildeles igen efter til- eller frakoblingen har fundet sted. Disse oplysninger bevares ikke ellers.

Variable beskrives ikke nærmere når modulerne gennemgås, da mange variable som beskrevet ovenfor, kun bruges til at indlæse eller gemme værdier. En over-



Figur 9.1: De tre Arena elementer; 'Generer', 'Indlæs' og 'Tildel'. Entiteter genereres i 'Generer', oplysninger om toget indlæses i 'Indlæs' som variable, der efterfølgende tildeles toget i 'Tildel'.

sigt over de væsentligste variable kan findes i bilag B.

9.1.5 Stationer

Som beskrevet tidligere er modellen en generisk model, hvor alle stationer er repræsenteret ved den samme station pga. ligheder stationerne imellem. Hver station bliver dog individuelt repræsenteret som en *ressource* (engelsk: *resource*), der adskiller de enkelte stationer fra hinanden, ved at have forskellige antal perroner, togfølgetid og lign. Se bilag D og E for data.

Arena kan ikke indlæse tekst, og stationerne er derfor repræsenteret ved et tal, hvor eksempelvis København H. er repræsenteret som station 1, som det fremgår af tabel 9.2, der viser stationerne på Kystbanestrækningen. Alle stationer i modellen med tilhørende numre, kan ses i bilag A. I modellen er hver station modelleret som en ressource, da dette giver mulighed for at køre toget til stationen, tilbageholde toget indtil afgangstiden, og så efterfølgende sende toget af sted til næste station.

Foran hver station er der modelleret en kø til de tog, der venter på at komme ind på stationen. Køen er en først-ind-først-ud (FIFO) kø. Er køen tom, når et tog ankommer til en station, kommer toget ikke i kø, men kører straks ind på perronen. Er perronen optaget, kommer toget i kø foran stationen, da der i modellen kun må være et tog på hver perron.

9.1.6 Animation

Animationen på figur 9.2 og 9.3 viser DSBs sjællandske jernbanenetværk med de fleste stationer, inspireret af figur 3.1. De grønne linier angiver hvor der kører

Stationsnr. i Arena	Station
1	København H.
2	Nørreport
3	Østerport
4	Helgoland
5	Hellerup
6	Klampenborg
7	Skodsborg
8	Vedbæk
9	Rungsted Kyst
10	Kokkedal
11	Nivå
12	Humblebæk
13	Espergærde
14	Snekkersten
15	Helsingør

Tabel 9.2: Tabel over stationer på Kystbanen i modellen.

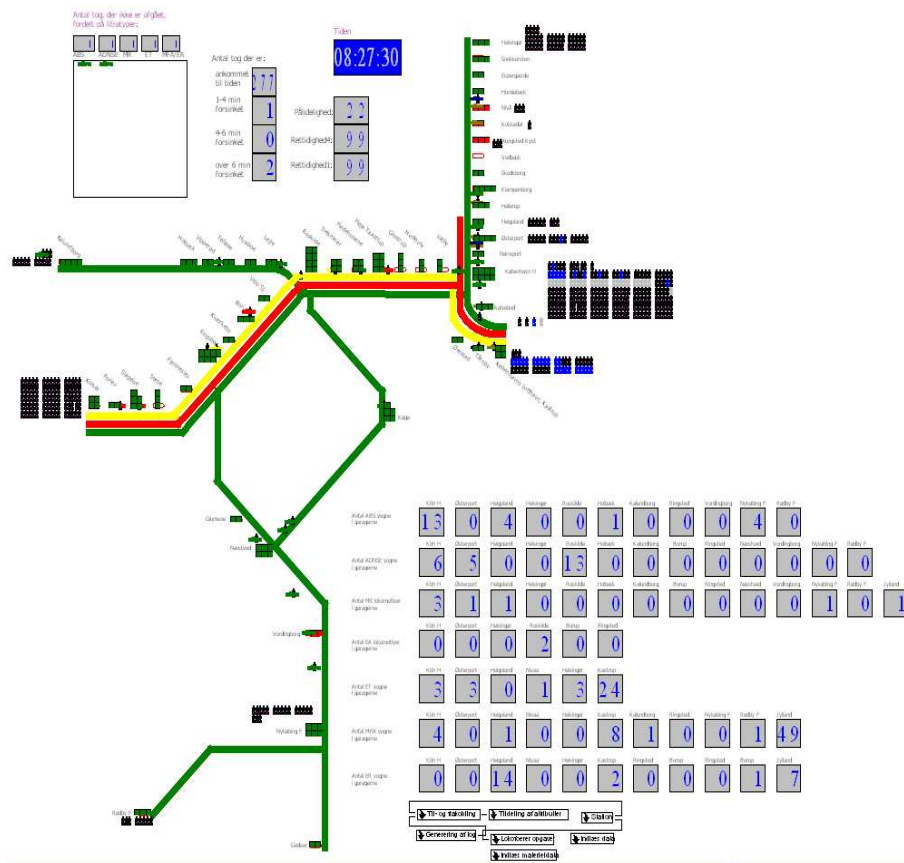
Øresunds- og regionaltog, den røde linie angiver hvor der kører InterCitytog, og den gule hvor der kører Lyntog. Antallet af perroner er vist ved at animere en kasse for hver perron, der er tilgængelig for disse tog. Eventuelle perroner til andre tog (f.eks. S-tog) er ikke medtaget. Stationen er grøn når alle perroner er ledige, ligeledes rød når blot en enkelt perron er optaget. Det er muligt til enhver tid at få oplysninger om hver enkelt station, som f.eks. antallet af ledige og optagede perroner ved at klikke på den ønskede station. Hver lokofører, der er tilgængelig i modellen er animeret som en lille mand⁷.

Øverst til venstre i billedet, se figur 9.2, er en boks, hvor en togfigur kommer til syne, i tilfælde af, at et tog ikke er afgået efter planen. Ligeledes er det synligt på animationen, hvor mange tog, der er rettidige og forsinkede, hvad rettidighedsprocenten er for de to valgte rettidighedsintervaller og hvad pålidelighedsprocenten er. Desuden er der et synligt ur, der viser tiden i formatet tt:mm:ss.

Nederst til højre i billedet, vises hvor mange vogne af hver materieltype, der er i hver garage (depot).

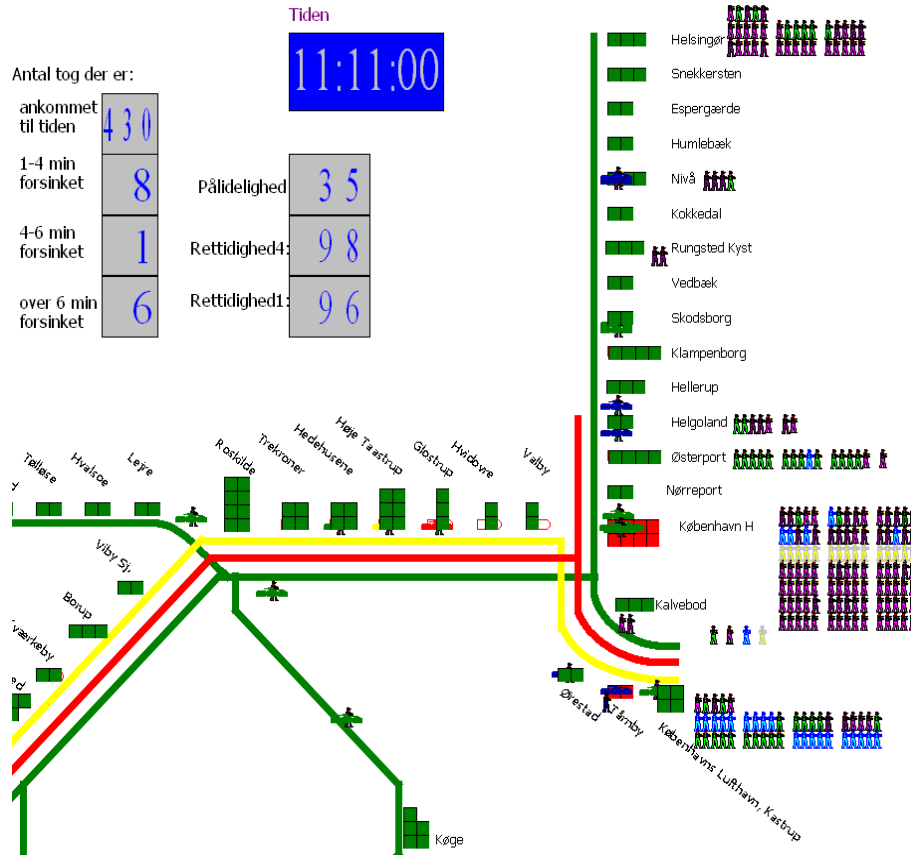
Under kørslen er det muligt, ved at klikke på et tog i animationen, at få detaljerede oplysninger om følgende:

- Tognummer



Figur 9.2: Animation over det sjællandske jernbanenetværk simuleret i Arena.

- Hvilke lokoførere, der skal betjene toget i løbet af dagen og hvornår disse skal slutte deres tur.
- Afgangstid fra startstation.
- Om toget er til tiden, rettidigt, eller ikke-rettidigt.
- Antal kørte km. indtil nu.
- Litra og togkategori.
- Start-, seneste- og næste station.
- Hvilke tognumre hver vogn i toget skal blive til efter endt tur.



Figur 9.3: Animation over Kystbanestrækningen.

- Antal vogne, der er på toget.
- Hastigheden, der køres med.

I animationen har tog farve efter hvilken togkategori det tilhører, se tabel 9.3. Tog, der er aflyst fra start med genopretningsmetode 7, får farven 'petrol' (blå-grøn) på animationen, tog, der er genoprettet efter spærring af station med genopretningsmetode 3, får farven 'olivengrøn' og reservestammer, der indsættes på København H. med genopretningsmetode 2, får farven 'grå' på aminationen.

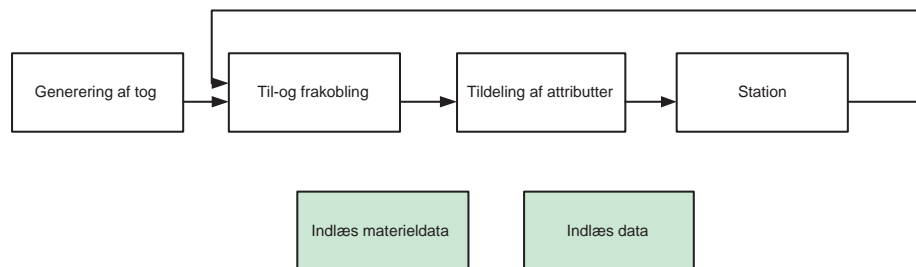
Togkategori i modellen	Togkategori hos DSB	Farve
1	EuroCity	Rød og gul
3	InterCity	Rød
5	Lyn	Gul
6	Materiel	Turkis
7	Øresundstog	Blå
9 og 11	Regional	Grøn

Tabel 9.3: Togfarver på animationen fordelt på togekategorier

9.2 Beskrivelse af modellen

Der simuleres kun DSBs sjællandske jernbanenetværk. Det er på Sjælland, specielt i Københavnsområdet, at der opstår store problemer, når en forstyrrelse indtræder, da frekvensen af tog her er meget høj. De fleste tog kører til København H., og det er således interessant at se om forsinkelser opstået i Jylland eller Sverige har indflydelse på trafikken på Kystbanestrækningen.

Modellen er inddelt i seks større hovedmoduler, se figur 9.4, der alle beskrives nærmere i de efterfølgende afsnit. Der indlæses data i de separate moduler 'In-



Figur 9.4: De seks hovedmoduler, modellen er inddelt i.

dlæs data' og 'Indlæs materieldata' inden selve simuleringen finder sted. En nærmere beskrivelse af data, der indlæses, er gennemgået i kapitel 8.

9.2.1 Indlæs data

I dette modul indlæses alle køreplaner fra filen 'koereplan.xls'. Oplysningerne fra filen skrives ind i variabelen 'VarSekvens'. For hver togafgang indlæses der fire søjler i VarSekvens, som beskrevet i afsnit 8.2. Der er i alt 818 afgang i

køreplanen, i løbet af simuleringens 24 timer. Se et uddrag af VarSekvens i tabel 9.4.

Tognr	Station	Ank.	Afg.	Tognr	Station	Ank.	Afg.
1307	41	17580	17760	1346	11	40470	40500
1307	40	17970	18000	1346	10	40680	40710
1307	39	18120	18150	1346	9	40890	40920
1307	38	18240	18240	1346	8	41100	41130

Tabel 9.4: Uddrag af VarSekvens, der viser to afgangse hhv. med tognnumrene 1307 og 1346.

9.2.2 Indlæs materieldata

Bindingsplanerne, som er inddelt efter litratype, indlæses i dette modul i syv variable, inddelt efter hvilke typer, der kan kobles sammen. Se denne sammenhæng i tabel 9.5.

Variabel	Litra
VarMaterielplan1	1 og 2
VarMaterielplan3	3, 4 og 5
VarMaterielplan6	6
VarMaterielplan7	7
VarMaterielplan9	9
VarMaterielplan10	10
VarMaterielplan11	11 og 12

Tabel 9.5: Tabel over hvilke litra, der er i de syv materielplaner.

Hver VarMaterielplanX indeholder en række for hver vogn med den specifikke litratype X, se tabel 9.6. I hver række står først den startstation, hvor vognen befinder sig når selve simuleringen går i gang. Dernæst står det første tognnummer vognen skal køre og i tredje søjle står en værdi 'SkiftTognr'. SkiftTognr er 1 hvis vognen skifter tognnummer undervejs på en tur. Hvis SkiftTognr er 2, skal vognen, hvis den kører i Jylland eller på Fyn, fortsætte til Sjælland, ellers ikke. Hvis værdien er 0, skiftes ikke tognnummer. I de følgende søjler, står de øvrige tognnumre vognen skal køre i løbet af dagen sammen med de øvrige værdier af 'SkiftTognr'.

Startstation	Tognr	SkiftTognr	Tognr	SkiftTognr	Tognr	SkiftTognr
41	1009	1	2009	0	2020	1

Tabel 9.6: Uddrag af VarMaterielplan9.

9.2.3 Generering af tog

I dette modul genereres 818 beskeder om de togafgange, der skal afgå i løbet af det døgn simuleringen finder sted. Når en besked genereres, indlæses oplysninger fra VarSekvens (køreplanen), som er beskrevet i afsnit 9.2.1. De oplysninger, der indlæses gemmes som attributter, og kan ses i de første fire rækker i tabel 9.7. Derefter benyttes tognnummeret til at søge i filen 'liste med litra, kat. og lokof.xls' efter, litranummer, togkategori og de lokoførere, der skal betjene afgang, se de sidste tre rækker i tabel 9.7. Når alle oplysninger om en togafgang er fundet og tildelt, sendes toget videre til modulet 'Til- og frakobling'.

Attribut	Beskrivelse
AttRute	Angiver hvilken søjle i VarSekvens der indlæses fra. Sættes lig med VarRute, der herefter optælles med fire, da hver afgang indeholder fire søjler i VarSekvens.
AttStartstation	Er togets startstation. Denne sættes lig VarSekvens(1, VarRute), hvor 1 henviser til den første station på togets rute.
AttTogNr	Beskriver det unikke tognnummer som hver togafgang har. Værdien tildeles ligeledes ud fra VarSekvens, VarSekvens(1,VarRute-1)
AttAfgang	Tidspunktet for togets første afgang, sættes til VarSekvens(1,VarRute + 2)
AttLitra	Det litranummer som hvert tog tildeles. Litranumre er nærmere beskrevet i afsnit 3.5.
AttLoko1	Togets første lokofører. Har toget flere lokoførere i løbet af turen vil der også tildeles AttLoko2-AttLoko5. Der er maksimalt 5 lokoførere på det samme tog i løbet af en tur. Er der ingen lokoførere tilknyttet toget, sættes AttLoko1-AttLoko5 lig med 0.
AttSlutLoko1	Sluttidspunktet for togets første lokofører. Der skal senest til dette tidspunkt skiftes lokofører. Der gælder det samme for AttSlutLoko2-AttSlutLoko5.

Tabel 9.7: Tabel over attributter der tildeles hvert tog i 'Generering af tog' modulet.

Udover de 818 beskeder, genereres der desuden hver enkelt togvogn, der skal bruges til at danne disse tog. Togvognene tildeles vogn-specifikke attributter, se tabel 9.8, hvorefter togvognene sendes til deres startstations materieldepot, i modellen kaldet garage.

Attribut	Beskrivelse
AttNyvogn	Vognens rækkenummer i VarMaterielplanX
AttTurnr	Den tur vognen kører. Første opgave for vognen er turnr 1. AttTurnr · 2 er søjlenummer i VarMaterielplanX
AttStartStation	Vognens startstation, der indlæses fra VarMaterielplanX(AttNyvogn,1)
AttTogNr	Det tognummer vognen har som første opgave. Indlæses fra VarMaterielplanX(AttNyvogn,2)
AttSkiftTognr	Angiver om et tog skal skifte tognummer på København H. Er denne lig med 1, skal der skiftes tognummer, ellers ikke. Indlæses fra VarMaterielplanX(AttNyvogn,3)
AttNaesteTognr	Tognummeret på togets næste afgang, der indlæses fra VarMaterielplanX(AttNyvogn,(AttTurnr · 2)+2)

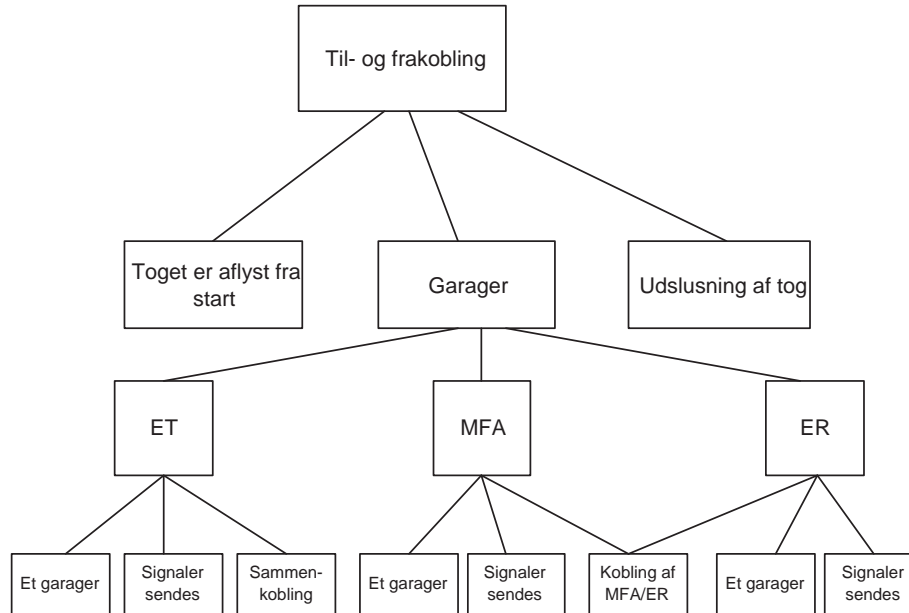
Tabel 9.8: Tabel over attributter der tildeles hver togvogn i 'Generering af tog' modulet. X henviser til litragruppen, og går fra 1-11, da litra 12 er inkluderet i Materielplan11.

9.2.4 Til- og frakobling

Dette modul indeholder moduler over hvert enkelt materieldepot, kaldet garager. I disse garager sammenkobles vogne til tog inden togets afgang. Der er to indgange til dette modul, som det ses på figur 9.4; en fra modulet 'Generering af tog' og en fra modulet 'Station'. Fra 'Generering af tog' modulet sendes togvogne direkte til det generelle garagemodul, 'Garager', hvor de fordeles ud på deres respektive garager, sorteret efter materieltype (litranumre). På figur 9.5 er vist et udsnit af de garager, der er modelleret i modulet 'Garager'.

Der findes otte forskellige garager, se tabel 9.9. I hver af de otte garagemoduler sendes togvognene til den garage der repræsenterer den station, hvor vognene skal starte deres første tur.

De beskeder om togafgang, der er sendt fra 'Generering af tog' forsinkes indtil tiden for ankomst til den første perron. Til det tidspunkt hvor toget skal samles og køre til perron, bliver der sendt en besked i systemet om at vognene skal afgå fra garagerne.



Figur 9.5: 'Til- og frakobling' modulet opdelt i flere moduler. Der er kun vist et udsnit af de garager, der er modelleret i 'Garager' modulet. I modellen er der otte garager i 'Garager' modulet.

Garage	Litranumre i garagen
ABS/B	1 og 2
ADNSE/BN/BNO	3, 4 og 5
ME	6
EA	7
ET	9
MR	10
MFA	11
ER	12

Tabel 9.9: Garager i modellen.

For litra 11 og 12, der blandt andet kører InterCitykørsel i Jylland gælder, at hvis vognene sammenkobles i Jylland, deles det igen umiddelbart efter sammenkoblingen, og der sendes en besked til systemet om, at toget skal samles igen ved planlagt ankomsttid til Korsør, som er indgang til og fra Jylland og Fyn i modellen. Dette er for at kunne registrere hvis der er uregelmæssigheder ved en togafgang i Jylland.

For litra 9, 11 og 12 undersøges efter sammenkobling, om toget skal aflyses fra start. Hvis dette er tilfældet sendes toget til modulet 'Toget er afløst fra start', hvor det splittes, og vognene sendes tilbage i deres garage efter at være blevet opdateret to gange, således at det tognnummer vognene nu har, svarer til næste afgang vognene har fra samme station. Eksempel: Afgang med tognnummer 2060 fra Helsingør til Malmø aflyses fra start. Vognene 25 og 28 skulle have kørt denne tur, derefter afgang retur med tognnummer 2071, og så afgang igen fra Helsingør med tognnummer 2082. Vognene opdateres således, at 2060 og 2071 overskrives, så 2082 nu er det tognnummer, vognene skal køre næste gang. De aflyste afgange, skrives til skærmen med et togsymbol i listen i animationen, som en advarsel.

Den anden indgang til 'Til- og frakobling' modulet, kommer fra 'Station' modulet. Fra en endestation sendes toget ind i modulet 'Til- og frakobling'. Først frigøres lokoføreren, dernæst frakobles vognene og de opdateres således, at deres tognnummer bliver lig med tognnummeret for vognenes næste tur. Hvis der er afløsnings sørges der for, at vognene ikke får et tognnummer, som er blevet afløst. Fra 'Til- og frakobling' sendes vognene i garage, enten direkte, eller efter opdatering i tilfælde af afløsnings.

9.2.5 Tildeling af attributter

Når togvogne er koblet sammen i 'Til- og frakobling' modulet, ankommer de herefter til modulet 'Tildeling af attributter'.

De første fem vogne i et tog gennemgås, og hver vogn tildeles tognnummeret på det tog, som vognen skal indgå i, i næste tur. Vognene i et tog kan således have forskellige tognnumre for næste tur, da togvognene ikke nødvendigvis skal bruges i det samme tog i næste tur. Gennemgangen giver viden om hvert togs næste tur eller ture. Hvis et tog er forsinket, er det interessant, hvilke tog de enkelte vogne indgår i, i næste tur. I det tilfælde, er der brug for at vide hvilke senere afgange, forsinkelsen evt. får betydning for. Der undersøges kun for togets første fem vogne, da der er få tog, der har flere, og da det viser princippet i modelleringen.

Efter denne gennemgang af hver enkelt togvogn tildeles attributterne, der ses i tabel 9.10. Tog inddeles herefter i: tog fra Jylland og Fyn, tog fra Sverige og alle andre tog, for at der kan påtrykkes forsinkelser, hvis dette vælges, hvilket beskrives nærmere i afsnit 9.3. Alle andre tog inddeles endvidere efter togtkategori. Efter inddelingen tildeles hvert tog en attribut, indeholdende en farve på animationen, der gør det muligt at skelne mellem de forskellige togtkategorier. Toget sendes herefter til 'Station' modulet for at starte sin tur.

Attribut	Beskrivelse
AttNaesteTogVogn1	Giver den efterfølgende afgangs tognummer for vogn1 i toget. Gælder ligeledes for AttNaesteTogVogn2-AttNaesteTogVogn5.
AttSted	Beskriver hvor på ruten toget befinder sig. Sættes derfor lig med 1 her, da toget er på vej mod den første station på ruten.
AttNaesteStation	Her findes den næste station på togets rute.
Entity Picture	Hver togkategori tildeles en specifik farve på animationen, 'Picture.Train1' - 'Picture.Train11', da der er 11 forskellige kategorier.

Tabel 9.10: Tabel over attributter i modulet 'Tildeling af attributter'.

9.2.5.1 Jylland

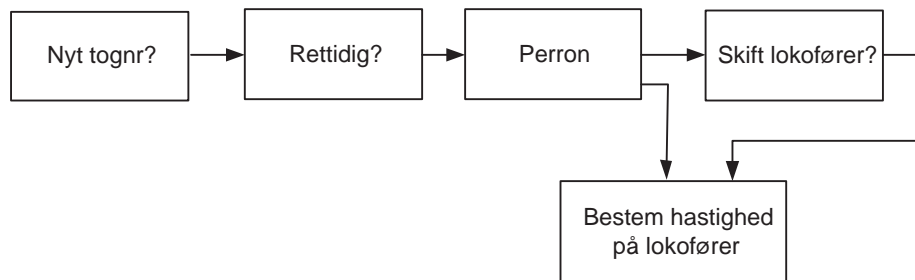
For at håndtere de tog, der kører i Jylland eller på Fyn, har vi modelleret den fiktive generiske station 'Jylland', der repræsenterer alle jyske og fynske stationer. Tog, der afgår fra Jylland eller Fyn, kommer først ind i simuleringsmodellen ved ankomst til Korsør.

Ligeledes sendes alle tog med afgang fra Korsør mod Jylland eller Fyn til Jyllandsstationen. Grunden til dette, er at vi ønsker at have oplysninger om alle tog hele tiden, i tilfælde af, at en forstyrrelse opstår.

9.2.6 Station

Når et tog har gennemgået de indledende moduler, sendes det til den første station i køreplanen i 'Station' modulet. Hvis denne station er en jysk station, sendes toget til station Jylland, som netop beskrevet, ellers sendes toget til stationen 'Generel'. Da denne station repræsenterer alle stationer i modellen, bliver toget sendt ind og ud af denne station, for hver station toget besøger, indtil det når til endestationen.

'Station' modulet er inddelt i flere moduler, for at øge overskueligheden. Grundlæggende ankommer et tog til en station, holder på perronen og forlader efterfølgende stationen, når det er færdigbehandlet. De fem moduler, der beskriver processerne, der foregår når et tog ankommer til 'Station' modulet, beskrives i det følgende. Ud over disse moduler, er der desuden implementeret moduler for hver genopretningsmetode, der gennemgås i afsnit [9.2.8](#).



Figur 9.6: Nogle af modulerne implementeret i modulet 'Station'.

I 'Station' modulet tildeles attributterne i tabel 9.11.

Attribut	Beskrivelse
AttAfvigelse	Afvigelse fra køreplanen angivet i minutter.
AttStationNu	Angiver den nuværende station.
AttTaellerLoko	Den lokofører, der kører toget her og nu. Hvis toget f.eks. har skiftet lokofører to gange på turen, er AttTaellerLoko lig med 3.
AttLokoNrFremf	Nummeret på den lokofører der fremfører toget (1-585).
AttLokoSverige	Den svenske lokofører der fremfører toget.
AttLokoDummy	Den dummylokofører der fremfører toget.

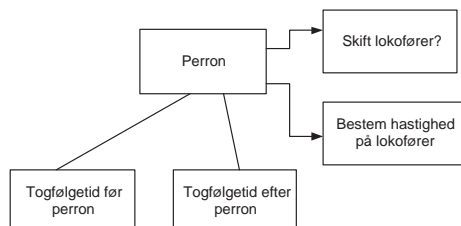
Tabel 9.11: Tabel over attributter i modulet Skift lokofører.

9.2.6.1 Nyt tognr?

Først undersøges det om togets startstation er København H., hvis dette er tilfældet undersøges om toget skal skifte tognummer på denne station, hvilket er tilfældet for de fleste Øresundstog. Hvis toget skal skifte tognummer, undersøges det ligeledes, om toget skal skifte lokofører, eller om den samme lokofører fortsat skal betjene toget. Lokoføreren skiftes dog først reelt i modulet 'Skift lokofører?'

9.2.6.2 Rettidig?

Her undersøges det, om toget er forsinket eller til tiden. Der skal mere end 1 minuts forsinkelse til, før det tæller som en forsinkelse i modellen. Hvis toget



Figur 9.7: Modulerne 'Togfølgetid før perron' og 'Togfølgetid efter perron' er en del af modulet 'Perron'.

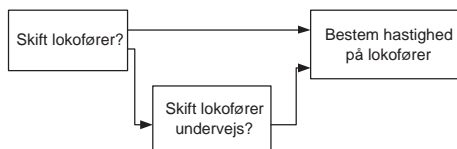
ikke er forsinket, men det derimod er ankommet for tidligt til stationen, holdes toget tilbage inden perronen, indtil det tidspunkt det skulle være ankommet.

Det er kun tog ankommet til registreringsstationerne på Kystbanestrækningen, der er interessante for rettidighedsstatistikken, det er derfor kun disse, der registreres. Det undersøges om en eventuel forsinkelse er i intervallerne 1-3:59, 4-5:59 eller 6 minutter eller derover.

9.2.6.3 Perron

Når toget er undersøgt for eventuelle forsinkelser, kører toget videre mod selve perronen. Her undersøges det, om der er en ledig perron. Er der mere end en ledig perron, kører toget direkte ind på en af disse. Hvis der derimod kun er en ledig perron, sørges der i modulet 'Togfølgetid før perron', se figur 9.7, for at toget først kan køre ind på perron, når der er gået en vis tid, efter det foregående tog har forladt perronen. Hvis der kun er en ledig perron, skal der gå mindst 90 sekunder fra et tog forlader perronen til det næste tog kan køre ind. Ved nedsat perronkapacitet, er denne grænse 180 sekunder. Disse togfølgetider før indkørsel til perron er fastsat, for at gøre modellen mere virkelighedsnær. Dette sikrer, at i tilfælde med kø foran en station, går der et vist tidsrum fra et tog er afgang til det næste kører ind på perronen. Uanset kørselsretningen på togene. Hvis der ikke er en ledig perron, kommer toget i kø.

Hvis et tog forlader en perron for tæt på et forankørende tog, tilføjes en ventetid i modulet 'Togfølgetid efter perron', se figur 9.7, så toget holder togfølgetiden efter udkørsel fra perron. Togfølgetiden er modelleret som en fast værdi for hver station, da der ikke tages højde for tekniske specifikationer som bremselængde mm. Se i bilag E for togfølgetider.



Figur 9.8: 'Skift lokofører undervejs?' modulet, der er i 'Skift lokofører' modulet.

Det er ikke alle tog, der standser på alle stationer, som passeres under turen. Hvis toget skal standse ved en station, holder toget på stationen indtil køreplanens afgangstid. Er toget forsinket ved ankomst til stationen, holder toget i minimum 20 sekunder. Der gælder altså, at hvis et tog efter planen skal holde 2 min. på en station, men er 1 min. forsinket, holder toget det resterende minut af holdetiden. Er toget derimod mere end 2 min. forsinket, holdes i 20 sekunder. Hvis toget ikke skal standse ved stationen, kører det videre uden at holde ind på perron, dog skal der være en ledig perron, for at toget kan komme gennem stationen.

Der er to udgange fra 'Perron' modulet afhængig af om toget skal standse ved stationen, eller køre igennem. Skal der standses kører toget til modulet 'Skift lokofører?', ellers køres uden om dette modul og perronen forlades, som det fremgår af figur 9.6 og 9.7.

9.2.6.4 Skift lokofører?

I dette modul får alle tog på deres startstation tildelt den lokofører, der ifølge turplanen skal betjene toget.

For at en lokofører kan tildeles, skal der gælde, at tiden hvor lokoføreren skal sættes af igen ikke må være overskredet. Er tiden overskredet, vælges der i stedet den næste lokofører, der skal betjene toget i modulet 'Skift lokofører undervejs?', se figur 9.8. Derudover skal det gælde, at lokoføreren er ledig og er på den samme station som toget.

Hvis den lokofører der ifølge turplanen skulle køre toget, ikke er ledig, eller er på en forkert station, sættes enten en svensk lokofører eller en dummylokofører på toget. Det samme gælder, hvis der ikke er oplysninger om en lokofører til toget. Der sættes en svensk lokofører på toget, hvis afgangen er fra København H. mod Sverige eller fra Kastrup mod København H. På øvrige strækninger sættes en dummylokofører på toget.

Et tog kan i modellen kun skifte lokofører på seks forskellige stationer undervejs,

de såkaldte depotstationer, som beskrevet i afsnit 3.3.1. Når en lokofører skiftes, frigøres den nuværende lokofører fra toget, og den næste lokofører sættes på toget. På depotstationerne sættes ligeledes en svensk eller en dummylokofører på toget, hvis den planlagte lokofører ikke er ledig eller tilgængelig.

Toget forlader perronen efter dette modul. Hvis den besøgte station er togets endestation, sendes toget til modulet 'Til- og frakobling' for at komme i garage. Er endestationen Korsør, dvs. hvis toget skal videre fra Korsør mod Fyn og Jylland, sendes toget til modulet 'Jylland', hvorefter toget sendes til 'Til- og frakobling' modulet. Er stationen ikke en endestation, sendes toget til modulet 'Bestem hastighed på lokofører'.

9.2.6.5 Bestem hastighed på lokofører

Når et tog skal transporteres fra en station til en anden, af lokoføreren, kræver det som beskrevet i afsnit 9.1.2, at lokoføreren har en hastighed og kender distancen mellem de to stationer. Hastigheden fastsættes i dette modul, hvor den tildeles toget som en attribut. Attributten er en skaleringsfaktor, som ganges på lokoførerens grundhastighed, som er 5000 feets/min. (91,4 km/t). I Arena skal hastigheden være i enheden feets/min.

Grundhastigheden er modelleret som et kompromis mellem virkelighed og model, for at komme så tæt som muligt på de virkelige hastigheder, beregnet ud fra køretiden mellem stationer ifølge køreplanen.

Lyntog og InterCity tog mellem København H. og Kastrup kører 15% hurtigere end grundhastigheden. Dette svarer til 105,1 km/t. Lyntog og InterCitytog på resten af strækningerne er ikke præciseret som på Kystbanestrækningen, og er sat til den samme hastighed som alle øvrige tog på de strækninger hvilket vil sige 86,8 km/t. Materielkørsel er ligeledes sat til 105,1 km/t, hvilket skyldes, at der ikke standses undervejs. Tog med tognumrene 1300-1399, kører normalt med 86,8 km/t, men mellem visse stationer kører togene kun med 77,7 km/t. Øresundstog med tognumrene 1000-1199 og 2000-2179, kører normalt med 86,8 km/t, men mellem visse stationer er hastigheden 105,1 km/t, og fra Rungsted til Kokkedal er hastigheden oppe på 108,8 km/t. Myldretidstog med tognumrene 3000-3099 har også en normal hastighed på 86,8 km/t. Mellem Rungsted og Kokkedal er hastigheden dog sat ned til 77,7 km/t, og mellem Østerport og Vedbæk er den sat op til 105,1 km/t. Fra Rungsted til Nivå er hastigheden sat op til 128,9 km/t, da der ikke standses på stationerne imellem.

Når et tog forlader en station, bliver det sendt til den næste station med den fastsatte hastighed, og med den lokofører, der er tilknyttet toget.

9.2.7 Udregning af rettidighed og pålidelighed

I animationen til simuleringsmodellen udregnes rettidighed og pålidelighed. Rettidigheden udregnes løbende, så det hele tiden er muligt at få et overblik over rettidigheden. Pålideligheden derimod, udregnes først når simuleringen er færdig, da denne er et mål for hvor mange af de planlagte afgange der realiseres. Som tidligere beskrevet, måles rettidighed og pålidelighed kun for tog på Kystbanestrækningen.

I modellen måles rettidighed og pålidelighed kun på de registreringsstationer, hvor DSB og Banedanmark også måler. Der er her tale om stationerne: Helsingør, Nivå, Hellerup, Østerport, København H. og Kastrup.

9.2.7.1 Rettidighed

På animationen er der mulighed for at få oplysninger om hvor mange tog, der ved ankomst til en registreringsstation er forsinket inden for visse intervaller som vist i tabel 9.12.

Rettidig1	Toget er 0 – 1 min. forsinket.
Rettidig4	Toget er 1 – 4 min. forsinket
IkkeRettidig4	Toget er 4 – 6 min. forsinket.
IkkeRettidig6	Toget er > 6 min. forsinket.

Tabel 9.12: Rettidighedsintervaller defineret i modellen.

Rettidigheden er som tidligere beskrevet defineret ved:

$$\frac{\text{egentlige rettidige afgange}}{\text{mulige rettidige afgange}}$$

Rettidighed1 udregnes i modellen som:

$$\frac{\text{Rettidig1}}{\text{Rettidig1} + \text{Rettidig4} + \text{IkkeRettidig4} + \text{IkkeRettidig6}}$$

Rettidighed4 udregnes i modellen som:

$$\frac{\text{Rettidig1} + \text{Rettidig4}}{\text{Rettidig1} + \text{Rettidig4} + \text{IkkeRettidig4} + \text{IkkeRettidig6}}$$

9.2.7.2 Pålidelighed

Pålideligheden er som tidligere beskrevet defineret ved:

$$\frac{\text{egentlige afgange}}{\text{planlagte afgange}}$$

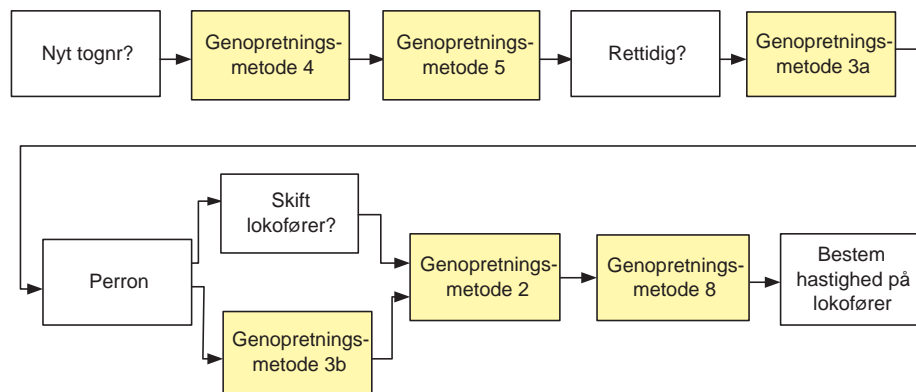
Pålideligheden udregnes i modellen som:

$$\frac{\text{Rettidig1} + \text{Rettidig4} + \text{IkkeRettidig4} + \text{IkkeRettidig6}}{1265}$$

Der divideres med 1265, da antallet af planlagte ankomster til registreringsstationerne på Kystbanestrækningen i løbet af 24 timer er 1265.

9.2.8 Genopretningsmetoder

Her beskrives hvordan genopretningsmetoderne er implementeret i modellen. Nogle genopretningsmetoder er implementeret som separate genopretningsmoduler, der hele tiden er tilgængelige, mens andre skal vælges. Figur 9.9 viser hvordan genopretningsmodulerne 2,3,4,5 og 8 er sammenkædet i 'Station' modulet. Genopretningsmetoderne 1, 6 og 7 er implementeret i 'Til- og frakobling' modulet.



Figur 9.9: Modulerne i 'Station' modulet, hvor genopretningsmoduler er markeret med gult.

9.2.8.1 Genopretningsmetode 1

Denne metode, hvor tog afgår 4 min. senere end planlagt pga. forsinket materiel, er implementeret så den hele tiden er aktiv i modellen. Det vil sige, at man ikke skal vælge metoden fra eller til, inden simuleringen begyndes. Genopretningen finder sted i modulerne 'Sammenkobling' og 'Kobling af MFA/ER', der alle er i 'Til- og frakobling' modulet, som det ses på figur 9.5. Metoden er dog kun mulig for de tre litratyper 9, 11 og 12, da det hovedsageligt er disse typer, der kører på Kystbanestrækningen.

9.2.8.2 Genopretningsmetode 2

Der indsættes reservestammer på København H. i denne metode, når forsinkelser fra Sverige når et vist niveau. Metoden er således tilgængelig hele tiden, og aktiveres når bestemte forhold gælder. Metoden bruges til de tog der ankommer til Kastrup fra Sverige og er forsinket 5 min. eller mere. Denne grænse er valgt, da afprøvningerne i afsnit 10.1.1 viste at dette gav den bedste rettidighed.

I modellen håndteres indsættelsen af rettidig reservestamme fra København H. ved, at det forsinkede tog ved ankomst til Kastrup kopieres, og det originale tog sendes direkte til København H. "uden om systemet", hvor det tilbageholdes indtil rettidig afgang. Det originale tog indeholder således alle oplysninger om togets senere tur, og fortsætter som planlagt fra København H. Det kopierede tog har de samme oplysninger, og tildeles yderligere et fiktivt tognummer, og fortsætter som forsinket mod København H., hvor det udtages ved ankomsten. De udtagede tog bruges ikke mere i simuleringen. Der er ikke en øvre grænse på hvor tit en reservestamme kan indsættes, men det er i modellen muligt at indsætte så mange som, der er behov for.

9.2.8.3 Genopretningsmetode 3

Genopretningsmetode 3(a og b) bruges, når en station er fuldstændig spærret for gennemkørsel. Variablen 'VarSpærret' skal inden simuleringen sættes i gang, sættes til det stationsnummer den spærrede station har. En station spærres i en begrænset periode ved at nedsætte perronkapaciteten til nul.

I modulet 'Genopretningsmetode 3a' undersøges inden indkørsel på perron, om den nuværende station er spærret. Hvis det er tilfældet, sendes toget tilbage til den seneste station.

Hvis der inden afgang fra en station er kendskab til en spærring på den følgende station, tilbageholdes toget på den nuværende station i modulet 'Genopretningsmetode 3b'. Toget venter på, at der kommer et tog fra den modsatte retning af samme litragruppe, som holdes tilbage på den anden side af den spærrede station. Disse to tog bytter så oplysninger, således at de hver især kører tilbage i den retning de kom fra, som om de var det andet tog, de har byttet oplysninger med. Der kan opstå problemer hvis de to parrede tog ikke har lige mange vogne, når de overtager hinandens oplysninger på stationerne før den spærrede station. Ombytningen af oplysninger (attributter) udføres i et modul kaldet 'Ombytning af attributter' i genopretningsmodulet 3b. De attributter, der byttes er listet her:

- AttTognr
- AttTogType
- AttRute
- AttStartstation
- AttSted (der lægges to til, da toget springer to stationer frem)
- AttNyvogn1 (angiver det andet togs materielplansnummer for vogn1)
- AttNyvogn2 (er der kun en vogn på det ene tog, men to vogne på det andet tog, sættes denne attribut for vogn2 til 3333, et nummer, der ikke eksisterer i materielplanerne. Dette er for at vise, at der er en uoverensstemmelse)
- AttSkiftTognr1
- AttSkiftTognr2 (under samme forudsætninger som ovenstående, sættes denne ligeledes til 3333)
- AttTurnr1
- AttTurnr2 (under samme forudsætninger som ovenstående, sættes denne ligeledes til 3333)
- AttNaesteTogVogn1
- AttNaesteTogVogn2 (under samme forudsætninger som ovenstående, sættes denne ligeledes til 3333)

Når to tog har byttet oplysninger, tildeles de en ny farve i animationen, så det er muligt at se at genopretningen er udført. Togene tildeles desuden en attribut, om at de er blevet genoprettet, som det fremgår af tabel [9.13](#).

Attribut	Beskrivelse
AttGenopret	Sættes til 1 hvis toget er blevet genoprettet, ellers 0.

Tabel 9.13: Tabel over attribut i modulet 'Ombytning af attributter'.

Hvis et tog har mere end to vogne, tages toget helt ud af systemet, da genopretningsmetode 3 ikke kan håndtere mere end to vogne. Der er få tog med mere end to vogne på Kystbanestrækningen.

9.2.8.4 Genopretningsmetode 4

Hvis kapaciteten på stationen er nedsat til en tilgængelig perron, hvilket vil sige, at der er færre tilgængelige perroner end normalt, så sendes toget videre ind i dette modul, ellers sendes toget videre til 'Genopretningsmetode 5' modulet, som det fremgår af figur 9.9. Metoden skal vælges til, inden simuleringen går i gang, ved at sætte 'VarNedsatKapacitet' til nummeret for den berørte station. Ligeledes skal der inden start ændres i stationens antal perroner, så dette antal bliver en.

Er kapaciteten nedsat, øges togfølgetiden for indkørsel til perron til 3 min., da tog fra begge retninger skal deles om den samme perron. Toget tildeles en prioritet efter dets retning og hvornår på dagen det er, som det fremgår af tabel 9.14. Hvis der holder flere tog i kø foran stationen, så kommer det tog med højest prioritet først ind på perronen.

Attribut	Beskrivelse
AttPrioritet	Tildeles for at kunne prioritere nogle tog frem for andre. Sættes lig med 1, hvis toget skal prioriteres før et andet tog, ellers sættes AttPrioritet til 0.

Tabel 9.14: Tabel over attributter i Nedsat perronkapacitet modulet.

9.2.8.5 Genopretningsmetode 5

Hvis et Øresundstog undervejs på sin tur mod Helsingør er forsinket mere end 19 minutter, kan materiellet ikke nå næste tur, hvis denne ligger umiddelbart efter nuværende tur, som det ofte er tilfældet for materiel på Kystbanestrækningen. I dette genopretningsmodul aflyses materiellets næste afgang, hvis afgang ligger tæt på den nuværende tur. Metoden er altid tilgængelig, og aktiveres når

bestemte forhold er opfyldt.

Attribut	Beskrivelse
AttNaesteTogAflyses	Sættes til 1, hvis næste opgave aflyses. Attributten bruges til at opdatere materiellets senere opgaver.

Tabel 9.15: Tabel over attributter i genopretningsmetode 5 modulet.

9.2.8.6 Genopretningsmetode 6

Denne metode vælges til eller fra i modulet 'Tildeling af attributter' inden simuleringen begyndes.

Myldretidstog kan kun udtages fra deres start af. Det er kun myldretidstog på Kystbanestrækningen der kan udtages. Der er 15 myldretidstog i køreplanen.

9.2.8.7 Genopretningsmetode 7

Ligesom for genopretningsmetode 6, skal denne genopretningsmetode vælges til inden selve simuleringen. Tog der ønskes aflyst fra starten af, skal skrives i variabelen 'VarTogAflysesFraStart', se bilag B, der indeholder de tognumre der skal aflyses. Metoden er implementeret i 'Til- og frakobling' modulet, så toget aflyses, inden det når ind på en station.

9.2.8.8 Genopretningsmetode 8

Det undersøges først om toget er på Snekkersten station, da dette er den eneste station metoden benyttes på. Hvis toget er forsinket mellem 13 og 19 minutter ved ankomst til Snekkersten med retning mod Helsingør, aktiveres genopretningsmetoden, og toget vendes uden at køre til Helsingør. Normalt har et tog 11 minutter til at vende på Helsingør station. Der går 1 minut til holdetid på stationen i hver retning, så reelt er der 9 minutter til at vende. Hvis den efterfølgende opgave for en af vognene på toget, ligger umiddelbart efter den nuværende tur, har toget altså 9 minutter i buffer plus 4 minutter pga. genopretningsmetode 1. Forsinkelser på op til 13 minutter kan altså klares. Hvis toget vendes, sættes variabelen 'VarSnekkersten' til togets efterfølgende tognummer, og oplysningerne fra denne togafgang overføres til toget på Snekkersten station

fra 'Til- og frakobling' modulet. Hvis toget er forsinket mere end 19 minutter har toget overskredet grænsen for at vende rettidigt på Snekkersten station, og vil derfor ikke blive vendt.

9.2.9 Lokoførere

Hverken togførere eller togstewarder er med i modellen, da det ville betyde endnu flere begrænsninger i form af flere turplaner der skal indlæses, fagforeningsregler, der skal opfyldes mm. Lokoførerne er prioriteret højere, da de er uundværlige.

Lokoførerne er i simuleringen animeret som personer i forskellige farver afhængig af deres type og aktivitetsniveau. De lokoførere, der følger turplanen, er animeret som lilla lokoførere. De er mørklilla, når de er optaget og lyslilla, når de er ledige. På animationen vises alle lokoførere under hele simuleringen, både som optagede (fremfører tog, bliver passivt fremført eller udfører diverse opgaver), som ledige eller som inaktive (pause). Lokoførerne forsvinder ikke fra animationen, når de har fri eller holder pause. Den eneste ændring er, at lokoføreren ændrer farve på animationen.

Da det ikke har været muligt at modtage data om de lokoførere, der betjener Øresundstog fra Sverige mod Danmark, lader vi fiktive svenske lokoførere betjene toget fra Kastrup indtil København H., hvor de svenske lokoførere sættes af, efter aftale mellem DSB og den svenske togoperatør. De svenske lokoførere er blå, når de er optaget og lyseblå, når de er ledige.

Vi genopretter ikke på lokoførere, og er derfor ikke interesseret i, at tog aflyses når en lokofører er blevet forsinket eller ikke er ledig, når toget skal afgå. Vi indfører derfor nogle "dummy-lokoførere", der i stedet indsættes på toget. Dummy-lokoførerne har en anden farve end den planlagte lokofører, for at vise at der er opstået en uregelmæssighed i systemet. Dummy-lokoførere er lysegrønne, når de er ledige og mørkegrønne, når de er optaget.

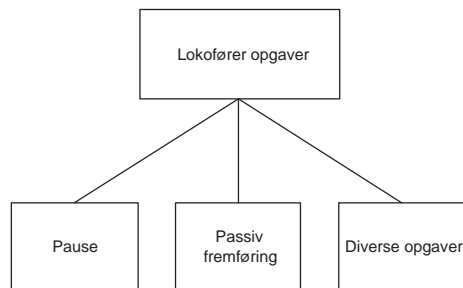
I genopretningsmetode 2 bruges reservelokoførere, der er gul-grå, når de er ledige og gule, når de er optaget. Alle lokoførere er grå, når de er inaktive.

9.2.9.1 Arbejdsopgaver

En lokofører har mange forskellige typer af arbejdsopgaver i løbet af sin turplan. Vi har samlet disse arbejdsopgaver til fire større grupper, der dækker alle disse opgaver:

1. Togfremføring
2. Passiv fremføring
3. Pause
4. Diverse arbejdsopgaver

Togfremføring betyder, at lokoføreren skal betjene et bestemt tog fra en station til en anden. Passiv fremføring betyder, at lokoføreren transporteres fra en station til en anden. Lokoføreren kan transporteres med tog, bus, taxa eller lign. Pause betyder at, lokoføreren holder pause på en pausestation, som beskrevet i afsnit 3.3.1, i enten 20 eller 30 min. Diverse arbejdsopgaver dækker over, at lokoføreren udfører opformering, nedformering, rangering, klargøring eller lign. Altså opgaver, der foregår på en station og ikke mellem stationer.



Figur 9.10: Lokofører arbejdsopgaver.

Da lokoførere har andre arbejdsopgaver end at fremføre tog, har vi samlet disse i modulet 'Lokofører opgaver', der indeholder de tre moduler; 'Pause', 'Passiv fremføring' og 'Diverse opgaver', se figur 9.10. I disse moduler indlæses alle lokoføreres turplan fra filen 'lokofoerer bindinger.xls'.

I hver af modulerne genereres entiteter, der svarer til hver enkelt arbejdsopgave. Når en arbejdsopgave er udført, smides entiteten ud af systemet. Udføres arbejdsopgaven ikke, pga. en opstået forstyrrelse, er det muligt at sende en meddelelse om dette til skærmen.

9.2.9.2 Pause

I dette modul genereres entiteterne 'Lokopause', der er arbejdsopgaven pause. Der genereres det samme antal entiteter, som der er pauser i løbet af simu-

leringen. For hver entitet indlæses oplysninger om pausen, der alle gemmes i variable, som efterfølgende tildeles entiteten i form af attributter, som det ses i tabel 9.16. Entiteten forsinkes herefter indtil pausens start, hvor den rigtige lokofører tilkaldes og sættes til inaktiv indtil pausen er færdig. Når en lokoførers status er inaktiv, kan lokoføreren ikke benyttes andre steder i systemet. Efter pausen sættes lokoføreren status igen til ledig, så nye opgaver kan varetages.

Attribut	Beskrivelse
AttLokoNrPause	Den lokofører der skal holde pausen.
AttStartTidPause	Starttidspunkt for pausen.
AttSlutTidPause	Sluttidspunkt for pausen.
AttPauseStation	Den station hvor pausen skal holdes.

Tabel 9.16: Tabel over attributter i modulet 'Pause'.

9.2.9.3 Passiv fremføring

I dette modul genereres entiteterne 'Lokopassiv', der er arbejdsopgaverne at fragte en lokofører fra en station til en anden. Den passive fremføring kan være for at fragte lokoføreren til et nyt togs startstation, eller for at lokoføreren kommer til en pausestation eller lign. Den passive fremføring kan foregå via taxi, bus, tog (som en anden lokofører fremfører), færge mm.

Der indlæses ligeledes her oplysninger om den passive fremføring, der gemmes som variable og som efterfølgende tildeles som attributter, se tabel 9.17. Når entiteterne har fået tildelt oplysningerne, forsinkes entiteterne indtil starttidspunktet for den passive fremføring.

9.2.9.4 Diverse opgaver

Det er valgt at samle alle lokoføreropgaver, der ikke er fremføring af tog, pause eller passiv fremføring, i en gruppe kaldet 'Diverse opgaver'. Disse opgaver kan variere meget i tid og omfang, men er alligevel samlet for at begrænse antallet af arbejdsopgaver i modellen.

I 'Diverse opgaver' modulet genereres entiteterne 'LokoOpgaver', der ligeledes indlæser oplysninger, der gemmes i variable og som tildeles som attributter, se tabel 9.18. Da der i turplanen er flere arbejdsopgaver der varer 0 sekunder, undersøges hver enkelt arbejdsopgave entitet. Er arbejdsopgavens varighed på 0 sekunder, smides entiteten straks ud af systemet, da den så ikke har interesse.

Attribut	Beskrivelse
AttLokoNrPassiv	Fortæller hvilken lokofører, der skal fragtes fra en station til en anden.
AttStartTidPassiv	Fortæller tidspunktet for hvornår lokoføreren skal fragtes.
AttSlutTidPassiv	Tidspunktet for hvornår lokoføreren er fragtet til den nye station.
AttStartStationPassiv	Den station hvor lokoføreren skal fragtes fra.
AttSlutStationPassiv	Den station hvor lokoføreren skal fragtes til.
AttLokoPassivForsinket	Hvis lokoføreren er forsinket inden den passive fremføring, tildeles denne attribut værdien 1, der ellers sættes til 0. At lokoføreren fragtes for sent, betyder nemlig at lokoførerens sluttidspunkt er forsinket, og at dette kan have indflydelse på lokoførerens næste planlagte opgave.

Tabel 9.17: Tabel over attributter i modulet 'Passiv fremføring'.

Attribut	Beskrivelse
AttLokoNrDiverse	Den lokofører der skal udføre arbejdsopgaven.
AttStartTidDiverse	Starttidspunktet for arbejdsopgaven.
AttSlutTidDiverse	Sluttidspunktet for arbejdsopgaven.
AttStationDiverse	Den station hvor lokoføreren skal udføre arbejdsopgaven.

Tabel 9.18: Tabel over attributter i modulet 'Diverse opgaver'.

Varer arbejdsopgaven derimod længere tid, forsinkes entiteten indtil opgavens starttid. Herefter undersøges det, om den rigtige lokofører er ledig, når opgaven skal udføres, er dette tilfældet udfører lokoføreren opgaven som planlagt. Er lokoføreren derimod ikke ledig på det pågældende tidspunkt, udføres opgaven ikke, og entiteten smides ud. Der er her mulighed for at sende en besked til skærmen om at opgaven ikke er udført.

9.3 Forsinkelsesfordelinger

Forsinkelser tildeles som beskrevet i 9.2.5 to steder i modulet 'Tildeling af attributter': til InterCitytog og Lyntog der ankommer til Korsør fra Jylland, og til Øresundstog der ankommer til Kastrup fra Sverige. Der er forskellige

forsinkelsesfordelinger for de tre togkategorier som beskrevet i afsnit 8.7. 61 Øresundstog, 67 InterCitytog og 23 Lyntog tildeles en forsinkelse. Ved at tildele forsinkelser skabes en dynamisk og mere realistisk repræsentation af togtrafikken. Forsinkelserne ændrer simuleringsmodellen fra at være en deterministisk model, til at blive en stokastisk model.

Alle forsinkelser, der tildeles, er *positive*, dvs. at der kun tildeles forsinkelser, der giver en senere ankomst end planlagt. Modellen håndterer selv for tidlige ankomster, som beskrevet i afsnit 9.2.6.2.

9.4 Advarsler

Modellen udskriver et advarselsskema til både skærm og en fil. Der kommer desuden en besked til skærmen, når et tog ikke afgår som planlagt. Advarselskemaet udskrives fra modulet 'Rettidig?' og omhandler kun togene på Kystbanestrækningen. Advarslerne om ikke afgåede tog, kommer fra modulet 'Garager', hvis en afsendt besked om en togafgang ikke medfører en reel afgang. Detaljer om skemaet beskrives nærmere i afsnit 10.3.1.

9.5 Kørselstider

Der er ikke gjort noget for at nedbringe kørselstiden for simuleringen, da dette ikke ligger inden for projektets mål.

I Arena er det muligt at køre simuleringen ved forskellige hastigheder:

- Som hurtig (*fast forward*), hvor det ikke er muligt at se animationen samtidig.
- Som kørende (*run*), hvor simuleringen vises samtidig med kørslen.
- Samt skridtvis (*stepwise*), hvor hastigheden foregår skridtvis efter brugerens valg, og hvor simuleringen vises samtidig.

Der er testet, hvor hurtig simuleringen er ved de forskellige hastigheder, og resultaterne ses i tabel 9.19. Den skridtvise simulering, tager så lang tid som brugeren ønsker, og måles derfor ikke.

Simulerings hastighed	Antal kørsler	Tid
Hurtig	1	31 sekunder.
Hurtig	20	6 min. og 31 sekunder.
Kørende	1	17 min.

Tabel 9.19: Tabel over kørselstider for simuleringen.

9.6 Validering og verificering af model

Oplysninger om generel validering og verificering, der beskrives i dette kapitel, er fra *Simulation with Arena* af Kelton et al. [16].

Det er vigtigt, at sikre at modellen opfører sig som den skal. For at undersøge om dette er opfyldt, skal modellen valideres og verificeres. Ved validering undersøges om modellen opfører sig på samme måde som det virkelige system. Hvis modellen opfører sig anderledes, er det således vigtigt at gøre sig antagelser om, hvorfor modellen alligevel kan benyttes til at simulere det virkelige system. Da modellen skal være en repræsentation af et virkeligt system, er det vigtigt at disse antagelser ikke har en effekt på modellens resultater og troværdighed.

Ved verificering undersøges om modellen opfører sig som ønsket ud fra de opstillede antagelser, der er gjort. Verificering er derfor også kendt som 'debugging'.

9.6.1 Validering

Modellen er opbygget i etaper, hvor en etape først er påbegyndt, når den foregående etape er afsluttet og verificeret.

Første etape i udviklingen af modellen, var at konstruere netværket med infrastruktur, med mulighed for at sende tog rundt i netværket.

Efter konstruering af netværket, indlæste vi modtagne data om køreplaner. Der blev i denne etape genereret ligeså mange tog, som der var afgang i løbet af dagen. Når et tog havde færdiggjort sin tur, blev toget smidt ud af systemet.

I tredje etape blev materieldata klargjort, og herefter indlæst i modellen. Det betød at modellen nu kunne håndtere materielbindinger, således at omløbsplanen overholdes. Ved denne forbedring, var det ikke længere nødvendigt at smide materiellet ud af systemet efter endt tur, da vi nu ved hvornår materiellet skal bruges igen.

Efter infrastrukturen og materiel var på plads, blev modellen udvidet med lokoførerbindinger. Det betød at netværket ikke længere bestod af tog, der selv kører rundt, men derimod af tog, der transporteres af lokoførere.

Til sidst, implementeredes flere genopretningsmetoder.

9.6.1.1 Antagelser

I projektet er der gjort en del antagelser for at kunne modellere systemet. Disse antagelser går ikke ud over mulighederne for at bruge modellen til det formål, den er skabt. Såfremt det er muligt, er en måde at validere sin model ved at sammenligne den med det virkelige system. De antagelser der er gjort i modellen, gør, at det ikke er muligt at sammenligne modellen med det virkelige system.

Målet med dette simuleringsprojekt er ikke at give en eksakt repræsentation af det virkelige system, men derimod at udvikle en prototype på et BSS, der kan benyttes til at træffe bedre beslutninger ud fra forskellige virkelighedsnære scenarier, der afprøves. Følgende antagelser er gjort i forbindelse med udvikling af modellen:

- Der er ubegrænset plads mellem to stationer. Det betyder, at der i realiteten kan være flere tog på samme strækning. Vi har dog modelleret en togfølgetid, der sørger for at to tog i samme retning ikke kører for tæt på hinanden.
- Tog kører med en gennemsnitshastighed mellem stationer, hvilket antages at have ringe indflydelse på modellens opførsel.
- Hastigheden for et tog svarer ikke præcis overens med hastighederne i virkeligheden, men er tilnærmet på bedste vis ud fra køretiden i køreplanen.
- Der er altid en lokofører på toget, da der ved mangel eller forstyrrelse indsættes en dummy lokofører.
- Holdetiden på stationer er 30 sekunder på Kystbanestrækningen. Denne sættes til 20 sekunder ved forsinkelser, for på den måde at kunne indhente lidt tid, som ellers ville være indhentet ved at sætte farten op.
- Hvis et tog mangler en vogn ved afgang fra en station, kører toget uden denne vogn. Det er vigtigere at toget afgår, end at det har den rette længde.
- Tiden fra et tog kører ud fra en perron til næste tog kører ind, sættes til 3 min. ved nedsat perronkapacitet ellers $1\frac{1}{2}$ minut.

- Togs ankomsttid til perronen på startstationen varierer fra 10-300 sekunder før afgang, da det ikke har været muligt at modtage præcise data omkring dette.
- Tog kan ikke afgå fra en station før tid. I virkeligheden vil et tog så vidt muligt ikke afgå før tid.
- Det er altid muligt at vende på en station, da der ikke undersøges for sporskifter og andre tekniske specifikationer.
- Alle perroner kan tilkøres fra begge retninger. Ligeledes er spor ikke retningsbestemte.
- Hvis der er to tog på to spor, antages det at, de kører på hver sit spor.
- Tog kan til- og frakobles på et sekund, da til- og frakoblingsprocessen er indarbejdet i materielomløbsplanen, og derved indirekte med i modellen.
- Der kan ikke sættes vogne af undervejs på turen. Dette medfører at seks tog, der burde afgå ifølge køreplanen og materielplanen er udtaget af modellen, da de krævede denne funktion. Det er kun disse seks tog, der har behov for funktionen. Da togene afgår om aftenen, vurderes at dette ikke har væsentlig indflydelse på resultaterne.
- Der kører kun de tog, der både er i køreplanen og i materielbindingsplanen.
- Forsinkelser tilføres kun på Kastrup og Korsør station, hvor hhv. Øresundstog, InterCity- og Lyntog ankommer til systemet. I virkeligheden kan der også opstå andre steder i systemet.

9.6.2 Verificering

Verificering foregår løbende i modelleringen. Hver gang nye moduler og Arena elementer tilføres, er det vigtigt at undersøge om modellen opfører sig som ønsket. Dette gøres ved at sende en entitet igennem de tilføjede moduler og Arena elementer, der så undersøges for om de gør som ønsket. Det er muligt i Arena at benytte en 'trace' funktion, der følger en bestemt entitet og så viser alle oplysninger om entiteten i form af tilknyttede attributter. Hver gang entiteten modtager nye attributter, stoppes simuleringen automatisk, så det er muligt at undersøge disse nærmere.

For at verificere at modellen opfører sig som ønsket, det vil sige at alle afgang i køreplanen afgår til tiden, med de vogne materielomløbsplanen foreskriver, har vi gjort følgende under kørsel af modellen:

1. Kun genereret en enkelt entitet, der følges skridtvis hele vejen igennem systemet, for at undersøge om de enkelte moduler og Arena elementer i simuleringen gør som de skal.
2. Undersøgt for mere specifikke detaljer som, at køretiden for et tog overholdes, at der standses ved de planlagte stationer og at toget kører i den rigtige retning.
3. Registreret alle afgang og hvilke togvogne der er på hver afgang. Dette er så sammenlignet med køreplanen og materielomløbsplanen.
4. Registreret forsinkelser for at verificere at, der ved kørsel efter køreplanen ikke er forsinkelser.

For at verificere at modellen overholder den fastsatte hastighed, er der på Kystbanestrækningen undersøgt om alle tog kører mellem stationer med den hastighed de skal, og på den tid det tager i forhold til hastigheden.

Der er ligeledes undersøgt om de rigtige lokoførere sættes på deres planlagte afgang, som turplanen foreskriver. For de tog der ifølge turplanen ikke har en lokofører, verificeres at togene tildeles en anden lokofører.

Derudover er hver genopretningsmetode testet nøje ved at konstruere forstyrrede scenarier og følge en enkelt entitet gennem hver del af genopretningsmetoden, for at verificere at de enkelte moduler og Arena elementer i genopretningsmetoden, gør som de skal.

Det er konstateret at modellen opfører sig efter hensigten ud fra de antagelser der er gjort.

Afprøvning af scenarier

I dette kapitel afprøves de implementerede genopretningsmetoder, som beskrevet i kapitel 6, for at se hvordan togtrafikken agerer på forskellige scenarier. For de afprøvninger, hvor der ikke indlæses forsinkelser, er det nok med en enkelt afprøvning, da modellen er en deterministisk simuleringsmodel, som beskrevet i kapitel 4, og derfor vil agere på samme måde i hver kørsel. I de afprøvninger hvor forsinkelser indlæses efter forsinkelsesfordelinger, beskrevet i afsnit 8.7, er der derimod tale om en stokastisk simuleringsmodel, hvor udfaldet af simuleringen er forskelligt fra gang til gang. Det er fra starten fastlagt, at der foretages 20 kørsler til hver afprøvning. Standardafvigelsen ved de 20 kørsler er lav, hvilket viser, at 20 kørsler er nok til at middelværdien kan bruges i de følgende sammenligninger.

I scenarierne er der eksperimenteret med forskellige afprøvninger, hvor der bl.a. tildeles forsinkelser for hhv. Øresundstog fra Sverige og InterCity- og Lyntog fra Jylland, samt til- og fravælges genopretningsmetoder for at afprøve hver enkelt metode. I scenarierne fremtvinges forskellige forstyrrelser, for at afprøve metodernes funktionalitet.

Der genereres samme antal tog i hver afprøvning, og i alle scenarier simuleres i 24 timer ud fra samme data, dog kan forsinkelserne variere, da disse er stokastiske. Da hastighederne som beskrevet i afsnit 9.2.6.5 er et kompromis mellem model og virkelighed, er der en mindre usikkerhed i målingerne i forhold til virkeligheden. Da alle afprøvninger er udført ud fra de samme forudsætninger, mener vi at det

er rimeligt at se bort fra denne usikkerhed i sammenligningerne. De opnåede resultater diskuteres i næste kapitel.

Afprøvningsmetoderne inddeles ligesom genopretningsmetoderne i to: hverdagens forstyrrelser og store forstyrrelser. I hver afprøvning bruges rettidigheden som et mål, for de tog, der er forsinket op til 4 min. (*Rettidighed4*), en strammere rettidighed hvor tog kun er rettidige, hvis de er forsinket op til 1 min. (*Rettidighed1*) samt pålideligheden som er et mål for antallet af gennemførte afgangene i forhold til planlagte (*pålideligheden*). Disse resultater kan ses i tabellerne for hver enkelt scenarie. Nogle genopretningsmetoder er altid tilgængelige, mens andre skal vælges til eller fra. Det er kun de metoder der *aktivt* bruges i afprøvninger, der er med i tabellerne med resultater kaldet (*Aktiv Genop.*). De metoder, der enten er fravalgt til afprøvningen, eller ikke er aktiveret af modellen er ikke med i tabellerne.

Sidst i dette kapitel beskrives de advarsler som modellen giver, når en forstyrrelse opstår.

10.1 Hverdagens forstyrrelser

De to implementerede genopretningsmetoder for hverdagens forstyrrelser, som beskrevet i afsnit 6.4.1, undersøges:

1. Tog afgår efter 4 min., hvis det er ankommet forsinket til sin startstation.
2. Indsættelse af reservestamme på København H. ved forsinkelser på Øresundstog fra Sverige.

Tabel 10.1 viser resultaterne for afprøvningsmetoderne af genopretningsmetode 1 og 2 ved hverdagens forstyrrelser. Genopretningsmetode 1 er hele tiden tilgængelig i modellen. Genopretningsmetode 2 fravælges i nogle afprøvninger for at sammenligne resultaterne med og uden metoden. Afprøvning 1 viser, at modellen opfører sig som planlagt med både rettidighed og pålidelig på 100 %, når der ikke tilføres yderligere forstyrrelser, dvs. når der køres efter køreplanen.

Genopretningsmetode 1 bliver ikke brugt i nogle af de udførte afprøvninger, som det fremgår af tabel 10.1. Metoden bruges i de tilfælde, hvor materiel ankommer forsinket til den første station. I de udførte afprøvninger når forsinkelserne aldrig at blive så store, at materiel afgår forsinket fra den første station, og metoden er derfor ikke nødvendig i afprøvningsmetoderne.

Afprøvning	Aktive Genop.	Rettidighed4	Rettidighed1	Pålidelighed	Skift
1. Ingen forstyrrelser	-	100	100	100	0
2. Forsinkelser fra Sverige	-	97	92	100	0
3. Forsinkelser fra Sverige ≥ 8 min.	2	97,6	92,5	100	1
4. Forsinkelser fra Sverige ≥ 7 min.	2	97,8	93,2	100	4
5. Forsinkelser fra Sverige ≥ 6 min.	2	98,0	93,9	100	7
6. Forsinkelser fra Sverige ≥ 5 min.	2	98,3	94,3	100	12
7. Forsinkelser fra Sverige ≥ 4 min.	2	98,4	94,8	100	18
8. Forsinkelser fra Sverige og Jylland	-	97	92	100	0
9. Forsinkelser fra Sverige og Jylland ≥ 5 min.	2	98	94	100	12
10. Forsinkelser fra Jylland	-	100	100	100	0

Tabel 10.1: Tabel over afprøvningerne af genopretningsmetoder til hverdagens forstyrrelser.

Genopretningsmetode 2, som er fravalgt i afprøvningerne 2 og 8, viser sig at være meget effektiv til at forbedre rettidigheden. Metoden giver det bedste resultat for Rettidighed1 og Rettidighed4, når forsinkelserne fra Sverige er større end 5 min., som det fremgår af afprøvning 6.

Søjlen med 'Skift' angiver hvor mange reservestammer, der bliver indsat med genopretningsmetode 2. Der indsættes kun reservestammer, når genopretningsmetode 2 aktivt bruges. I afprøvning 7 er der indsat 18 reservestammer, da der allerede indsættes reservestamme ved forsinkelser større end 4 min.

Afprøvning 10, hvor der er forstyrrelser fra Jylland, viser, at der opnås samme rettidighed og pålidelighed som i afprøvning 1, hvor der køres efter køreplanen. Afprøvning 8 viser ligeledes, at forsinkelser fra Jylland, sammen med forsinkelser fra Sverige, ikke ændrer på rettidigheden eller pålideligheden i forhold til afprøvning 2, hvor der kun er forsinkelser fra Sverige. Forsinkelser fra Jylland, har altså in-

gen indflydelse på togtrafikken på Kystbanestrækningen.

10.1.1 Genopretningsmetode 2

DSBs prioriterings- og disponeringsregler beskrevet i afsnit 6.1.2 siger, at der skal indsættes en reservestamme på København H., hvis et Øresundstog fra Sverige er forsinket mere end 6 min. Efter besøg i Driftscenter Danmark, blev vi dog opmærksomme på, at DSBs driftsledere ikke følger de fastsatte 6 min., men i stedet følger deres erfaring, der siger, at tog kan indhente en 6 min. forsinkelse mellem Kastrup og København H., og at det først bliver kritisk ved forsinkelser på mere end 8 min. Derfor undersøges hvornår det bedst kan betale sig at indsætte reservestammen ved forsinkelser på Øresundstog fra Sverige.

Da der er en minimal forskel på rettidigheden for afprøvningserne 3-7 i tabel 10.1, indeholder resultaterne i disse afprøvninger en ekstra decimal, for at vise denne lille forskel. Der er derimod stor forskel på, hvor mange reservestammer, der skal bruges med genopretningsmetode 2, afhængig af hvornår metoden vælges at bruges. Indsættes reservestammen ved mere end 4 minutters forsinkelser fra Sverige kræves 18 indsættelser. Indsættes reservestammen ved forsinkelser større end 5 min. kræves 12 indsættelser. Indsættes reservestammen derimod først ved forsinkelser større end 6 min. kræves, der kun 7 indsættelser. Om der indsættes reservestamme efter 4, 5 eller 6 min. har altså en stor effekt på antallet af reservestammer der skal indsættes. Hver gang en reservestamme indsættes, skal der foretages skift, da reservestammen skal sættes i drift og det forsinkede tog skal udtages.

Den bedste Rettidighed⁴ opnås i afprøvning 7, men er dog minimal i forhold til afprøvning 6. Ses der udelukkende på rettidigheden er det strengt taget bedst at indsætte reservestammen ved forsinkelser større end 4 min. Da disse forsinkelser er tæt på acceptable, og tilmed ofte mulige at indhente, bruger vi i de resterende scenarier 5 min. som grænse for genopretningsmetode 2. Vi tager dermed ikke hensyn til hvor mange reserveindsættelser, der skal bruges.

10.2 Store forstyrrelser

Her undersøges forskellige scenarier, der kan skabe store forstyrrelser i togtrafikken. Først undersøges et scenarie for, hvordan simuleringsmodellen opfører sig ved total spærring af en station i morgenmyldretrafikken og eftermiddagsmyldretrafikken, hvor det må antages, at togtrafikken vil berøres mest af forstyrrel-

sen. Et scenarie med nedsat perronkapacitet på en station undersøges ligeledes, for at se hvordan simuleringsmodellen opfører sig ved dette. Sidst undersøges to scenarier for, hvordan togtrafikken påvirkes af en nedsættelse af den maksimale tilladte hastighed.

10.2.1 Spærring af station

Det undersøges hvordan togtrafikken påvirkes af, at Vedbæk station er spærret for al gennemkørsel. Vedbæk station er valgt, da alle tog kører forbi denne station; andre stationer mellem København H. og Nivå kunne også være valgt. Der undersøges særskilt for morgen- og eftermiddagsmyldretrafikken, da det er her, der er flest tog på skinnerne, og da forstyrrelsen således må antages at påvirke flest mulige tog.

Der afprøves følgende genopretningsmetoder:

1. Tog afgår efter 4 min., hvis det er ankommet forsinket til sin startstation.
2. Indsættelse af reservestamme på København H. ved forsinkelser fra Sverige.
3. Hvis en station er spærret, vendes tog på hver side af stationen og kører tilbage som det andet tog ville have gjort.
5. For tog forsinket mere end 19 min. aflyses materiellets efterfølgende afgang, hvis afgang ikke kan nås planmæssigt.
7. Aflysning af en afgang fra start af, og derved også afgang retur.
8. Tog vendes på Snekkersten før endestationen Helsingør, og kører derved rettidigt den modsatte vej.

Metoderne 1, 5 og 8 er altid til rådighed for modellen og bruges når visse grænseværdier er nået, se nærmere beskrivelse i afsnit 9.2.8. Metode 3 og 7 sættes til, når metoderne ønskes benyttet (afprøvning 2-6). Metode 2 vælges fra i de afprøvninger, hvor metoden ikke ønskes brugt (afprøvning 3 og 5). Metoderne 4 og 6 bruges ikke, da de ikke er interessante for afprøvningerne i dette scenarie.

10.2.1.1 Spærret kl. 7.30-9.30

Som det ses af afprøvning 1 og 2 i tabel 10.2, forbedres rettidigheden væsentligt ved at benytte genopretningsmetode 3 og 7, der netop er beregnet til problemet.

Afprøvning	Aktive Genop.	Rettidig-hed4	Rettidig-hed1	Pålidelig-hed
1. Ingen yderligere forstyrrelser	5	93	93	63
2. Ingen yderligere forstyrrelser	1,3,7	99	98	98
3. Forsinkelser fra Sverige	1,3,7	97	90	98
4. Forsinkelser fra Sverige	1,2,3,7	98	93	98
5. Forsinkelser fra Sverige og Jylland	1,3,7	97	91	98
6. Forsinkelser fra Sverige og Jylland	1,2,3,7	98	93	98

Tabel 10.2: Resultaterne fra afprøvningen af spærring af Vedbæk station i tidsrummet kl. 7.30-9.30

Genopretningsmetode 5 er brugt 8 gange i afprøvning 1, men forbedrer ikke direkte rettidighederne. Genopretningsmetode 1 er kun brugt på et enkelt tog i afprøvning 2, og har derfor heller ikke nogen reel indflydelse på rettidighederne.

Afprøvning 1 giver en dårlig pålidelighed, da mange tog må aflyses. Dette er ikke nødvendigt når genopretningsmetode 3 og 7 bruges i afprøvning 2, hvor kun tre tog aflyses. Den ene aflysning skyldes selve metoden, som parrer togene på begge sider af Vedbæk station. Se eventuelt forklaringen til figur 6.4. Toget med tognnummeret 1330 bliver overflødig om morgenen, da det ikke kan parres med noget tog. Toget aflyses derfor med metode 7 inden afgang fra Nivå station kl. 8.30, hvilket anses for realistisk, da der på dette tidspunkt har været spærret for Vedbæk station i en time, hvilket må være tids nok til at tage en beslutning om aflysning.

De to første afprøvnings i tabel 10.2 sammenlignes for at se hvor hurtigt togtrafikken er tilbage i balance efter forstyrrelsen. Dette er målt ud fra hvornår den sidste forsinkelse, efter spærringen er ophævet, er registreret i systemet. I afprøvning 1, hvor kun genopretningsmetode 5 bruges, kommer trafikken tilbage i balance $3\frac{1}{2}$ time efter spærringen er ophævet. Genopretningsmetode 5 har ingen indflydelse på, hvornår trafikken er tilbage i balance. I afprøvning 2, hvor genopretningsmetoderne 1, 3 og 7 bruges, kommer trafikken tilbage i balance 20 minutter hurtigere, dvs. efter 3 timer og 10 min. Umiddelbart virker dette ikke som en forbedring. Det er dog værd at bemærke, at den største registrerede forsinkelse i afprøvning 2 er 19 minutter, og at der i alt kun er 11 forsinkelser over 4 minutter, mens der i afprøvning 1 er 42 registrerede forsinkelser på over

en time og 51 forsinkelser på over 4 minutter, hvoraf den største forsinkelse er på 2 timer og 54 minutter.

Genopretningsmetode 1 bruges i dette scenarie i næsten alle afprøvningerne. Metoden har ikke den store indflydelse på rettidighederne, men forbedrer pålideligheden marginalt.

10.2.1.2 Spærret kl. 15.30-18.00

Afprøvning	Aktive Genop.	Rettidighed4	Rettidighed1	Pålidelighed
1. Ingen yderligere forstyrrelser	5	94	94	82
2. Ingen yderligere forstyrrelser	3,7	100	99	98
3. Forsinkelser fra Sverige	3,7	97	91	98
4. Forsinkelser fra Sverige	2,3,7	98	93	98
5. Forsinkelser fra Sverige og Jylland	3,7	97	91	98
6. Forsinkelser fra Sverige og Jylland	2,3,7	98	93	98

Tabel 10.3: Spærring af Vedbæk station i tidsrummet kl. 15.30-18.00

I tabel 10.3, ses resultaterne fra en spærring af Vedbæk station i tidsrummet 15.30-18.00. Om eftermiddagen aflyses toget med tognnummer 1373 kl. 15.53, dvs., 23 minutter efter spærringen er sat ind. Dette menes også at være muligt rent praktisk, som i tilfældet for spærring om morgenen.

For spærringen af Vedbæk station, gælder der for både morgen- og eftermiddagsmyldretidstrafikken, at når der påtrykkes forsinkelser fra Sverige, får det indflydelse på rettidigheden. Rettidigheden kan dog forbedres ved indsættelse af reservestammer på København H., altså ved brug af genopretningsmetode 2. Dette ses ved sammenligning af afprøvningerne 3 og 4, samt afprøvningerne 5 og 6. Rettidighed4 bliver et %-point bedre ved indsættelse af reservestamme, og hvis de små forsinkelser tages med i betragtningen, forbedres Rettidighed1 med to %-point.

Den første afprøvning i hver af tabellerne 10.2 og 10.3 giver temmelig dårlige resultater for pålideligheden. Dette skyldes først og fremmest, at der ikke er

noget, der forhindrer at togene holder på begge sider af Vedbæk station og venter i timevis, før de igen kan køre videre. Dette medfører mange aflysninger af de efterfølgende afgang, der skulle være kørt med det materiel, der holder ved Skodsborg og Rungsted station. I tilfældet med eftermiddagsspærring, er der naturligvis ikke så mange efterfølgende afgang, der kan aflyses, som der er i tilfældet med morgenspærring, da simuleringen kører fra kl. 00 til 24. Derfor den store forskel på 82 % og 63 %.

10.2.2 Nedsat perronkapacitet

Inspireret af DSBs prioriteringsregler, afprøves hvordan modellen opfører sig ved nedsat kanalkapacitet. Som tidligere beskrevet, er det ikke muligt, at vise nedsat kanalkapacitet mellem to stationer i modellen, pga. modellens udformning. Derfor undersøges hvordan togtrafikken påvirkes af, at der er nedsat perronkapacitet på en station. Denne situation kan opstå ved f.eks. sporarbejde eller lign.

Det undersøges hvordan togtrafikken på Kystbanestrækningen påvirkes af, at der er færre ledige perroner på Hellerup station, hvor alle tog på strækningen skal passere. Antallet af perroner er her normalt tre, så i afprøvningen sættes antallet til kun een, for at se om dette skaber problemer. Togfølgetiden øger vi fra $1\frac{1}{2}$ min. til 3 min., da trafikken i begge retninger skal deles om den samme perron. I afprøvningen er der nedsat perronkapacitet under hele simuleringen, dvs. i 24 timer.

Følgende genopretningsmetoder afprøves:

1. Tog afgår efter 4 min., hvis det er ankommet forsinket til sin startstation.
2. Indsættelse af reservestamme på København H. ved forsinkelser fra Sverige.
4. Tog prioriteres efter deres retning, hvis der er opstået kø foran en station med nedsat perronkapacitet.
5. For tog forsinket mere end 19 min. aflyses materiellets efterfølgende afgang, hvis afgang ikke kan nås planmæssigt.
8. Tog vendes på Snekkersten før endestationen Helsingør, og kører derved rettidigt den modsatte vej.

Metoderne 1, 5 og 8 er hele tiden til rådighed i afprøvningerne. Metode 2 vælges fra, når den ikke ønskes brugt (afprøvning 2, 3 og 6). Metode 4 vælges til,

når metoden ønskes brugt (afprøvning 3, 4 og 7). Metoderne 3, 6 og 7 er ikke interessante for afprøvningen.

Afprøvning	Aktive Genop.	Rettidighed4	Rettidighed1	Pålidelighed
1. Ingen yderligere forstyrrelser	-	99	94	100
2. Forsinkelser fra Sverige	-	97	86	100
3. Forsinkelser fra Sverige	4	97	86	100
4. Forsinkelser fra Sverige	2,4	97	88	100
5. Forsinkelser fra Jylland	-	99	94	100
6. Forsinkelser fra Sverige og Jylland.	-	96	86	100
7. Forsinkelser fra Sverige og Jylland.	2,4	97	88	100

Tabel 10.4: Tabel over afprøvningerne til nedsat perronkapacitet på Hellerup station.

Det fremgår af resultatet i afprøvning 1 i tabel 10.4, at nedsat perronkapacitet på Hellerup station, kun har en mindre indflydelse på togtrafikken på Kystbanestrækningen, hvis der ikke er yderligere forstyrrelser.

Det afprøves derfor, hvordan yderligere forstyrrelser påvirker situationen med nedsat perronkapacitet. Som det fremgår af afprøvning 2, forværres rettidighederne Rettidighed1 og Rettidighed4, hvis der yderligere er forsinkelser på Øresundstog fra Sverige. Afprøvning 3 viser, at genopretningsmetode 4, der prioriterer tog efter togets retning, hverken forbedrer eller forværrer rettidigheden i forhold til afprøvning 2, hvor der ikke genoprettes.

Ved at benytte genopretningsmetoderne 2 og 4, opnås rettidigheder for Rettidighed4 på 97 % og for Rettidighed1 på 88 %, se afprøvning 4 og 7.

Det ses ved sammenligning af afprøvning 3 og 4, at Rettidighed1 forbedres ved brug af genopretningsmetode 2. Genopretningsmetode 4 ser derimod ikke ud til at have en egentlig effekt på rettidigheden. Det ses ud fra sammenligning af afprøvning 3 og 2.

Det ses ved sammenligning af afprøvning 1 og 5, at forstyrrelser opstået i Jylland ikke har nogen effekt. Dog ses det ved sammenligning af afprøvning 2 og 6, at

forsinkelser fra Jylland har en mindre effekt på Rettidighed1.

10.2.3 Nedsat hastighed

Hvis Banedanmark nedsætter den maksimale tilladte hastighed pga. nedslidte skinner eller af andre sikkerhedsmæssige årsager, kan der opstå problemer i togtrafikken, da togene derved opholder sig længere tid på skinnerne, og da køreplanen ikke overholdes. Det betyder, at der kan opstå problemer, ved at tog kommer til at holde i kø.

De genopretningsmetoder der afprøves ved nedsat hastighed er:

1. Tog afgår efter 4 min., hvis det er ankommet forsinket til sin startstation.
2. Indsættelse af reservestamme på København H. ved forsinkelser opstået i Sverige.
5. For tog forsinket mere end 19 min. aflyses materiellets efterfølgende afgang, hvis afgangsen ikke kan nås planmæssigt.
6. Udtagning af myldretidstog.
8. Tog vendes på Snekkersten før endestation, og kører derved rettidigt den modsatte vej.

Metoderne 1, 5 og 8 er hele tiden til rådighed i afprøvningerne. Metode 2 skal vælges fra, hvis den ikke ønskes brugt (afprøvning 3 og 6). Metode 6 skal vælges til inden simuleringens start (afprøvning 2 og 8). Metode 3, 4 og 7 er ikke interessante for afprøvningerne, og benyttes derfor ikke.

Der undersøges for to tilfælde af nedsat hastighed, for en hastighedsbegrænsning på 80 km/t og på 75 km/t.

10.2.3.1 Nedsat hastighed til 80 km/t

Som beskrevet i afsnit 9.2.6.5, har tog på Kystbanestrækningen forskellig hastighed. Sættes den maksimale tilladte hastighed til 80 km/t, har dette betydning for de fleste tog.

Resultaterne for genopretningsmetoderne til denne afprøvning, kan ses i tabel 10.5. Det ses i tabellen, at en nedsættelse af den maksimale tilladte hastighed

Afprøvning	Aktive Genop.	Rettidig-hed4	Rettidig-hed1	Pålidelig-hed
1. Ingen yderligere forstyrrelser	-	77	63	100
2. Ingen yderligere forstyrrelser	6	78	64	94
3. Forsinkelser fra Sverige	8	72	56	100
4. Forsinkelser fra Sverige	2	76	58	100
5. Forsinkelser fra Jylland	-	77	63	100
6. Forsinkelser fra Sverige og Jylland.	-	73	55	100
7. Forsinkelser fra Sverige og Jylland.	2	76	58	100
8. Forsinkelser fra Sverige og Jylland.	2,6,8	77	58	94

Tabel 10.5: Tabel over afprøvningsne ved nedsat hastighedsbegrænsning til 80 km/t.

har stor indflydelse på rettidigheden. Uden yderligere forstyrrelser i trafikken, reduceres Rettidig-hed4 til 77 % og Rettidig-hed1 til blot 63 %, som det ses af afprøvning 1.

Afprøvning 2 viser at genopretningsmetode 6, der er beregnet til situationer med nedsat hastighed, forbedrer Rettidig-hed4 og Rettidig-hed1 med et enkelt %-point, der dog betyder en reducereing i pålideligheden til blot 94 %, da alle myldretidstog udtages.

Ved at sammenligne afprøvning 6 og 7, ses det igen, at genopretningsmetode 2 forbedrer rettidigheden. Rettidig-hed4 øges fra 73 % til 76 %, og Rettidig-hed1 øges fra 55 % til 58 %. Afprøvning 8 viser at genopretningsmetoderne 2, 6 og 8 tilsammen kun forbedrer rettidigheden lidt i forhold til afprøvning 7. Det meste af forbedringen kommer altså fra genopretningsmetode 2. Myldretidstog udtages i afprøvning 8, hvilket bevirker at pålideligheden reduceres til 94 %.

Genopretningsmetode 8 retter op på større forsinkelser, ved at vende rettidigt på Snekkersten station. Dette har en marginal negativ påvirkning af pålideligheden, men ses ikke af resultatet i afprøvning 3, der er afrundet.

Forsinkelser fra Jylland har ingen indflydelse som det fremgår ved sammen-

ligning af afprøvning 1 og 5 samt afprøvning 4 og 7.

10.2.3.2 Nedsat hastighed til 75 km/t

Tabel 10.6 viser en oversigt over resultaterne for afprøvning af genopretningsmetoder ved nedsat hastighed til 75 km/t. Denne nedsættelse har betydning for alle tog. Igen ses det, at nedsættelse af hastigheden har en stor indflydelse på ret-

Afprøvning	Aktive Genop.	Rettidighed4	Rettidighed1	Pålidelighed
1. Ingen yderligere forstyrrelser	-	74	48	100
2. Ingen yderligere forstyrrelser	6	75	49	94
3. Forsinkelser fra Sverige	-	71	41	100
4. Forsinkelser fra Sverige	2	73	43	100
5. Forsinkelser fra Jylland	-	74	48	100
6. Forsinkelser fra Sverige og Jylland.	-	71	40	100
7. Forsinkelser fra Sverige og Jylland	2	73	43	100
8. Forsinkelser fra Sverige og Jylland	2,6,8	74	44	94

Tabel 10.6: Tabel over afprøvninger ved nedsat hastighedsbegrænsning til 75 km/t.

tidigheden. Resultaterne giver som forventet generelt dårligere rettidighed end nedsat hastighed til 80 km/t. Afprøvning 1 viser, at uden yderligere forstyrrelser opnås en Rettidighed4 på 74 % og en Rettidighed1 på blot 48 %.

De laveste rettidigheder opnås i afprøvning 6, når yderligere forsinkelser fra Sverige og Jylland påtrykkes. Her giver Rettidighed4 71 % og Rettidighed1 blot 40 %. Forsinkede tog fra Jylland har altså en minimal indflydelse på Rettidighed1 i denne afprøvning, sammenlignet med afprøvning 3.

Afprøvningerne i tabel 10.6 viser samme tendens, som for afprøvningerne med nedsat hastighedsbegrænsning til 80 km/t. i tabel 10.5. Resultaterne i tabel 10.6 beskrives derfor ikke nærmere.

10.3 Advarsler

Simuleringsmodellen giver både visuelle og skriftlige advarsler undervejs i simuleringen. De skriftlige advarsler udskrives til et advarselsskema.

10.3.1 Advarselsskema

Simuleringsmodellen udskriver løbende et advarselsskema under kørslen. Hver gang en forsinkelse over et minut registreres i modellen, udskrives forsinkelsen til skemaet sammen med oplysninger om det tog, der er forsinket. Formålet er, at en driftsleder løbende skal kunne vurdere ud fra forsinkelsens størrelse og de øvrige oplysninger, om der kan opstå problemer som følge af forsinkelsen.

En beskrivelse af de oplysninger der findes i skemaet, kan ses i tabel 10.7.

Oplysninger der kan findes i advarselsskemaet	
Tognummer	Nummeret på det berørte tog.
Antal enheder	Antal vogne på toget.
Nuværende station	Den station forsinkelsen er registreret på.
Næste station	Angiver hvilken retning toget kører i.
Afvigelse	Hvor meget toget er forsinket.
Næste tog vogn1	Den næste afgang vogn1 skal køre.
Næste tog vogn2	Den næste afgang vogn2 skal køre.
Næste tog vogn3	Den næste afgang vogn3 skal køre.
Næste tog vogn4	Den næste afgang vogn4 skal køre.
Næste tog vogn5	Den næste afgang vogn5 skal køre.

Tabel 10.7: Beskrivelse af de informationer der er tilgængelige i advarselsskemaet.

Advarselsskemaet udskrives både til skærmen og til en fil. Et eksempel på skemaet udskrevet til en fil, ses i tabel 10.8. Af skemaet kan bl.a. aflæses, at afgang med tognummeret 2029 er forsinket 57 minutter ved ankomst til station 11 (Nivå), i retningen mod station 12 (Humblebæk). Toget har togkategorien 7 - dvs. at det er et Øresundstog. Der er to vogne på toget og de har forskellig næste afgang. Den ene vogn skal køre tognummer 2066, og den anden vogn skal køre tognummer 2040.

Tognr	Tog kat.	Antal enh.	Nuv. station	Næste station	Afv. [min]	Næste tog1	Næste tog2	Næste tog3
3028	9	5	5	4	124,79	4025	4025	4025
2029	7	2	11	12	57,29	2066	2040	0
2025	7	2	15	0	84,76	2036	2036	0
2028	7	2	5	4	122,24	1055	1039	0

Tabel 10.8: Eksempel på advarselsskemaet skrevet ud til en fil.

10.3.2 Andre advarsler

Når et tog ikke er afgang som planlagt, enten fordi det er blevet afflyst eller fordi materiellet ikke var til stede da toget skulle afgå, så kommer der et billede af toget på skærmen. Ved at klikke på dette billede fås oplysninger om tognummer, hvornår og hvorfra toget skulle være afgang og hvilke lokoførere, der skulle have kørt toget.

Det er ligeledes muligt løbende at holde øje med hvor meget materiel af hver type, der er tilstede på hver station, som ikke bliver brugt. En undtagelse er Kastrup station, der hele tiden har meget materiel, da Øresundstog mod Sverige opbevares her, i stedet for at køre til Sverige. Reelt set kører de fleste vogne, der ses i garagen (depotet) på animationen på Kastrup station, rundt i Sverige.

Diskussion

I dette kapitel diskuteres de opnåede resultater for afprøvningerne i kapitel 10, samt anvendelsen af det advarselsskema, simuleringsmodellen udskriver. Først diskuteres resultaterne for afprøvning af genopretningsmetoder til hverdagens forstyrrelser i afsnit 11.1. I afsnit 11.2 diskuteres resultaterne for afprøvninger af genopretningsmetoder til store forstyrrelser. Herefter diskuteres det, hvordan genopretningsmetoderne opfører sig generelt. Sidst diskuteres advarselsskemaet.

Ved bedømmelse af kvaliteten af togtrafikken bruges rettidighed og pålidelighed som mål. Der er vedtaget bestemte mål for, hvornår forsinkelser er acceptable. I Danmark er denne grænse på 5 minutter og 59 sekunder for DSBs tog, der gælder dog andre regler for eksempelvis S-tog. Forsinkelser over denne grænse er ikke acceptable, og betegnes derfor som ikke-rettidige. Vi har vedtaget en grænse på 3 minutter og 59 sekunder som målet for rettidigheden i projektet. Dette skyldes først og fremmest, at vi kun ser på Kystbanestrækningen, hvor togene kører med høj frekvens. I myldretiden kører der tog så ofte på strækningen, at vi ikke mener at 4 minutters forsinkelse eller derover er acceptabelt. I afprøvningerne har vi målt hvor mange tog, der er forsinket mindre end 4 min. (Rettidighed4). Desuden måles det hvor mange tog, der er forsinket mindre end 1 min. (Rettidighed1). Denne grænse er valgt for at give et billede af det totale antal tog, der er forsinket i netværket.

11.1 Hverdagens forstyrrelser

Genopretningsmetode 1 blev aldrig brugt i afprøvningerne for hverdagens forstyrrelser. Der skal altså større forsinkelser til, end dem der blev påtrykt, før der er behov for denne genopretningsmetode. I køreplanen er der minimum 11 min. mellem et tog ankommer til sin endestation, før det afgår fra stationen igen, den modsatte vej. Der skal således forsinkelser på minimum 11 min. til, før genopretningsmetoden tages i brug.

Det viste sig, at genopretningsmetode 2, med indsættelse af rettidig reservestamme på København H., gav den bedste rettidighed, hvis indsættelsen skete ved forsinkelser fra Sverige større end 4 min. Der er dog minimal forskel i rettidighederne i afprøvningerne 3-7 i tabel 10.1.

Der er til gengæld stor forskel på antallet af skift, der skal foretages afhængig af hvornår genopretningsmetode 2 aktiveres.

Der er en omkostning forbundet med indsættelse af reservestammen, da denne først skal køres på plads på København H., det forsinkede tog skal udtages og køres væk ved ankomst til København H., for derefter at blive ny reserve. Desuden skal passagerne, der sidder i det forsinkede tog, stå af på København H., og vente på det efterfølgende tog. Det går altså ud over de passagerer, der sidder i det forsinkede tog. Fordelen ved denne metode er dog, at reservestammen der indsættes rettidigt afgår som planlagt, og derfor ikke forstyrrer andre tog, der kører planmæssigt. Det forsinkede tog udtages først på København H., hvor mange passagerer må antages at skulle af, og hvor der desuden er mange andre alternative tog, bl.a. S-tog og regionaltog, der kan køre passagerne helt til Nivå station. Der er altså stadig gode muligheder for passagerne for at komme videre fra København H. uden større forsinkelser.

DSBs prioriteringsregler for Øresundsforbindelsen, siger at reservestammen skal indsættes ved forsinkelser fra Sverige på mere end 6 min. Det kan ikke konkluderes med sikkerhed ud fra resultaterne i afsnit 10.1, om DSB bør overveje at sænke denne grænse til 5 min. Resultaterne viste en mindre forbedring i rettidigheden, men viste til gengæld at der ved indsættelse af reservestamme efter 5 min. skal skiftes mellem reservestamme og det forsinkede tog 12 gange i løbet af dagen, mod 7 skift når indsættelsen sker ved forsinkelser større end 6 min. Det ene minuts forskel, har en minimal effekt på rettidigheden, men har derimod en stor effekt på antallet af indsættelser. I tilfældet med indsættelse efter en blot 4 minutters forsinkelse, kræves der 18 skift. Indsættelse efter 6 minutters forsinkelse reducerer antallet af skift med 11, hvilket er markant. Dette er en vigtig overvejelse i forbindelse med brug af genopretningsmetode 2.

11.2 Store forstyrrelser

I dette afsnit diskuteres resultaterne opnået for afprøvning af genopretningsmetoderne foretaget i afsnit [10.2](#).

11.2.1 Spærring af station

Genopretningsmetode 3 og 7 har vist sig at virke meget effektivt i tilfælde af en total spærring af en station. Vi har testet genopretningsmetoden på Vedbæk station i morgenmyldretiden 7.30-9.30 og i eftermiddagsmyldretiden 15.30-18.00.

Genopretningsmetoden overholder togfølgetiden ved både ankomst og afgang til perron. Metoden tager derimod kun begrænset hensyn til den plads, der er ved en station. Hvis alle perroner er optaget, kommer øvrige tog i en kø ved stationen; kølængden er ikke begrænset. Det er muligt for tog på stationen at komme forbi tog holdende i denne kø. Det antages, at dette kan lade sig gøre, da der er mindst to spor på hele strækningen. Der kan opstå problemer ved brug af denne metode, da der i nogle tilfælde kan blive et tog tilovers, hvis alle øvrige tog er parret. Det er nødvendigt at aflyse dette tog med genopretningsmetode 7, da det ellers optager en perron på stationen. I det virkelige system, kan der i øvrigt være problemer med at vende på nogle stationer.

Ved benyttelse af genopretningsmetode 7, skal der undersøges hvornår det tog, der aflyses, starter fra udgangsstationen, i forhold til hvornår det er kendt, at en aflysning er nødvendig. Det er svært at sige hvor lang tid, der er nok til en beslutning om aflysning af tog, men vi vurderer, at 20 minutter fra spærringen indtræder uvarslet, er tid nok.

Ved en nærmere analyse af afprøvning 1 og 2 i tabel [10.2](#) konstateres det, at systemet kommer relativt langsomt tilbage i balance når genopretningsmetode 3 benyttes, i forhold til ikke at bruge nogen genopretningsmetode. Til gengæld er der langt mindre og langt færre registrerede forsinkelser, når der bruges genopretning. Dette lægger op til en diskussion af forskellige succeskriterier for genopretning. Vi har brugt rettidighed og pålidelighed som mål. En anden mulighed er at søge efter en løsning med lav kompleksitet eller en løsning med få ændringer i systemet. Det mål DSBs driftsledere arbejder ud fra er at passagerne generes mindst muligt. Vi mener, at dette er svært at tage højde for i alle situationer. Ved indførelse af et BSS skal det derfor diskuteres i virksomheden hvilke mål, der arbejdes ud fra.

Genopretningsmetode 1 bruges aktivt i tilfældet med morgenspærring, i mod-

sætning til eftermiddagsspærring hvor metoden aldrig aktiveres. Dette kan skyldes, at materielbindingerne om morgenen er strammere, dvs. der er mindre vendetid på endestationer. Som det er læst i litteraturen, er morgenmyldretiden mere koncentreret i forhold til eftermiddagsmyldretiden.

11.2.2 Nedsat perronkapacitet

Overraskende er det, at uden yderligere forstyrrelser skabes der ingen større forsinkelser ved dette scenarie, på trods af, at der hele dagen kun er et ledigt spor på Hellerup station. Rettidighed4 er på 99 % og Rettidighed1 er på 94 %, som beskrevet i tabel 10.4. Det er overraskende, at der ikke opstår større forsinkelser, da alle tog skal forbi Hellerup station. Der er udover Hellerup station, desuden afprøves samme scenarie med nedsat perronkapacitet på andre stationer, både stationer med 2 og 3 spor. Udfaldet her, viste samme tendens som for Hellerup station.

Togfølgetiden er ved nedsat perronkapacitet hævet til 3 min., mod normalt kun $1\frac{1}{2}$ min. Det betyder, at der skal gå mindst 3 min., fra et tog kører ud fra perronen til det næste tog kører ind. Dette valg er baseret på, at tog i begge retninger skal deles om den samme perron, og at der derved er flere sikkerhedshensyn, der skal tages højde for.

Genopretningsmetode 4 gjorde ingen forskel på rettidigheden. Metoden er dog heller ikke beregnet til at forbedre rettidigheden, men derimod til at prioritere de tog med flest passagerer først.

11.2.3 Nedsat hastighed

Det ses tydeligt på resultaterne for afprøvningerne, at nedsættelse af den maksimale tilladte hastighed har stor indflydelse på rettidigheden, som det ses i tabellerne 10.5 og 10.6. Dette er dog ikke overraskende, da en hastighedsnedsættelse betyder at alle tog opholder sig længere tid på skinnerne, og altså ikke følger køreplanen.

Den laveste rettidighed opnås ved nedsat hastighed til 75 km/t, samt forsinkelser fra både Sverige og Jylland. Her bliver Rettidighed1 40 % hvilket viser, at mange tog forsinkes i forhold til køreplanen. Rettidighed1 bliver altså meget lav, når den tilladte hastighed nedsættes. Dette er da også forventet, da køreplanen på Kystbanestrækningen ikke er udarbejdet med så meget buffertid, at det muligt at indhente større forsinkelser undervejs.

Genopretningsmetode 6, der udtager myldretidstog for på den måde at gøre mere plads til de resterende tog ved hastigheds nedsættelse, har i de foretagne afprøvninger kun vist en lille forbedring i rettidighed. I metoden er det kun muligt at udtage alle myldretidstog, og ikke kun nogle specifikke. Metoden giver en markant lavere pålidelighed, som muligvis kan forbedres, hvis det er muligt kun at udtage de myldretidstog, der forstyrrer andre tog. Det er overraskende, at metoden ikke forbedrer rettidigheden yderligere, men skyldes formentlig at forsinkelserne er så store i scenariet, at det ikke hjælper at tage 15 tog ud.

11.3 Generelt

I genopretningsmetode 8, hvor tog vendes på Snekkersten station før den planlagte endestation Helsingør, kunne der lige så godt være valgt en anden station. Snekkersten station er valgt for at afprøve metoden, og da det så "kun" er passagererne på Helsingør station samt de passagerer, der skal af i Helsingør, det går ud over. Vi antager, at der er rimelig gode forhold for at rejse mellem Snekkersten og Helsingør via andre transportveje, da der mellem stationerne desuden kører en lokalbane. Det er desuden antaget at Snekkersten station, trods alt er en bedre station at vende på end eksempelvis Tårnby, hvor mange passagerer skal videre til Sverige eller Kastrup.

Efter samtale med DSB, er det dog erfaret at Snekkersten station ikke er den bedste station at vende på, da Helsingør er DSBs største passagermæssige station nord for Østerport. En vending på Snekkersten vil altså have betydning for mange af DSBs passagerer. Vi mener, at metoden er effektiv til at rette op på forsinkelser og forbedre rettidigheden, men at metoden ikke er venlig overfor de passagerer der sidder i det forsinkede tog.

En høj rettidighed og pålidelighed er vigtig for togoperatører, da det er disse tal, togoperatørerne måles på, af passager og af Transport- og Energiministeriet. I modellen er genopretningsmetoderne designet så rettidigheden prioriteres højere end pålideligheden. Der aflyses kun tog, hvis det er nødvendigt, for at systemet kan fungere planmæssigt. Ideen er at opretholde en høj rettidighed ved at udtage nogle tog. Hvis der derimod arbejdes med en strategi, hvor der skal undgås at aflyse tog, er der ikke mange muligheder for genopretning, udover genopretningsmetode 1, der forhindrer aflysninger ved at tillade en for sen afgang.

I tabel 11.1 er opgjort hvilken kortsigtet effekt hver af genopretningsmetoderne har på hhv. rettidighed og pålidelighed i forhold til ikke at blive brugt. Det kan godt være at en metode, der aflyser et eller flere tog, kortsigtet giver en dårlig pålidelighed, men langsigtet kan det betyde færre aflysninger end hvis

den ikke var blevet brugt. Det ses i tabellen, at de fleste metoder har en positiv effekt på rettidigheden og en negativ effekt på pålideligheden. Af de metoder vi har afprøvet, er det kun indsættelse af reservestamme på København H. og prioritering af tog ved nedsat perronkapacitet, der ikke kræver aflysning af tog. Derudover er genopretningsmetode 1 den eneste metode der rent faktisk forbedrer pålideligheden.

Genopretningsmetoder	Effekt på rettidighed	Effekt på pålidelighed
1. Tog afgår 4 min. senere end planlagt	negativ	positiv
2. Indsættelse af reservestamme på Kbh. H.	positiv	neutral
3. Tog vendes på hver side af stationen	positiv	negativ
4. Tog prioriteres efter deres retning	negativ-neutral	neutral
5. Forsinkelse > 19 min. medfører aflysning	neutral-positiv	negativ
6. Udtagning af myldretidstog	positiv-neutral	negativ
7. Aflysning af afgang, samt afgangens retur	positiv	negativ
8. Tog vendes på Snekkersten	positiv	negativ

Tabel 11.1: Genopretningsmetodernes *kortsigtede* effekt på rettidighed og pålidelighed

Forsinkelser påtrykt tog fra Jylland forværrer generelt ikke togtrafikken på Kystbanestrækningen. Dette kan skyldes, den måde afstandene mellem Korsør og København er modelleret på. Afstandene mellem stationerne på strækningen mellem Korsør og København er modelleret efter det hurtigste tog på strækningen. Da hastigheden på togene på strækningen desuden ikke er præciseret, kan det betyde, at tog fra Jylland kan indhente forsinkelser mellem Korsør og København.

Selvom InterCity-, Lyn-, Regional- og Øresundstog deles om strækningerne København H. - Østerport samt København H. - Kastrup, som det ses på figur 3.1, har forsinkelser fra Jylland reelt ingen indflydelse på disse afprøvninger. Det er ofte muligt at indhente mindre forsinkelser fra Korsør til København H. i den virkelige trafik. Store forsinkelser på InterCitystrækningerne vil ofte indhentes ved at lade toget vende på København H. i stedet for i Kastrup eller på Østerport station, og undgår derved at genere Kystbanetrafikken.

I scenariet med nedsat maksimal hastighed til 75 km/t, er der i afprøvning 3 og 6 i tabel 10.6, tegn på at forsinkelser fra Jylland sammen med forsinkelser fra Sverige har indflydelse. Ved at sammenligne afprøvningerne 1 og 5 i tabellerne 10.5 og 10.6 ses det, at forsinkelser fra Jylland alene ikke har indflydelse på rettidigheden. Det kan være at forsinkelser fra Jylland har en indflydelse sammen med forsinkelser fra Sverige, men det kan ikke udelukkes, at det er en

tilfældighed, da tendensen ikke vurderes at være tydelig nok.

11.4 Diskussion af advarselskema

Advarselskemaet præsenterer nyttig information til driftslederne ved opståede forstyrrelser, og er således en simpel form for beslutningsstøtte. Efter samtale med en driftsleder fra DSB, er det erfaret, at et sådan advarselskema kan være et nyttigt hjælpeværktøj i forstyrrede situationer. Et advarselskema kan især bruges til at gøre opmærksom på mindre forstyrrelser og i tide opdage, hvis en mindre forstyrrelse medfører større problemer. Skemaet kan derved hjælpe driftslederne med at forhindre sekundære forsinkelser.

Advarselskemaet kan kun håndtere de første fem vogne på et tog, men i de få tilfælde med mere end fem vogne, vil de sidste vogne ofte have samme næste tur, som en eller flere af de første vogne. Af skemaet er det ikke muligt, at aflæse hvor lang tid der er til den næste binding, altså hvornår materiel eller lokofører skal bruges igen til en anden opgave. Det er heller ikke muligt at aflæse et togs tilslutninger i løbet af dagen. De nuværende medarbejdere i Driftscenter Danmark, har en så stor togviden, at de ikke behøver detaljerede oplysninger om alt. F.eks. behøver en driftsleder blot at få tognnummeret oplyst, for at vide hvorfra toget afgår og hvornår, da køreplanerne kendes udenad.

Under et besøg i DSBs Driftscenter Danmark erfarede det, at en driftsleder, få dage forinden havde modtaget et program, der kan generere et advarselskema. Advarselskemaet er inspireret af dette projekt. Driftslederen var overrumplet over alle de informationer, der var tilgængelige i skemaet, og mente derfor ikke at skemaet var en hjælp. Efter en nærmere gennemgang med os erkendte han dog, at alle oplysninger var væsentlige og brugbare.

Det erfarede også, at der er stor forskel på hvilke oplysninger forskellige driftsledere har brug for, og finder nyttige. Det er altså vigtigt, at en driftsleder selv kan vælge hvilke oplysninger, der skal være synlige. Hvis et advarselskema introduceres som beslutningsstøtte, skal det være muligt for den enkelte driftsleder, at vælge hvilke informationer skemaet skal indeholde, så driftslederen har præcis den information den pågældende driftsleder har brug for.

Det udviklede advarselskema kan være et første skridt på vejen mod et egentligt beslutningsstøttesystem til den operationelle planlægning. Skemaet kan tilpasses den enkelte driftsleder, så der kun vises de oplysninger, driftslederen mener, er en hjælp.

De figurer, der kommer frem på animationen, når et tog ikke er afgangstid, er en god hjælp til at give en driftsleder overblik over situationen. Ved at klikke på toget, fås oplysninger om toget, så driftslederen får de nødvendige oplysninger. Ved besøg i Driftcenter Danmark fik vi ros fra en driftsleder, der mente at denne visuelle advarsel var en god ide.

Fremtidigt arbejde

I dette kapitel gennemgås hvilke udvidelser, der er nærliggende at implementere i modellen. Kapitlet afsluttes med forslag til yderligere afprøvninger af de implementerede genopretningsmetoder.

12.1 Simulering

Arena er valgt som simuleringsprogram, da dette var tilgængeligt, men andre simuleringsprogrammer kunne ligeledes være valgt. Arena er et Windowsbaseret program, der er et oplagt valg f.eks. når data er på Excel-form.

Hvis simulering skal bruges i forbindelse med et BSS kan det bruges til at vise effekten af en løsning foreslået af systemet. En animation skal kunne tilpasses efter de forskellige driftslederes ønsker. Det er nemlig erfaret gennem flere samtaler med en driftsleder, at det er vigtigt, at de informationer der er tilgængelige i animationen, er nemme at finde, men uden nødvendigvis at være synlige hele tiden. En måde at undgå overflødig information, er f.eks. ved at gøre, som i vores simuleringsmodel, hvor alle tog i netværket hele tiden er synlige, og hvor man når som helst kan få detaljerede oplysninger om et tog eller en station, ved blot at klikke på det ønskede objekt. Animationen kan derfor udvides til at inde-

holde muligheden for at gemme nogle oplysninger, så længe disse er overflødige. Således, at oplysninger kun er synlige i animationen, når de er relevante.

Som beskrevet i kapitel 4 kan simulering benyttes som et læringsværktøj. Nogle forstyrrelser i togtrafikken er på forhånd kendte, som f.eks. sporarbejde. Hvis en togoperatør ved at der sporarbejde mellem to stationer den efterfølgende dag, kan *vores simuleringsmodel udvides* til at kunne vise hvordan sporarbejdet påvirker systemet, og eventuelt afprøve hvilke genopretningsmetode der kan afhjælpe situationen.

12.2 Udvidelse af modellen

Som beskrevet i kapitel 4 er den udviklede simuleringsmodel på et makroskopisk detaljeringsniveau, pga. diverse antagelser. Ønskes simuleringsmodellen derimod på et mikroskopisk detaljeringsniveau, er det nødvendigt at modellen indeholder flere detaljer om infrastrukturen og andre togforhold.

Modellens detaljeringsniveau kan øges ved f.eks. at implementere blokafsnit mellem alle stationer, signaler, sporskifte mm. Disse tekniske detaljer er nødvendige for en togoperatør, hvis modellen skal bruges til at vise hvordan togtrafikken reelt forløber. Generelt vil disse detaljer forbedre muligheden for at modellen vil kunne håndtere, hvad der sker mellem stationer og ikke kun på stationer. En anden detalje, der vil være vigtig i en videreudvikling af modellen, er at sætte hastigheden efter materieltype og ikke efter tognummer. Derudover er det nærliggende at præcisere afstande og hastigheder i modellen, da de i den nuværende model, kun er tilnærmet virkeligheden.

I forhold til materielhåndteringen, vil det være nyttigt, med en mulighed for at afkoble en eller flere vogne undervejs på en rute. Dette ville øge fleksibiliteten i materielomløbet, og gøre det muligt at udnytte vognene på de rigtige steder på de rigtige tidspunkter.

Det er interessant at undersøge andre succeskriterier for genopretning, da rettidighed og pålidelighed ikke giver det fulde billede af trafikafviklingen. Dette vil kræve en nærmere defineret fra DSBs side af mål for genopretning.

12.2.1 Advarselsskema

Advarselsskemaet, der er udviklet i dette projekt, indeholder de kun de vigtigste oplysninger. Der mangler mere præciseret information om tilslutninger, tid til næste materiel- eller lokoførerbinding, passagerovergangstider, vendetid mm., så en driftsleder altid ved hvor lang tid, der er til næste binding. Disse udvidelser vil nemt kunne tilføjes advarselsskemaet, og vil ikke kræve en ændring af modellen.

12.2.2 Personale

Der foretages ikke genopretning af lokoførere i den nuværende model. I en udvidelse af modellen er det ikke tilstrækkeligt kun at se på genopretning af materiel. Da personalet i den virkelige verden spiller en stor rolle i togdriften, og dermed i en genopretningsfase, er det vigtigt, at personalet inddrages i modellen.

Hos DSB, foregår disponering af personale i forbindelse med forstyrrelser meget ad hoc og ikke efter nøjere fastlagte planer. DSB bør overveje at se på denne problemstilling i forbindelse med genopretning efter forstyrrelser.

12.3 Fremtidige afprøvninger

- Det er interessant at se hvor stor indflydelse forskellige værdier af togfølgetiden før indkørsel til perron, i forbindelse med genopretningsmetode 4, har.
- Det vil være nærliggende at implementere genopretningsmetode 1 for alle materieltyper og ikke kun for litra 9, 11 og 12, da en togoperatør altid vil foretrække, at et tog afgår selvom toget er forsinket 4 min., i forhold til at det aflyses.
- I genopretningsmetode 2 indsættes en rettidig reservestamme, når et Øresundstog fra Sverige er forsinket. I modellen holdes ikke styr på hvor mange reservestammer, der er tilgængelige, men der er ubegrænset mængde af reservestammer til indsættelse, som beskrevet i afsnit 9.2.8.2. Det kan implementeres i modellen, at der holdes styr på hvornår et tog, der er udtaget på København H. igen er klar til indsættelse. Ligeledes er det nærliggende at udvide genopretningsmetode 2, så der også indsættes rettidige reservestammer mod Sverige, som DSB gør i dag. Dette vil kræve nogle få ændringer i modellen, og vil altså være en overkommelig tilføjelse.

- Genopretningsmetode 5, der aflyser et Øresundstog fra Helsingør og returafgangen fordi det forgående tog er over 19 minutter forsinket, kan evt. kombineres med genopretningsmetoden, der indsætter en reserve på København H., således at returafgangen ikke aflyses. Det er også en mulighed at implementere en genopretningsmetode lignende DSBs metode med at lade Kystbanetogene (Nivå-Kastrup) køre helt til Helsingør og lade Øresundstoget vende i Nivå, når et Øresundstog er meget forsinket, se afsnit 6.1.2.
- Genopretningsmetode 8 afprøves på f.eks. Nivå station i stedet for Snekkersten.
- Genopretningsmetode 6, der udtager myldretidstog før simuleringen begynder, kan modelleres så det er muligt kun at udtage enkelte myldretidstog i stedet for alle på en gang. Hvis der kun udtages de myldretidstog, der forstyrrer andre tog, vil det betyde at pålideligheden forbedres. Metoden kan også udvides så det er muligt at udtage myldretidstog undervejs i løbet af simuleringen, og ikke kun fra starten af. Ligeledes kan genopretningsmetode 6 udvides, så der ved nedsat hastighed, først udtages myldretidstog når rettidigheden f.eks. er lavere end 90 %, hvilket er den grænse DSB har som mål i 2006. Ved at ændre metoden til dette kan det måske også undgås at udtage tog, der ikke forstyrrer andre.
- Tildeling af forsinkelser på flere stationer end blot ved ankomst til Kastrup (for Øresundstog) og Korsør (for InterCity- og Lyntog) for at gøre systemet mere dynamisk.

Konklusion

Vi har i projektet udviklet en prototype på et BSS, der kan give advarsler ved forstyrrelser, så forstyrrelser derved hurtigere opdages med mulighed for at forhindre akkumuleringer af forsinkelser i systemet. Vi har udarbejdet prototypen som en simuleringsmodel i Arena, der indeholder DSBs sjællandske jernbanenet, alle materielbindinger, også uden for Sjælland, samt lokoførerturplaner. Modellen opfører sig som forventet. Der er desuden implementeret otte forskellige genopretningsmetoder, dels for at teste modellen i forstyrrede situationer og dels for at teste metodernes funktionalitet. Det har vist sig, at modellen også i forstyrrede scenarier agerer som forventet.

Det er overraskende at, der er så stor en forskel i antallet af skift på trods af en forskel på bare to minutter, for hvornår reservestammen indsættes med genopretningsmetode 2. I afprøvning af genopretningsmetode 3 erfarede det, at det er muligt at genoprette effektivt selv med en voldsom forstyrrelse, som en $2\frac{1}{2}$ times total spærring af en station. Her opnås ved benyttelse af genopretningsmetode 3 og 7 en rettidighed på 100 % og en pålidelighed på 98 %. De øvrige genopretningsmetoder virker også efter hensigten, og metoderne giver generelt gode resultater for både rettidighed og pålidelighed.

Til at skaffe viden om BSS, operationel planlægning, simulering og togtrafik generelt, har vi udført et litteraturstudie, talt med Banedanmarks trafikstyringschef, besøgt en driftsleder og været knyttet til DSBs afdeling for Trafikkvalitet.

Vi mener, at der er behov for at forbedre den operationelle disponering hos DSB. Først og fremmest er der behov for nemmere adgang til informationer. Det kan i første omgang være i form af et forholdsvist simpelt system, der kan give detaljerede informationer om materiel og personale til ethvert tidspunkt. Således at DSBs driftsledere kan få bedre styr på, hvor lokoførere og materiel befinder sig til bestemte tidspunkter. Vi mener, at DSB skal videreudvikle et advarselsskema, som det i projektet, da vi ser stort potentiale i advarselsskemaets anvendelsesmuligheder.

Når alting er kaos i togtrafikken, som følge af en pludselig og uventet forstyrrelse, hvilket sker en gang imellem hos DSB, har DSBs driftsledere svært ved at genoprette trafikken. Dette skyldes bl.a., at der kræves mange opkald til alle implicerede parter for at få et overblik over situationen, da informationerne ikke er tilgængelige et samlet sted. I dag har DSB principplaner til at håndtere kaotiske situationer, men vi mener ikke principplaner kan bruges effektivt uden et bedre informationssystem. Vi mener principplanerne *sammen* med en udbygning af et informationssystem er et godt og billigt alternativ til en investering i et BSS.

Ved at bruge simulering i et BSS, giver vi brugeren nogle fordele i den visuelle fremstilling af netværket. Der er også nem adgang til informationer via brugergrænsefladen. Ulempen ved brug af simulering er, at simuleringen ikke er effektiv hvis den bruges alene. Der skal køres mange kørsler med forskellige løsninger til et problem før brugeren kan sammenligne løsningernes effektivitet. Det er også påkrævet, at brugeren selv finder en løsning, der kan afprøves i simuleringen, da programmet ikke selv kan give løsningsforslag. I forbindelse med videreudvikling af principplaner, kan vores simuleringsmodel bruges til at afprøve disse. Simulering viser effekten af en principplan og giver mulighed for at teste forskellige parametre i principplanen.

En anden mulighed for DSB er at investere i et automatiseret BSS. Sådan et system skal, udover at kunne give detaljerede informationer om materiel og personale til ethvert tidspunkt, kunne give flere alternative løsninger i forbindelse med en forstyrrelse som driftslederen så kan vælge mellem.

Vi mener at et BSS til togindustrien skal være i stand til at finde hurtige og brugbare løsninger. Det skal så herefter være op til driftslederen at træffe de endelige valg ud fra erfaring og hjælp fra systemet. Løsningen skal være god på kort sigt, da yderligere forstyrrelser kan indtræffe, og dermed spolere den strategi, der er under udførelse.

I kombination med en heuristik eller et matematisk optimeringsprogram er vi overbeviste om, at den udviklede simuleringsmodel vil være et nyttigt redskab til beslutningsstøtte i den operationelle planlægningsfase.

Stationer i modellen

Stationsnr i Arena	Station
1	København H.
2	Nørreport
3	Østerport
4	Helgoland
5	Hellerup
6	Klampenborg
7	Skodsborg
8	Vedbæk
9	Rungsted Kyst
10	Kokkedal
11	Nivå
12	Humlebæk
13	Espergærde
14	Snekkersten
15	Helsingør

Tabel A.1: Tabel over stationer i modellen.

Stationsnr i Arena	Station
16	Valby
17	Hvidovre
18	Glostrup
19	Høje Tåstrup
20	Hedehusene
21	Trekroner
22	Roskilde
23	Lejre
24	Hvalsø
25	Tølløse
26	Vipperød
27	Holbæk
28	Kalundborg
29	Viby Sjælland
30	Borup
31	Kværkeby
32	Ringsted
33	Fjenneslev
34	Sorø
35	Slagelse
36	Forlev
37	Korsør
38	Kalvebod
39	Ørestad
40	Tårnby
41	Kastrup (Cph)
42	Næstved
43	Vordingborg
44	Nykøbing Falster
45	Rødby
46	Gedser
47	Glumsø
48	Køge
49	Jylland
50	Tyskland
51	Sverige

Tabel A.2: Tabel over stationer i modellen.

BILAG B

Variable i modellen

Variabel	Beskrivelse
VarSekvens	Køreplanen, beskrevet i kapitel 8
VarRute	Angiver hvilken søjle i VarSekvens der indlæses fra. Sættes lig med AttRute, og optælles herefter med fire, da hver afgang indeholder fire søjler i VarSekvens.

Tabel B.1: Tabel over de vigtigste variable i modellen

Variabel	Beskrivelse
VarMaterielplan1	Materielplan for litra1-2, beskrevet i kapitel 8
VarMaterielplan3	Materielplan for litra3-5
VarMaterielplan6	Materielplan for litra6
VarMaterielplan7	Materielplan for litra7
VarMaterielplan9	Materielplan for litra9
VarMaterielplan10	Materielplan for litra10
VarMaterielplan11	Materielplan for litra11-12
VarSnekkersten	Bruges i genopretningsmetode 8, til at sende besked til 'Garager' modulet om hvilket tog, der vender på Snekkersten station
VarTogAflysesFraStart	Hvis et tog skal aflyses fra start, skal denne variabel, inden simuleringen begyndes, sættes lig med nummeret på det tog, der skal aflyses. Jvf. genopretningsmetode 5.
VarNedsatKapacitet	For at bruge genopretningsmetode 4, skal denne variabel sættes lig med nummeret på den station, der har nedsat kapacitet.
VarSpærret	For at bruge genopretningsmetode 3, skal denne variabel sættes lig med nummeret på den station, der er spærret.

Tabel B.2: Tabel over de vigtigste variable i modellen

Afstande mellem stationerne på Kystbanestrækningen

Station i Arena	41	40	39	38	1	2	3	4	5	6
41		175								
40	200		75							
39		75		75						
38			95		250					
1				180		150				
2					125		125			
3						150		120		
4							110		80	
5								140		225
6									225	
7										200

Tabel C.1: Tabel over afstande mellem stationerne på kystbanen i 100 feets/min

Afstandene er beregnet ud fra køretiderne i køreplanen. Når afstanden er forskellig afhængig af hvilken retning man kører mellem to stationer, betyder det dermed, at der er forhold, der gør at køretiden mellem to stationer er forskellig afhængig af retningen.

Station i Arena	7	8	9	10	11	12	13	14	15
6	200								
7		125							
8	125		125						
9		125		125					
10			125		175				
11				125		125			
12					150		175		
13						150		125	
14							125		175
15								175	

Tabel C.2: Tabel over afstande mellem stationerne på kystbanen i 100 feet/min

BILAG D

Antal perroner på stationer i modellen

Stationsnr i Arena	Station
København H.	8
Nørreport	2
Østerport	4
Helgoland	2
Hellerup	3
Klampenborg	4
Skodsborg	2
Vedbæk	2
Rungsted Kyst	3
Kokkedal	2
Nivå	3
Humlebæk	2
Espergærde	2
Snekkersten	3
Helsingør	3

Tabel D.1: Tabel over antal perroner på stationerne

Stationsnr i Arena	Station
Valby	2
Hvidovre	2
Glostrup	3
Høje Tåstrup	6
Hedehusene	4
Trekroner	4
Roskilde	7
Lejre	2
Hvalsø	2
Tølløse	2
Vipperød	2
Holbæk	3
Kalundborg	4
Viby Sjælland	2
Borup	3
Kværkeby	2
Ringsted	7
Fjenneslev	2
Sorø	3
Slagelse	5
Forlev	2
Korsør	4
Kalvebod	3
Ørestad	2
Tårnby	2
Kastrup (Cph)	4
Næstved	6
Vordingborg	3
Nykøbing Falster	6
Rødby	3
Gedser	2
Glumsø	2
Køge	5

Tabel D.2: Tabel over antal perroner på stationerne

Togfølgetider i modellen

Stationsnr i Arena	Station
København H.	120
Nørreport	120
Østerport	120
Helgoland	150
Hellerup	150
Klampenborg	150
Skodsborg	180
Vedbæk	180
Rungsted Kyst	180
Kokkedal	180
Nivå	180
Humblebæk	180
Espergærde	180
Snekkersten	180
Helsingør	180

Tabel E.1: Tabel over togfølgetiderne, der bruges i modellen

De lave togfølgetider mellem Roskilde og Høje Taastrup skyldes, at der her er fire spor. Der kan altså køre to tog i samme retning uden problemer.

Stationsnr i Arena	Station
Valby	120
Hvidovre	120
Glostrup	120
Høje Tåstrup	10
Hedehusene	10
Trekroner	10
Roskilde	30
Lejre	180
Hvalsø	180
Tølløse	180
Vipperød	180
Holbæk	180
Kalundborg	180
Viby Sjælland	180
Borup	90
Kværkeby	180
Ringsted	180
Fjenneslev	180
Sorø	180
Slagelse	120
Forlev	180
Korsør	180
Kalvebod	150
Ørestad	150
Tårnby	150
Kastrup (Cph)	180
Næstved	180
Vordingborg	180
Nykøbing Falster	180
Rødby	180
Gedser	180
Glumsø	180
Køge	180

Tabel E.2: Tabel over togfølgetiderne, der bruges i modellen

Litteratur

- [1] Abbink, E., van der Berg, B., Kroon, L. & Salomon, M.
Allocation of Railway Rolling Stock for Passenger Trains, 2002.
- [2] Atkins, DSB & Banestyrelsen
Notat om beslutningsstøttesystem, marts 2001.
- [3] Banedanmark
Banedanmarks netredegørelse for 2006, hentet fra: www.bane.dk, november 2005.
- [4] Banedanmarks Hjemmeside
www.bane.dk.
- [5] Jens Clausen
Teknikker i IT-støttet beslutningstagen, Effektivitet, Dansk Rationaliserings Forening, september 2005.
- [6] Cordeau, J.F., Toth, P. & Vigo, .
A Survey Of Optimization Models For Train Routing And Scheduling, 1998, Transportation Science, 0041-1655.
- [7] DSB
Årsrapport 2004, hentet fra www.dsb.dk, november 2005.
- [8] DSB Hjemmeside
www.dsb.dk.
- [9] DSB Intranet
intranet.dsb.dk.

- [10] Fioole, P. J., Kroon, L., Mareti, G. & Schrijver, A.
A Rolling Stock Circulation Model for Combining and Splitting of Passenger Trains, 2004.
- [11] Freling, R., Lentink, R., Kroon, L. G. & Huisman, D.
Shunting of Passenger Train Units in a Railway Station, 2003.
- [12] Hellström, P., Frej, I. & Gideon, A.
Algorithms and Control Systems for ComputerAided Train Dispatching, World Congress on Railway Research, 16-19 November 1997, Florence, Italy. Proceedings volume C, pp. 613-619.
- [13] Hofman, M. & Madsen, L.
Robustness in train scheduling, Master Thesis at IMM, DTU 2005.
- [14] Hooghiemstra, J. S. & Teunisse, M. J. G.
The use of Simulation in the Planning of the Dutch Railway services, Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference.
- [15] Huisman, D., Kroon, L. G., Lentink, R. M. & Vromans, M. J. C. M.
Operations Research in Passenger Railway Transportation, 2005.
- [16] Kelton, W. D., Sadowski, R. P. & Sturrock, D. T.
Simulation with Arena, 3. udgave 2004, ISBN 0-07-121933-1.
- [17] Komaya K. & Fukuda, T.
ESTRAC-III: An expert system for train traffic control in disturbed situations- selected papers from the IFAC/IFIP/IFORS Symposium Pergamon (pp 147-153), Oxford, United Kingdom, 1989.
- [18] Kvist, T., Hellström, P., Sandblad, B. & Byström, J.
Decision support in the train dispatching, 2002.
- [19] Landex, A.
Togsimulering 2004, Undervisningsmateriale med udgangspunkt i Anders Kaas & Sten Hansens ph.d.-afhandling, 2004.
- [20] Oliveira, R. C.
Optimisation of rail system operations: contribution of computational models and instruments, 1993. Rail International (October 1993).
- [21] Ostermann, N., Schöbel, A., Oster, M. & Messauer, C.
Anwendungen der Betriebssimulation im Eisenbahnwesen, (eng: Simulation of railway networks), E und I Elektrotechnik und Informationstechnik, Vol. 122, Nr. 4, 2005.
- [22] Peeters, M. & Kroon, L.
Circulation of Railway Rolling Stock: A Branch-and-Price approach, 2003, <http://hdl.handle.net/1765/902> .

- [23] Power, D. J.
DSSResources.COM, <http://DSSResources.COM>, 16. januar 2006.
- [24] Circulación RENFE & Universidad Politécnica de Valencia.
MOM: An automated support tool for railway timetabling, 2005
- [25] Rongfang, L.
Long Range Rolling Stock Planning using Computer Simulation Models, IEEE System Man, and Cybernetics Annual Conference. Tucson, Arizona. October 7-10, 2001.
- [26] de Schutter, B., van den Boom, T. & Hegyi, A.
A Model predictive control approach for recovery from delays in railway systems, Proceedings of the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, January 2002. Paper no. 02-2707.
- [27] Šotek, K., Bachratý, H., Ružbarský, J. & Tavač, V.
New Real Environment Simulation Models On Railway Network, *Kommunikácie Communications* 4/2003.
- [28] Steria
<http://www.steria.com/home/index.htm>, januar 2006.
- [29] Stojković, M. & Soumis, F.
An Optimization Model for the Simultaneous Operational Flight and Pilot Scheduling Problem, 2001.
- [30] Tessella
e.Metronet_BCV_Decision_Support_System,
hentet fra siden: <http://www.tessella.com/Events/demos.htm> 23. januar 2006.
- [31] Walker, C. G., Snowdon, J. N. & Ryan, D. M.
Simultaneous disruption recovery of a train timetable and crew roster in real time, 2005.
- [32] Wikström, J., Kauppi, A., Hellström, P., Andersson, A. W. & Sandblad, B.
Train traffic control by re-planning in real-time, COMPRAIL 2004, Dresden, Germany, may 2002. Proceedings of Comprail 2004, Wessex Institute of Technology, 2004.
- [33] Zwaneveld, P. J., Kroon, L. G., Romeijn, H. E., Salomon M., Dauzere-Peres, S., van Hoesel, S. P. M. & Ambergren, H. W.
Routing Train Through Railway Stations: Model Formulation and Algorithm, 1996.