

Multimetodologi  
i et lokaliseringsproblem  
- strukturering og optimering

Hanne Løhmann Petersen, s991021  
Siri Erika Kjems Skuldbøl, s991063

LYNGBY JUNI 2004  
EKSAMENSPROJEKT  
NR. 43

**IMM**

## Forord

Dette projekt er resultatet af et samarbejde med Post Danmark om et lokaliseringsproblem for pakkecentre i Nordsjælland.

Valget at udarbejde vores eksamensprojekt i samarbejde med en virksomhed har for vores vedkommende været meget naturligt, idet vi nærrede et ønske om at få lov til at udøve nogle af de teoretiske færdigheder, vi har tilegnet os gennem studietiden i praksis.

Kontakten til netop denne virksomhed skete gennem vores personlige netværk, som er etableret gennem studiejob hos Post Danmark. Herigennem skabte vi kontakt til ledelsen i Postområde Nordsjælland og mødtes med distributionschef i postområdet, Per F. Christensen. Sammen diskuterede vi mulige emner for et projekt og fik opklaret at et for området påtrængende problem var akut pladsmangel under pakkesorteringen.

Vi mente at dette problem kunne være interessant at undersøge nærmere, idet denne problematik kunne lægge op til en løsning af problemet vha. traditionelle operationsanalytiske metoder, men at en tilgang til problemet, som fokuserede på de menneskelige aspekter i denne omvæltning også var en mulighed.

Vi vil gerne sige tak til vores vejleder docent, dr.techn. Víctor Valqui Vidal, som har været til stor hjælp med råd, vejledning og kritik gennem projektets meget forskellige faser.

Endvidere vil også gerne rette en stor tak til vores kontaktpersoner i postområdet Nordsjælland, især Per F. Christensen og Christina Møller, som har hjulpet os gennem projektførløbet og formidlet kontakt til relevante personer i organisationen.

Endelig vil vi gerne rette en tak til alle de øvrige medarbejdere hos Post Danmark, som vi har været i kontakt med gennem forløbet, især pakkebudene som har taget pænt imod os tidligt om morgenen og har svaret på vores mange spørgsmål.

Danmarks Tekniske Universitet, Lyngby, 14. juni 2004

---

Hanne Petersen

---

Siri Skuldbøl

## Resume

Dette projekt anvender en multimetodologisk tilgang til løsning af et lokaliseringssproblem i samarbejde med en virksomhed.

Multimetodologien anvendes her til at kombinere bløde og hårde tilgange på en måde så de i høj grad supplerer hinanden, samt gør det lettere at overføre resultater fra en fase i problemløsningsprocessen til den efterfølgende.

De bløde metoder anvendes til at danne et overblik over eksisterende arbejdsgange i den indledende analyse, samt til at skabe et godt forhold til medarbejderne og sørge for at disse involveres i løsningen af problemet.

De hårde metoder er anvendt til udarbejdelse af en konkret løsning på problemet. Der er dels opstillet en simpel matematisk model baseret på et mindre antal begrænsninger, dels en udvidet model baseret på kommentarer fra en brugerinteraktion. Den første model er løst vha. standardoptimeringssoftware mens der for den anden er blevet udarbejdet en heuristisk løsningsmetode baseret på simuleret udglødning.

Dette projekt demonstrerer at der ved anvendelse af multimetodologi kan opnås et mere detaljeret syn på en konkret problemstilling, og at multimetodologien således har sin berettigelse blandt fremtidens problemløsningstilgange.

**NØGLEORD:** case-studie, fremtidsværksted, lokalisering, multimetodologi, simuleret udglødning

## Abstract

This project uses a multimethodological approach for solving a location problem in a case study.

Multimethodology combines hard and soft methods, allowing them to supplement each other as well as easing the transfer of results from one phase of the problem solving process to the next.

Soft methods are used in the preliminary analysis of the existing work processes, in establishing a positive relationship between the employees and the facilitators, and as a mean to involve the employees in solving the problem at hand.

Hard methods assist in the development of a solution to the problem. Initially a simple mathematical model is constructed, based on a reduced number of constraints, then an expanded model, based on input from a user interaction. The initial model is solved using standard optimization software while a heuristic method based on simulated annealing is developed for solving the more complex model.

This project demonstrates that by using multimethodology a more detailed view of a concrete problematic situation can be obtained and that consequently multimethodology belongs with the problem solving approaches of the future.

**KEYWORDS:** case study, future workshop, location problem, multimethodology, simulated annealing

# Indhold

<b>1</b>	<b>Indledning</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Projektets formål</b>	<b>5</b>
2.1	Casepræsentation . . . . .	6
2.2	Problemidentifikation . . . . .	8
2.3	Problemløsningsproces . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Metodiske overvejelser</b>	<b>12</b>
3.1	Hårde metoder . . . . .	12
3.1.1	Matematisk modellering og optimering . . . . .	13
3.1.2	Lokaliseringsmodeller . . . . .	14
3.1.3	Heuristikker . . . . .	15
3.1.4	Afstandsberregning . . . . .	18
3.1.5	Modelleringsprocessen . . . . .	20
3.2	Bløde tilgange . . . . .	22
3.2.1	Etnografiske studier . . . . .	23
3.2.2	Fremtidsværksted . . . . .	24
3.2.3	Kognitive kort . . . . .	26
3.3	Multimetodologi . . . . .	26
3.4	Systemtænkning . . . . .	28
3.5	Eksempler på anvendelser . . . . .	29

---

<b>4</b>	<b>Systemer og data</b>	<b>31</b>
4.1	Systembeskrivelse . . . . .	31
4.1.1	Eksisterende systemer . . . . .	31
4.1.2	Fremtidige systemer . . . . .	34
4.2	Data . . . . .	35
4.2.1	Afstandsberregninger . . . . .	35
4.2.2	Pakkernes fordeling på postnumre . . . . .	39
4.2.3	Pålidelighed af data . . . . .	39
<b>5</b>	<b>Matematisk model</b>	<b>41</b>
5.1	Problemformulering og målsætning . . . . .	41
5.2	Begrebsmodel . . . . .	41
5.3	Modellen . . . . .	44
5.4	Heuristisk løsning . . . . .	47
5.4.1	Parameterestimering . . . . .	53
5.5	Løsning . . . . .	56
<b>6</b>	<b>Problemløsningsproces</b>	<b>57</b>
6.1	Indledende faser . . . . .	58
6.1.1	Projektplanlægning . . . . .	59
6.1.2	Etnografiske studier . . . . .	60
6.1.3	Planlægning af workshop . . . . .	61
6.1.4	Indledende modellering . . . . .	62
6.1.5	Dataindsamling og -behandling . . . . .	64
6.2	Fremtidsværksted . . . . .	66
6.2.1	Resultat af fremtidsværkstedet . . . . .	69
6.3	Fortsat modellering . . . . .	71
6.3.1	Lineær modellering og implementering i GAMS . . . . .	72
6.3.2	Andre løsningsmetoder og endelig modelkonstruktion . . . . .	75
6.3.3	Yderligere dataindsamling . . . . .	78
6.3.4	Programverifikation . . . . .	79
6.4	Opsamling . . . . .	80

---

<b>7</b>	<b>Anbefalinger til ledelsen</b>	<b>83</b>
<b>8</b>	<b>Evaluering</b>	<b>85</b>
8.1	Projektforløbet . . . . .	85
8.2	Udviklingsmuligheder . . . . .	86
<b>9</b>	<b>Konklusion</b>	<b>89</b>
9.1	Perspektivering . . . . .	90
<b>A</b>	<b>Brugervejledning</b>	<b>92</b>
A.1	Introduktion . . . . .	92
A.2	Afstandsregninger og lokalitetsangivelser . . . . .	92
A.3	centre.exe . . . . .	92
A.4	afstande.exe . . . . .	92
<b>B</b>	<b>Systembeskrivelser</b>	<b>93</b>
<b>C</b>	<b>Indledende matematiske modeller</b>	<b>94</b>
C.1	Problemformulering . . . . .	94
C.2	Begrebsmodel . . . . .	94
C.3	Matematisk model . . . . .	96
C.4	Fortsat modellering . . . . .	97
<b>D</b>	<b>Fremtidsværksted</b>	<b>101</b>
D.1	Referat . . . . .	101
D.1.1	Indledende fase . . . . .	101
D.1.2	Kritikfase . . . . .	101
D.1.3	Utopifase . . . . .	101
D.1.4	Virkelighedsgørelsesfase . . . . .	101
D.1.5	Evaluering . . . . .	101
D.1.6	Opsummering af resultater . . . . .	101
D.2	Vægaviser . . . . .	101
D.3	Spørgeskema . . . . .	101
D.4	Besvarelser . . . . .	101

---

<b>E</b>	<b>Figurer og diagrammer fra Post Danmark</b>	<b>102</b>
<b>F</b>	<b>Møde 1 - 30/10-2003</b>	<b>103</b>
	F.1 Mødereferat . . . . .	103
<b>G</b>	<b>Møde 2 - 6/1-2004</b>	<b>104</b>
	G.1 Oplæg: Projektplan - januar . . . . .	104
	G.2 Referat . . . . .	104
<b>H</b>	<b>Møde 3 - 22/1-2004</b>	<b>105</b>
	H.1 Oplæg: Foreløbig problemformulering for eksamensprojekt . .	105
	H.2 Referat . . . . .	105
<b>I</b>	<b>Møde 4 - 4/3-2004</b>	<b>106</b>
	I.1 Oplæg: Planlægning af workshop - Fremtidsværksted . . . . .	106
	I.2 Referat . . . . .	106
<b>J</b>	<b>Møde 5 - 19/5-2004</b>	<b>107</b>
	J.1 Oplæg: Uformel præsentation af program . . . . .	107
	J.2 Referat . . . . .	107
<b>K</b>	<b>GAMS-kode</b>	<b>108</b>
	K.1 model.gms . . . . .	108
	K.2 sets.gms . . . . .	109
	K.3 data.gms . . . . .	109
<b>L</b>	<b>MATLAB-kode</b>	<b>110</b>
	L.1 p_est.m . . . . .	110
	L.2 medianer.m . . . . .	111
<b>M</b>	<b>C-kode</b>	<b>113</b>
	M.1 afstande.c . . . . .	113
	M.2 centre.c . . . . .	114



---

<b>N</b>	<b>Programudskrifter</b>	<b>126</b>
N.1	Anvendelighed af SA-proceduren . . . . .	126
N.1.1	Løsning for <i>quenching</i> . . . . .	126
N.1.2	Løsning for SA-procedure, indledende parametre . . .	126
N.1.3	Løsning for SA-procedure, bedste parametre . . . . .	126
N.2	Modellens robusthed overfor parametre . . . . .	126
N.2.1	Løsning for SA-procedure, 10% længere afstande . . .	126
N.2.2	Løsning for SA-procedure, 10% kortere afstande . . . .	126
N.2.3	Løsning for SA-procedure, 10% flere pakker . . . . .	126
N.2.4	Løsning for SA-procedure, 10% færre pakker . . . . .	126
N.3	Udskrift af de ti bedste løsninger . . . . .	126
<b>O</b>	<b>CD</b>	<b>127</b>
<b>P</b>	<b>Ordliste</b>	<b>129</b>

<http://www.kms.dk><http://www.kms.dk>

# Kapitel 1

## Indledning

Post Danmark A/S blev grundlagt af Chr. IV i 1624, hvor han underskrev en forordning om oprettelse af et net af postbude i Danmark. I perioden indtil 1995 havde Post Danmark monopol på distribution af breve og pakker i Danmark, men dette blev brudt med den nye postlov, hvor Post Danmark også blev en selvstændig offentlig virksomhed. I 2002 blev virksomheden et aktieselskab, hvor staten indtil videre ejer 100% af aktierne, men med intentioner om at afhænde virksomheden indenfor en kort årrække (jf. [31]).

For at opnå konkurrencedygtighed på det private marked har virksomheden i løbet af det sidste årti gennemgået store rationaliseringer og strukturelle ændringer alt imens servicemålene er forblevet høje. Der er således blevet brugt en del ressourcer indenfor Post Danmark på udvikling af automatiseret sortering og optimal indretning af arbejdspladser. Dette har hidtil været centreret omkring området brevomdeling, men denne proces er nu godt på vej og det er tid til at flytte fokus over på pakkeområdet, som ikke har undergået nogen tilsvarende udvikling i samme periode.

Mængden af både privat- og erhvervspakker har været stigende gennem de seneste år, hvilket har givet yderligere problemer med pladsmangel ved sorteringen. Ydermere har Post Danmark pr. 3. november 2003 overtaget alle indenlandske pakker fra den tidligere konkurrent DHL Express, hvorfor problemet er eskaleret og nu kræver en snarlig løsning. Der er derfor behov for at få klarlagt hvilke problemer der er og hvordan der kan tages hånd om dem.

Hovedproblemet er at der er for lidt plads på de nuværende distributionscentre. Den administrative ledelse forestiller sig derfor at en udflytning og sammenlægning af nogle af de eksisterende distributionscentre, som samtidigt ville blive adskilt fra brevsorteringen, vil være en mulig løsning på problemet.

Lokaliseringen af distributionscentrene har hidtil været bundet af en historisk

betinget beliggenhed tæt på jernbanen, idet breve og pakker hidtil er blevet omdelt fra de samme steder. Tidligere blev jernbanen anvendt meget til intern fordeling af posten, hvorfor de fleste posthuse i regionen er placeret i forbindelse med stationer. Disse bygninger er ofte fredede og ligger i områder der har dårlige tilkørselsforhold, hvilket gør at der er meget begrænsede muligheder for ændringer.

Udover at kunne flytte til større lokaler, regner man med at der ved sammenlægninger vil kunne opnås en yderligere forbedret situation, som følge af bedre udnyttelsesmuligheder af bemandingen, der i højere grad ville kunne gradueres efter den aktuelle mængde af pakker. Et forbedret arbejdsmiljø ville også kunne bidrage til virksomhedens overskud i form af færre sygedage og mindre fysisk nedslidning. Ved en udflytning vil der desuden være mulighed for at få mere fleksible lokaler, og samtidig finde en placering med forbedrede tilkørselsforhold.

Pladsproblemer er traditionelt blevet løst indenfor de enkelte postområder på mere eller mindre tilfældig vis uden brug af formaliserede metoder, og sammenlægninger/røkeringer har været afhængige af hvilken postmester der var ansvarlig for området. Flytninger er kun sket i meget problematiske situationer, og postnumre er da typisk blevet flyttet til andre eksisterende sorteringsfaciliteter, som tilfældigvis hørte under samme postmester.

## Rapportens opbygning

Denne rapport er skrevet med vores medstuderende som målgruppe. Som hovedregel forudsættes således et kendskab til grundlæggende operationsanalytiske metoder, idet øvrige emner vil blive forklaret nærmere.

I kapitel 2 gives en nærmere formulering af de problemer der betragtes i rapporten, disse relateres til virksomheden, og den overordnede problemtilgang introduceres. Vores motivation for at behandle denne type problem vil blive beskrevet og vi uddyber vores forventninger til projektet.

Kapitel 3 gennemgår den generelle teori der er anvendt under arbejdet med projektet, og giver herunder en præsentation af både hårde og bløde problemtilgange, samt en beskrivelse af systemtankegangen. Endvidere vil termen multimetodologi blive forklaret nærmere og det vil blive uddybet hvad denne disciplin forventes at kunne bidrage med.

Herefter vil der i kapitel 4 blive foretaget en nærmere beskrivelse af de betragtede systemer som de fungerer i starten af projektperioden og behandlingen af de indsamlede data vil blive specificeret.

I kapitel 5 præsenteres den udarbejdede model, som er blevet løst ved hjælp af en heuristisk metode, baseret på simuleret udglødning. Implementeringen

af denne bliver beskrevet i detaljer og parameterestimeringen bliver ligeledes gennemgået.

I kapitel 6 beskrives den proces vi har gennemgået i forbindelse med projektarbejdet, og de faser arbejdet er forløbet i. Vi vil her ligeledes argumentere for de valg der er truffet gennem projektet.

Kapitel 7 indeholder vores afsluttende anbefalinger til ledelsen i Postområdet Nordsjælland, både hvad angår valg af placering af nye centre samt gode råd og ideer til hvordan implementeringen kan gennemføres bedst muligt.

Kapitel 8 beskriver projektets arbejdsproces, både læringsprocessen og problemløsningsprocessens forløb.

Som afslutning forsøger kapitel 9 at drage nogle konklusioner på baggrund af rapporten, diskuterer de anvendte metoder og projektets akademiske resultater, og forsøger at sætte rapportens resultater ind i en bredere sammenhæng.

Ydermere indeholder rapporten en række bilag med supplerende oplysninger, som der vil blive henvist til på relevante steder.

I denne rapport anvendes en række begreber som er hentet fra flere forskellige fagdiscipliner, men da målet for rapporten er at kombinere flere felter snarere end at være specialiseret inden for et enkelt, skal disse anvendelser ikke opfattes som andet end vores fortolkning af begreberne som de anvendes i denne rapport.

I rapporten er endvidere anvendt en række fagudtryk fra pakkeomdelingen. Det er tilstræbt at disse forklares ved første anvendelse, og vi henviser desuden til ordlisten i bilag P.

Omend denne rapport er skrevet på dansk er der anvendt engelsk notation for decimal- og tusindtalsseparatorer. Dette hænger sammen med at engelske standarder benyttes inden for de her anvendte programmeringssprog, og det har derfor virket naturligt at overføre denne brug til rapporten i øvrigt.

## Kapitel 2

# Projektets formål

Formålet med dette projekt er at undersøge hvordan bløde metoder kan anvendes til understøttelse af hårde i forbindelse med større omlægninger af en eller flere arbejdsprocesser i en virksomhed.

Dette gøres med udgangspunkt i et casestudie, hvor vi ønsker at finde en løsning på et problem ved at anvende multimetodologi. Til dette formål skal der opstilles en matematisk model og anvendes hårde operationsanalytiske metoder til løsning af denne. I tilknytning hertil ønskes det at anvende forskellige bløde metodikker i et forsøg på at involvere medarbejderne i behandlingen af problemstillingen.

Herved opnås mulighed for at støtte arbejdet med modellen på to fronter: for det første anvendes medarbejderne, og den viden som de allerede besidder, undervejs til at hjælpe ved specifikationen af problemet og ved opbygningen og verifikationen af modellen, og for det andet oplever medarbejderne at få et ejerforhold til problemet og den fremkomne løsning, således at de forhåbentlig er mere imødekommende når den endelige løsning skal implementeres.

I forbindelse med denne medarbejderinvolvering vil vores rolle først og fremmest være som igangsættere og facilitatorer for processen. Med udgangspunkt i projektet tager vi initiativ til at gennemføre en social indgriben, og fungerer efterfølgende som facilitatorer for den problemløsningsproces der gennemløbes.

Projektet bliver herved til et forskningsinitieret studie (jf. [21]), hvor den centrale drivkraft er vores ønske om at betragte og forsøge at løse et problem ud fra en multimetodologisk tilgangsvinkel i samarbejde med en virksomhed, og herved få lejlighed til at afprøve nogle teoretiske metoder, som vi har stiftet bekendtskab med tidligere.

Den anden del af rollen, facilitering af problemløsningsprocessen, gør sig gældende både når der fokuseres på at få samlet opfattelserne af hvad problemet består i og når det handler om at identificere hvilke løsningsmetoder

der findes og er bedst egnet i en given situation. Her kan vi således bidrage med ekspertviden i form af erfaringer med forskellige måder hvorpå man kan angribe et sådant problem.

Vi vil i projektet ligeledes agere formidlere, både mellem medarbejdere på forskellige niveauer i virksomheden og mellem de bløde og de hårde metoder i tilgangen til problemløsningen.

Vores motivation i forhold til projektet er at afprøve hvordan de metoder, vi kender fra den teoretiske læring kan anvendes og kombineres på bedste måde i forbindelse med et reelt problem. I denne forbindelse ønsker vi at arbejde med designet af en problemløsningsmetode fra bunden, for at få en større forståelse af hvad det er vigtigt at tage hensyn til i de forskellige faser.

Vores forventninger til dette projekt er først og fremmest at få erfaringer ved at arbejde sammen med en virksomhed med et problem fra "den virkelige verden" og på denne måde indhente nogle erfaringer, som vi kan bruge når vi er færdige som ingeniører. Vi har også en forventning om at det er muligt at opnå en større forståelse for hvad holismen indebærer og hvor vigtig denne er for løsningen af komplekse problemer, ved at arbejde med et større projekt i sin helhed og ikke bare med et lille delproblem, som man skal tage sig af parallelt med mange andre småting. Vi vil betragte denne problemstilling udfra en multimetodologisk tilgang for at indhente erfaring med at kombinere flere forskellige metoder på tværs af faggrænser, noget som vi intuitivt mener er rigtigt, men ikke har prøvet for alvor. Herudover vil vi gerne finde ud af hvor meget man kan få ud af at supplere de hårde metoder, som vi har anvendt i det meste af vores studie, med bløde metoder og således få repræsenteret den menneskelige vinkel på problemløsningsprocessen.

## 2.1 Casepræsentation

Vi har til dette projekt valgt at beskæftige os med optimering af pakkeprocesser hos Post Danmark, og på et møde i oktober 2003 diskuterede vi med ledelsen i Postområde Nordsjælland hvilke planlægnings- og optimeringsproblematikker der skulle på dagsordenen i postområdet i den nærmeste fremtid.

Vi fik at vide at der i distributionsudviklingsafdelingen netop var blevet nedsat en arbejdsgruppe, som skulle undersøge hvilke tiltag man skulle gøre for bedre at kunne håndtere en forventet forøget pakkemængde i forbindelse med den planlagte overtagelse af DHL's indenrigspakker pr. 3. november 2003, og vi mente at dette emne ville kunne resultere i nogle interessante problemstillinger.

Vi besluttede således i samråd med ledelsen at vi ville betragte den situation der forventedes at opstå som følge heraf. I denne forbindelse skulle vi forsøge





Til dette område hører desuden naturligt postnumrene 2870 Dyssegård og 2942 Skodsborg som ikke betragtes selvstændigt, men som dele af hhv. 2860 Søborg og 2850 Nærum. Dette skyldes at de modtager en relativt lille pakkemængde, og at dette endvidere er i overensstemmelse med hvordan de håndteres i den nuværende situation.

Planlægningen af de enkelte ruter vil ikke blive betragtet i projektet, idet de eksisterende ruter påtænkes fastholdt. Dette valg skyldes både et ønske om at holde problemets størrelse på et håndterbart niveau, og at dette problem i højere grad afhænger af den daglige pakkemængde og dermed principielt skal reoptimeres hver dag, hvilket giver en anden struktur end det i øvrigt betragtede problem.

Post Danmark bruger for øjeblikket ikke optimeringssoftware på noget tidspunkt under planlægningen af pakkeomdelingen, hvorfor vi er frit stillet mht. valg af software. Dette åbner bla. mulighed for at vi kan anvende standardoptimeringssoftware som vi kender fra tidligere projekter.

## 2.2 Problemidentifikation

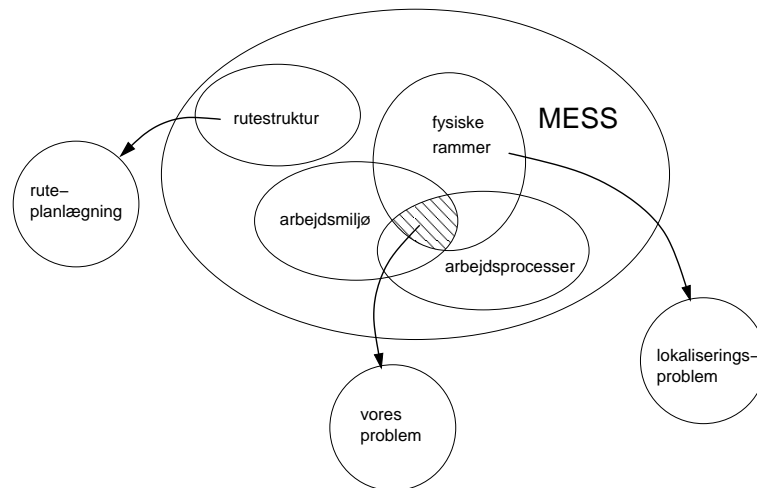
En problematisk situation foreligger når der ikke er tilfredshed med tingenes aktuelle tilstand, og der er en erkendelse af at der skal ske en forandring, men man ikke umiddelbart ved hvad der skal gøres.

En sådan problematisk situation befandt Post Danmarks nordsjællandske pakkeomdeling sig i pr. 1. november 2003, idet der var enighed om at der ville opstå pladsproblemer som følge af den voksende pakkemængde, og at der nødvendigvis måtte tages hånd om disse problemer. Herudover var man også i ledelsen klar over at den måde pakkesorteringen foregik på de forskellige steder ikke altid var optimal. Det var således også hensigtsmæssigt at vurdere hvordan man kunne ændre disse arbejdsvaner, både for at forbedre arbejdsmiljøet og mindske de samlede omkostninger.

Denne problematiske situation, betragter vi som et såkaldt *mess*. Betegnelsen *mess* beskriver generelt en meget kompleks problematisk situation, hvor der ikke på forhånd findes en klar definition af hvad problemet er, eller om der overhovedet er et problem. Ofte er der mange forskellige aktører med modstridende interesser involveret, eller usikkerheder angående indbyrdes rollefordeling. Der kan ligeledes være tale om en række af sammenkædede problemer, hvor det er svært at udskille et enkelt problem, som er løsbart. Det er sjældent klart på forhånd hvilke løsningsmuligheder der eksisterer og der kan være uenighed om hvordan en given løsning til problemet skal bedømmes.

Det hos Post Danmark observerede *mess* er forsøgt illustreret i figur 2.2, og det er vist hvordan nogle delproblemer kan udtrages herfra. Det samlede

*mess* indeholder langt flere problemstillinger end de her viste, som blot skal give et indtryk.



Figur 2.2: *Messes* og delproblemer

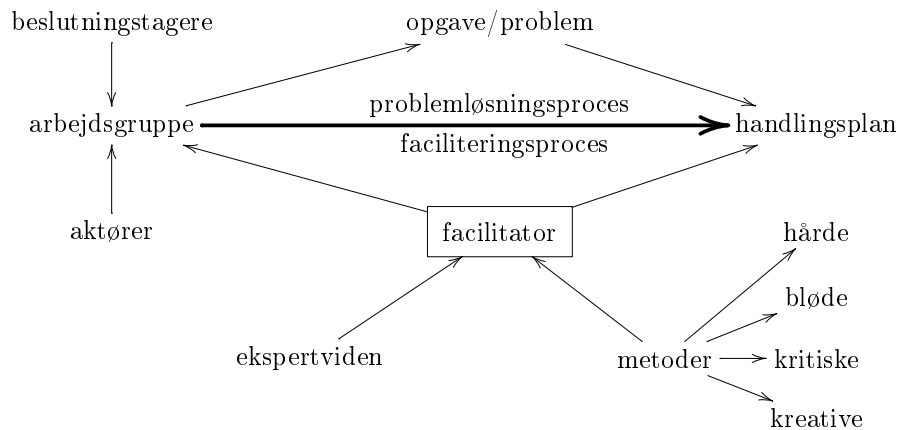
Af figuren ses at der eksisterer forskellige delområder i *mess*'et, eksempelvis et antal problemer der udspringer af at der ikke benyttes optimale arbejds-metoder. Dette kan ofte hænge sammen med at de fysiske rammer ikke er optimale, og man derfor ikke kan benytte den sorteringsmetode, der er ergonomisk bedst. Det skraverede område af figuren, indeholder aspekter af både fysiske rammer, arbejdsprocesser og arbejds miljø, og fører frem til det problem som betragtes i rapporten.

For at kunne behandle et *mess* er der behov for først at gennemgå en afklaringsproces. Herved kan der dannes grundlag for udarbejdelse af handlingsplaner, som senere kan implementeres og føre til en løsning af problemet.

Tilgangen til en problematisk situation og dens behandling kan principielt håndteres på flere måder, herunder top-down og bottom-up. Top-down betegner at ledelsen beslutter at gøre noget ved et problem, sætter processen med løsningen i gang og efterfølgende implementerer denne uden at medarbejderne undervejs får mulighed for at påvirke processen. Bottom-up betyder at ændringerne startes af medarbejdere der er utilfredse med tingenes tilstand, og derfor selv går i gang med at behandle problemet og først går til ledelsen når der er fundet et løsningsforslag. Disse tilgange kan dog også kombineres så ledelsen eksempelvis beslutter at starte en proces, men inddrager medarbejderne på et tidligt tidspunkt for at høre deres meninger og ideer, hvilket er den tilgang vi igennem dette projekt har tilstræbt.

## 2.3 Problemløsningsproces

I figur 2.3 er skitseret hvordan en problemløsningsproces kan gennemføres under ledelse af en facilitator.



Figur 2.3: Facilitering af en problemløsningsproces, figur fra [22] (vores oversættelse)

Centralt i figuren står facilitatoren, hvis rolle det er at være “fødselshjælper” for gruppens samarbejde, og føre dem fra det indledende *mess* over problemdefinitionen og frem til en endelig handlingsplan. Det er facilitatorens rolle at styre problemløsningsprocessen og sørge for at binde dens forskellige led sammen, samtidig med at der arbejdes aktivt på at få det bedste frem i alle aktører. Det er desuden facilitatorens opgave at være i besiddelse af en tilstrækkelig viden om egnede metoder, og om nødvendigt kunne indhente ekspertviden udefra.

I den aktuelle problemløsningsproces fungerer vi som facilitatorer. Vores arbejdsgruppe er den af postområdet nedsatte gruppe, der i forvejen betragtede problemstillingen, og som vi gennem projektet holder kontakt til via møder og e-mails. De berørte aktører er først og fremmest pakkebudene og medlemmende på distributionsstederne. Den centrale beslutningstager er i denne forbindelse postområdets distributionschef, men den overordnede ledelse af Post Danmark vil også have nogen indflydelse på den endelige implementering af den fundne løsning.

Vi bidrog selv med en del af den nødvendige teoretiske ekspertviden, mens den praktiske viden blev indhentet forskellige steder i Post Danmarks organisation, især ved samtaler med bude og repræsentanter for ledelsen.

De metoder der er anvendt i projektet er valgt ud fra vores egne personlige

---

erfaringer, samt fra tidligere kurser, og inkluderer hårde og bløde tilgange til problemløsning.

## Kapitel 3

# Metodiske overvejelser

Operationsanalytiske metoder er en samling af problemløsningsmetoder, som giver nogle retningslinier for hvordan bestemte typer af problemer kan håndteres. Disse problemer kan sædvanligvis formuleres kvantitativt, og de traditionelle løsningstilgange er brug af optimering eller simulering baseret på en matematisk model.

Med udgangspunkt i operationsanalysen er der opstået en række metodikker, som retter sig mod strukturering af problemet snarere end selve løsningen. Disse metodikker er procesorienterede og er fokuserede på brugerdeltagelse, hvorfor de ofte betegnes bløde metodikker.

En metodik er således en struktureret samling af anvisninger eller aktiviteter beregnet på at understøtte en undersøgelse eller indgriben.

I dette kapitel vil vi introducere et antal begreber fra både de bløde metodikker og den hårde operationsanalyse, som har fundet anvendelse i forbindelse med dette projekt.

### 3.1 Hårde metoder

Hårde metoder er en fællesbetegnelse for metoder som anvender matematik og kvantitative størrelser ved løsning af problemer, og har fire kendetegn (fra [19], vores oversættelse):

- a) de anvendes i forbindelse med handlingsorienteret konsulentarbejde
- b) beslutningsproblemer struktureres ud fra en opfattelse af systemet som en maskine
- c) beslutningsproblemer i sociale systemer løses vha. naturvidenskabelige metoder (under en empirisk og objektiv tilgang)

- d) det betragtede problem antages at eksistere i en hierarkisk organisation, hvor analytikeren samarbejder med ledelsen og fungerer som problemløser

Den hårde operationsanalyse (som beskrevet i "Introduction to Operations Research", [3]) er baseret på hårde metoder og beskæftiger sig med problemer der er veldefinerede, og hvor aktørerne er enige om en fælles problemopfattelse. For disse problemer kan der ofte opstilles en matematisk model, der i reglen kan føre til en kvantitativ optimal løsning. Problemerne er kendetegnet ved at være velstrukturerede, og at kunne isoleres fra omgivelserne og beskrives kvantitativt.

Hård operationsanalyse har imidlertid visse begrænsninger i forhold til løsning af problemer, som involverer mennesker og deres arbejdspladser. Dette er et meget følsomt område, og der kan nemt opstå konflikter når en løsning, fundet ved anvendelse af hårde metoder, dikteres oppefra, hvorved de berørte personer får svært ved at forholde sig til den og se dens nytte.

### 3.1.1 Matematisk modellering og optimering

Når man betragter et problem fra et økonomisk planlægningssynspunkt, er det oplagt at søge en optimal løsning vha. matematiske metoder, og det er nødvendigt fx at kunne sætte tal på hvor meget der kan spares på den daglige drift ved omlægning af arbejdsgangene.

Ved betragtning og løsning af sådanne kvantitative problemer er den mest udbredte tilgang den matematiske modellering, ofte efterfulgt af optimering af den udarbejdede model. Grundlæggende er dette baseret på at man kan udtrykke problemet ved en model, som giver en matematisk beskrivelse der er tilpas virkelighedsnær til at dens forudsigelser kan føres tilbage til virkeligheden og stadig være meningsfulde. Det er derfor vigtigt at være opmærksom på at modellen netop kun er en model af virkeligheden, og ikke en tro kopi. Man skal således altid være forsigtig med at overføre resultaterne direkte til virkeligheden, men hvis det gøres fornuftigt kan resultaterne være særdeles anvendelige.

En matematisk model indeholder dels en objektværdi (også kaldet kriteriefunktion), som udtrykker et mål for værdien af en given løsning, dels et antal begrænsninger som skal være overholdt for at løsningen er brugbar (*feasible*). Formålet med en optimering er da at finde den løsning som giver den bedste objektværdi (dvs. enten største eller mindste, afhængigt af problemets natur), under overholdelse af alle de opstillede begrænsninger.

Når en sådan model en gang er formuleret vil den også senere kunne genbruges til en kontinuerlig opfølgning på problemet og måske også på lignende problemer andre steder i organisationen.

I forbindelse med modelleringen er der desuden behov for at bekræfte at den konstruerede model står i et rimeligt forhold til virkeligheden. Dette kan indledende gøres ved at udsætte modellen for afprøvning ved hjælp af udvalgte data, for herved at kontrollere at dens forudsigelser er rimelige. Dette kan dog ikke endeligt bekræfte at modellen giver et godt billede af virkeligheden, men kan styrke denne antagelse. Yderligere underbygning heraf kan opnås ved nøje at gennemgå modellen, og herved kontrollere at den giver et sammenhængende billede af virkeligheden. [14]

### 3.1.2 Lokaliseringsmodeller

Ved problemer der drejer sig om lokalisering af faciliteter og betjening af kunder fra disse, vil man typisk anvende modeller af en bestemt type, som derfor betegnes lokaliseringsmodeller. Fælles for disse er at den givne situation beskrives vha. nogle indices, som betegner faciliteter og kunder, og et antal variable der, på baggrund heraf, fx kan beskrive vare- og produktionsmængder. Løsningen af problemet kan da findes ved at minimere de samlede omkostninger ved at dække kundernes efterspørgsel. En gennemgang af forskellige typer af lokaliseringsmodeller kan findes i [7].

Formuleringen af en typisk lokaliseringsmodel er vist i (3.1) (fra [24]), som betragter *UFL*-problemet (*Uncapacitated Facility Location*), med  $m$  kunder ( $j = 1, \dots, m$ ) og  $n$  faciliteter ( $i = 1, \dots, n$ ).

$$\min obj = \sum_i f_i z_i + \sum_{i,j} c_{ij} y_{ij} \quad (3.1)$$

$$\text{uht. } \sum_i y_{ij} = 1 \quad \forall j \quad (3.2)$$

$$\sum_j y_{ij} \leq m z_i \quad \forall i \quad (3.3)$$

$$z_i \in \mathbb{B}, \quad 0 \leq y_{ij} \leq 1 \quad (3.4)$$

Figur 3.1: En standardformulering for en lokaliseringsmodel

Variablen  $y_{ij}$  angiver andelen af kunde  $j$ 's efterspørgsel der dækkes fra facilitet  $i$ , mens  $z_i$  fortæller om facilitet  $i$  er åben ( $z_i = 1$ ,  $z_i = 0$  ellers). Objektfunktionen indeholder summen af facilitetsomkostningerne ( $f_i$  er den faste omkostning for at åbne facilitet  $i$ ) og distributionsomkostningerne ( $c_{ij}$  er omkostningen ved at dække hele kunde  $j$ 's efterspørgsel fra facilitet  $i$ ). De viste begrænsninger udtrykker at alle kunder skal have deres fulde efterspørgsel dækket (3.2), og at der ikke kan betjenes kunder fra lukkede faciliteter (3.3).

I denne rapport betragtes et problem hvor en enkelt kunde (et postnummer-område) skal have hele sin efterspørgsel (alle ruter) dækket fra (sorteret på) samme sted. I forhold til figur 3.1 vil  $0 \leq y_{ij} \leq 1$  således blive ændret til  $y_{ij} \in \mathbb{B}$ .

Endvidere kan det givne eksempel nemt udvides til at have kapacitetsbegrænsninger på produktionen, hvilket ville tilføje en begrænsning af formen

$$\sum_j y_{ij} p_j \leq q z_i \quad \forall i \quad (3.5)$$

hvor  $p_j$  er en angivelse af  $j$ 's efterspørgsel, mens  $q$  er produktionskapaciteten for en facilitet. For hver facilitet må den samlede efterspørgsel der skal dækkes således ikke overstige kapaciteten.

Lokaliseringsmodeller forekommer i forskellige varianter, bla. afhængigt af det indgående antal varetyper (*single-/multi-commodity*) og distributionstrin (*single-/multi-stage*), kapaciteter på produktion og distributionslinier, samt hvorvidt man antager at have kendskab til fremtiden (deterministisk/stokastisk model). Disse vil som oftest tage udgangspunkt i den viste formulering, hvorefter der kan foretages problemspecifikke ændringer.

Hvis mulighederne for modellens placering af nye faciliteter er begrænset til et endeligt antal mulige lokaliteter betegnes modellen diskret (et eksempel herpå er figur 3.1), mens den i det modsatte tilfælde er kontinuert. Dette skyldes at lokaliteternes placering i den sidstnævnte situation kan beskrives vha. kontinuerte variable (typisk 1. og 2. koordinat i et valgt koordinatsystem), mens den diskrete model typisk vil have en binær variabel for hver mulig lokalitet, der angiver om denne benyttes, og problemet bliver herved til et (blandet) heltalsproblem (*MIP - mixed integer program*).

### 3.1.3 Heuristikker

Heuristikker er en fællesbetegnelse for en række problemspecifikke metoder, som angiver en procedure der fører til en god løsning på et problem inden for en rimelig tid. Disse metoder anvendes til løsning af problemer, hvor det ikke er påkrævet eller muligt at finde en optimal løsning. Dette skyldes oftest, at problemets kompleksitet og/eller størrelse gør det praktisk umuligt at finde den optimale løsning, men det kan også skyldes, at det tager så lang tid at finde den optimale løsning, at det ikke er interessant at identificere denne. Formålet med at benytte en heuristisk metode er derfor at finde en god, omend ikke nødvendigvis optimal, løsning indenfor et acceptabelt tidsrum.

Metaheuristikker er betegnelsen for en gruppe af mere generelle metoder, som giver en række generelle instruktioner, ud fra hvilke man kan konstruere en heuristik der kan anvendes til løsning af et konkret problem. En metaheuristik kan således ikke direkte anvendes til løsning af et bestemt problem;

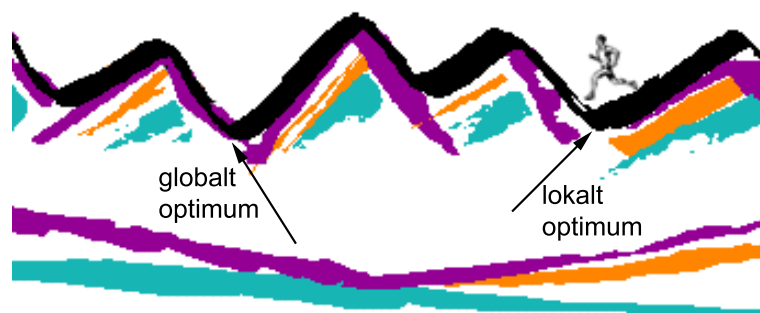


man er nødt til først at gøre sig nogle overvejelser mht. hvordan den bedst tilpasses det aktuelle problem.

En metaheuristisk tilgang til et problem vil typisk bestå i at man, ud fra en given løsning, betragter et såkaldt nabolag bestående af en række beslægtede løsninger. Definitionen af disse naboløsninger er således et eksempel på at metaheuristikken skal tilpasses problemet. De dannes ud fra den aktuelle løsning ved anvendelse af nogle problemspecifikke operationer som er udvalgt fra starten af processen. I hver iteration udvælges således en eller flere naboer som kommer i betragtning til at overtage rollen som aktuel løsning i de efterfølgende iterationer.

Et nabolag kan fx dannes ved tilføjelse, fjernelse eller ombytning af dele af løsningen. I et sædvanligt lokaliseringsproblem kan en naboløsning eksempelvis opnås ved flytning af en kunde til en anden leverandør, eller åbning af en ny fabrik. Når en heuristik skal implementeres, er det af stor betydning, at nabolaget er gennemtænkt, så det giver bedst mulige chancer for at finde en nær-optimal løsning. Man skal desuden overveje størrelsen af nabolaget i forhold til computerkapacitet og køretid, og tage hensyn til problemejerens ønsker til kvaliteten af løsningen i forhold til den tid, det tager at finde den.

I en søgning efter en løsning, vil man ofte umiddelbart tage den bedste nabo man kan finde, som er bedre end den aktuelle løsning (og stoppe hvis en sådan ikke findes). Dette svarer stort set til den tilgang der kaldes *steepest descent*, hvor man hele tiden vælger den naboløsning der giver den største forbedring af objektværdien. Dette vil med stor sandsynlighed føre til at man ender i et punkt hvorfra der ikke umiddelbart kan opnås forbedringer, uden at dette punkt nødvendigvis er det bedste der kan findes. Det punkt der herved findes er et såkaldt lokalt optimum, men ikke nødvendigvis det globale optimum, dvs. det bedste der findes. Begreberne lokalt og globalt optimum er illustreret i figur 3.2.



Figur 3.2: Illustration af lokalt og globalt minimum

Der findes et antal metaheuristikker som anvender forskellige taktikker til at

undslippe lokale optima og derved undersøge større dele af løsningsrummet, for eventuelt at finde en bedre løsning. De bygger alle på en initial (typisk brugbar) løsning, som gradvist forbedres ved betragtning af naboløsninger, men indeholder mulighed for, under visse omstændigheder, at kunne vælge en nabo der er dårligere end den aktuelle løsning.

Med udgangspunkt i den nævnte *steepest descent*-metode er der stadig mulighed for at finde bedre løsninger end først nævnt, fx ved at gennemløbe proceduren et større antal gange med forskellige initiale løsninger (itereret lokal søgning/*iterated local search*). På denne måde øges chancerne for at finde det globale optimum, eller i hvert fald en bedre løsning til problemet, men dette kræver at man har en metode til generering af forskellige initiale løsninger, og at man kan være relativt sikker på at disse er godt fordelt i løsningsrummet.

Der findes dog også mere avancerede metoder, som giver endnu større chancer for at finde bedre løsninger. Blandt de mest benyttede og succesfulde metaheuristikker som giver mulighed for at undvige lokale optima er simuleret udglødning (*simulated annealing*, SA) og tabusøgning.

### Simuleret udglødning

Proceduren simuleret udglødning er inspireret af nedkøling og krystallisering af faste stoffer, hvor kvaliteten af krystallerne afhænger af nedkølingsprocessen. Den optimale proces er desuden afhængig af det betragtede stof. Princippet bag denne udglødningsproces er at et fejlfrit krystal har det lavest mulige energiniveau, og at dette fortolkes som objektværdien for et optimeringsproblem. Ved at lade materialet afkøles langsomt fra flydende form, opnår man at områder hvor der er opstået en fejl i krystalliseringen (svarende til et lokalt optimum), får en chance for at rettes op (springe til et højere energiniveau) inden temperaturen er faldet for meget, hvorved den samlede krystalstruktur kan nå et ende på et lavere energiniveau.

Dette princip er videreført til proceduren, idet bevægelser til dårligere løsninger tillades med en vis sandsynlighed, som falder i takt med tiden. Dette giver således SA-proceduren mulighed for at bevæge sig væk fra et lokalt optimum og undersøge andre dele af løsningsrummet. Proceduren, som oprindeligt var inspireret af materialers fysik, har siden fået berettigelse som en selvstændig procedure, og elementer herfra kan også anvendes i kombination med elementer fra andre metoder, således at den fysiske fortolkning ikke længere er gyldig. De indgående parametre har dog bevaret deres traditionelle navne.

Udover nabolagsbeskrivelsen er SA-proceduren karakteriseret ved en starttemperatur  $T_{start}$ , en sluttemperatur  $T_{slut}$  og en temperaturreduktionsfunktion  $\alpha(T)$ , og kan i pseudokode beskrives som i figur 3.3 (hvor objektværdien

for en løsning betegnes  $f(N)$ , og `rand()` giver et tilfældigt tal i intervallet  $[0;1)$ .

```
T = T_start;
N = initiel_løsning;
while(T > T_slut)
    N' = tilfældig_nabo_til_N;
    diff = f(N') - f(N);
    if(diff < 0 || rand() < exp(-diff/T))
        N = N';
    T = alpha(T);
return N;
```

Figur 3.3: Pseudokode for SA-proceduren

For hver iteration vælges således tilfældigt en løsning fra nabolaget, og hvis denne er bedre end den aktuelle vælges den. Ellers vælges den med sandsynligheden  $e^{-\frac{\delta}{T}}$  hvor  $\delta > 0$  er differensen mellem objektværdierne for de to løsninger, og  $T$  er den aktuelle temperatur. Temperaturen sænkes regelmæssigt i henhold til den givne reduktionsfunktion, og der kan evt. gennemløbes et bestemt antal iterationer på hvert temperaturtrin. Da temperaturen falder med køretiden, vil sandsynligheden for at vælge en dårligere løsning blive stadigt mindre, således at man i starten af forløbet har en stor tilbøjelighed til at bevæge sig rundt i løsningsrummet og undersøge forskellige områder, mens man senere i forløbet med større sandsynlighed konvergerer mod det nærmeste lokale optimum.

SA-proceduren indeholder en mængde parametre, der skal bestemmes. Dette vanskeliggør processen med at implementere proceduren for et givet problem, men gør også at metoden kan tilpasses mange forskellige problemtyper. Derudover findes en række forskellige varianter af simuleret udglødning, fx en teknik, hvor temperaturen en eller flere gange i forløbet sættes til at stige brat igen (*reheating*) for at øge muligheden for at undslippe lokale optima.

### 3.1.4 Afstandsberegning

Når der skal beregnes indbyrdes afstande i et vejnetværk mellem en større mængde adresser, vil det, som følge af datamængden, sjældent være praktisk muligt at finde alle disse eksakt uden at have adgang til et passende værktøj. Selv hvis et sådant er tilgængeligt vil det ofte medføre en betydelig arbejds-mængde at beregne alle afstande. Man kan derfor opnå en god tilnærmelse til afstandene uden at betragte det eksakte vejnetværk, ved i stedet benytte et fælles afstandsmål, der ved anvendelse af en række parametre kan justeres til at give gode resultater i det specifikke, betragtede område.

Den såkaldte  $l_p$ -afstand er betegnelsen for et sådant afstandsmål. Den bygger på at den korteste afstand mellem to punkter i planen,  $a = (x_a, y_a)$  og  $b = (x_b, y_b)$  er en lige linie,

$$\text{dist}(a, b) = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2} \quad (3.6)$$

men at denne afstand sjældent kan benyttes i praksis ved transport af varer o.l. Et andet simpelt afstandsmål er Manhattan-afstanden, der findes som summen af afstandene langs hhv. 1. og 2. akser,

$$\text{dist}(a, b) = |x_a - x_b| + |y_a - y_b| \quad (3.7)$$

Ved at generalisere disse to afstandsmål kommer man i stedet frem til  $l_p$ -afstanden:

$$l_p(a, b) = \sqrt[p]{|x_a - x_b|^p + |y_a - y_b|^p}, \quad 1 \leq p \leq \infty \quad (3.8)$$

Det ses heraf at den lige linie og den rektangulære afstand er særtilfælde af  $l_p$  (hhv.  $l_2$  og  $l_1$ ). Formlen kan endvidere direkte udvides til at omfatte afstande i flere dimensioner end to.

Dette afstandsmål opfylder desuden de fire krav til et metrisk afstandsmål (*metric*), idet det opfylder kravene om symmetri ( $\text{dist}(a, b) = \text{dist}(b, a)$ ), positivitet ( $\text{dist}(a, b) \geq 0$ ), identitet ( $\text{dist}(a, b) = 0 \Leftrightarrow a = b$ ) samt trekantuligheden ( $\text{dist}(a, b) \leq \text{dist}(a, c) + \text{dist}(c, b)$ ). Dette er årsag til kravet  $p \leq 1$  i definitionen, da trekantuligheden ellers ikke ville være overholdt.

Der findes ikke en entydigt optimal værdi af  $p$  når man ønsker at beregne vejafstande gennem en by, da dette afhænger af naturen af vejnettet i den enkelte by. Således er eksempelvis de fleste amerikanske byer kendetegnet ved at vejnettet følger en ganske streng overordnet plan, og således har form af et gitter. I sådanne byer vil  $l_1$  ofte give en god tilnærmelse til den faktiske køreafstand mellem to punkter. I de fleste europæiske byer er vejnettet derimod ofte baseret på en grundplan af væsentligt ældre dato, og det er derfor ikke længere oplagt at vælge  $l_1$  til afstandsberegninger. Givet et konkret vejnet er det dog muligt at finde frem til den værdi af  $p$  der giver den bedst mulige tilnærmelse for afstandene.

I [8] foreslås endvidere indførelsen af en parameter  $k$ , som multipliceres på  $l_p$ -afstanden, hvilket åbner mulighed for yderligere justering af afstandsberegningen til det ønskede formål.

Når man har besluttet sig for hvilket afstandsmål man ønsker at anvende til et givet formål er det tid til at finde et egnet parametervalg til de endelige udregninger. Dette kan typisk gøres ved at man udvælger et antal punkter repræsentativt fra det område afstandene skal beregnes for, og herefter, ved hjælp af mere eksakte metoder, beregner alle afstande mellem disse punkter.

Herefter kan der eksperimenteres med forskellige kombinationer af parametre, hvorefter man kan beregne afvigelsen mellem de fundne og de virkelige afstande for de valgte punkter. På baggrund af disse undersøgelser kan man herefter træffe et endeligt valg. Udførelsen af disse beregninger for de her anvendte afstandsregninger kan findes i afsnit 4.2.1.

### Punktaggregering

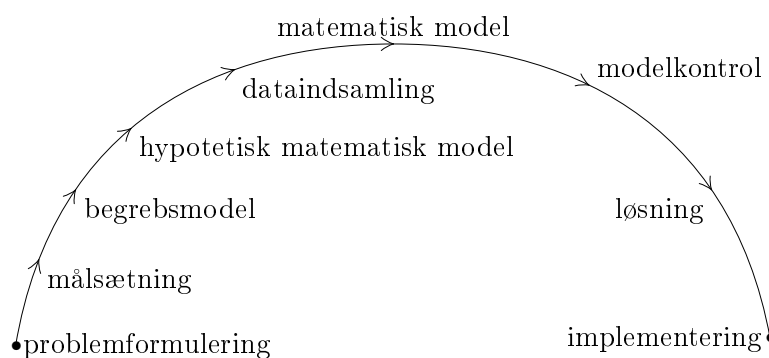
Ved beregning af et større antal afstande bør man være opmærksom på hvorvidt det reelt er nødvendigt at beregne samtlige afstande, eller om der med rimelighed kan foretages en punktaggregering, dvs. en samling af punkter. Herved opnås at det samlede antal afstande der skal beregnes kan mindskes kraftigt, men dette sker på bekostning af præcisionen. I visse tilfælde kan denne afvejning dog være acceptabel.

#### 3.1.5 Modelleringsprocessen

I forbindelse med udarbejdelsen af den matematiske model kan man lade sig inspirere af forskellige metoder der findes beskrevet i litteraturen.

I [14] omtales blandt andet det såkaldte “parsimoniske princip”, som går ud på at man starter med at konstruere en mindre model der i grove træk beskriver problemet, og derefter forfiner denne til beskrivelsen dækker behovet, snarere end at starte på en meget omfattende model fra starten, som nemt kommer til at indeholde overflødige detaljer og bliver uoverskuelig.

Et eksempel på modelleringsprocessens forløb er desuden givet i [1], og illustreret i figur 3.4 der er hentet fra bogen.



Figur 3.4: Problemløsningsprocessens ni faser

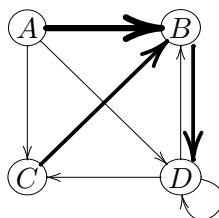
Heri deles problemløsningsprocessen op i ni faser, fra problemet erkendes, over et antal modelleringsfaser, og frem til implementeringen af en funden

løsning. Disse skal dog ikke nødvendigvis følges slavisk, og der opfordres til at man veksler mellem faserne efter behov.

Figuren tager udgangspunkt i den meget jordnære situation at en person eller en gruppe af personer (benævnt problemejeren) erkender at der er et problem, og præsenterer dette for den/de personer som skal bistå ved løsningen af problemet, og som typisk har en analytisk baggrund.

Herefter hæver problemejeren og analytikerens sig i fællesskab lidt op over problemet, og forsøger at beskrive den situation problemejeren ser som målet for problemløsningsprocessen. Denne sikrer at problemejer og analytiker er enige om det mål der arbejdes henimod. Det er desuden vigtigt at det opstillede mål er realistisk.

Når målsætningen er på plads er det tid til at identificere de faktorer der menes at have indflydelse på hvorvidt dette mål nås, og samtidig få udelukket dem der ikke er relevante. Der er således både tale om en afgrænsning af systemet og en sortering af de indgående elementer. Man udpeger de væsentligste faktorer, og afklarer deres rolle i forhold til resten af systemet. I denne fase er det stadig problemejeren der er i besiddelse af det største kendskab til systemet, mens analytikerens opgave er at strukturere og formalisere denne viden, således at den får en form der er anvendelig for den efterfølgende modellering. Det er endvidere muligt på dette tidspunkt at opstille nogle foreløbige relationer mellem de udvalgte faktorer, fx ved hjælp af influence-diagrammer (se figur 3.5), med pile der angiver styrken af de forskellige relationer, eller en form for semimatematisk notation.



Figur 3.5: Eksempel på influence-diagram, hvor pilene indikerer faktorernes indbyrdes påvirkning. På figuren har  $A$  en meget kraftig indflydelse på  $B$  (fed pil), mens  $C$  har en relativt kraftig indflydelse på  $B$  og  $B$  på  $D$  (halvfede pile). Endelig har nogle af faktorerne en relativt lav indflydelse, markeret med de tynde pile.

Begrebsmodellen er det værktøj som danner grundlaget for kommunikationen mellem problemejeren og analytikerens, og sikrer at den opbyggede model er i overensstemmelse med problemejerens ønsker og problemopfattelse.

På baggrund af den udarbejdede begrebsmodel er det herefter analytikerens opgave at opstille en foreløbig/hypotetisk matematisk model. Formålet med

denne er at forberede den endelige matematiske model, og danne et overblik over hvilke yderligere oplysninger der skal indhentes for at denne kan konstrueres. Disse kan efterfølgende tilvejebringes i dataindsamlingsfasen, enten ved at søge i eksisterende kilder, eller ved at foretage forskellige typer målinger. Endvidere mener vi at der i denne sammenhæng bør foretages en vis validering af de indsamlede data, således at man sikrer at de svarer til de erkendte behov, og i modsat fald kan fortsætte sin søgen. Dette er dog ikke i overensstemmelse med [1], som mener at denne kontrol først optræder i den efterfølgende endelige modelleringsfase.

Efter gennemførelsen af de indledende faser påbegyndes formuleringen af den endelige matematiske model, hvilket gøres med udgangspunkt i den tidligere opstillede begrebsmodel, og de netop indsamlede data. Denne model repræsenterer således det mest abstrakte niveau i processen.

Når modelleringen er afsluttet er det tid til at forsøge at finde frem til en løsning og således bevæge sig tilbage mod virkeligheden og den konkrete situation. Hvis processen har udviklet sig så langt at der har været behov for formulering af en egentlig matematisk model, vil løsningen af denne formentlig også blive betydeligt lettet ved anvendelse af computerberegninger. Der findes dedikeret software der somme tider kan anvendes til dette formål, men det kan også være nødvendigt for analytikeren selv at programmere egnet software. På dette stadi er det ligeledes nødvendigt at undersøge den fundne løsnings følsomhed overfor usikkerheder i datagrundlaget.

Afslutningsvis præsenterer analytikeren den fundne løsning for problemejeren, som ikke har deltaget aktivt i de foregående fem faser. Problemejeren står nu overfor selve implementeringen af den fundne løsning, hvor analytikeren sjældent kan gøre større gavn, med mindre der opstår tvivl om aspekter ved modellen, eller der i mellemtiden er opstået nye forhold som ønskes medtaget.

## 3.2 Bløde tilgange

Betegnelsen bløde problemtilgange (jf. [15]) dækker over en række metodikker til løsning af ustrukturerede (*messy*) problematiske situationer, hvor der i høj grad er divergerende problemopfattelser blandt de implicerede aktører. De bløde metodikker er kendetegnet ved at (fra [19], vores oversættelse):

- a) de anvendes i forbindelse med handlingsorienteret konsulentarbejde
- b) beslutningsproblemer struktureres ud fra en systemisk tankegang
- c) fortolkning anvendes til strukturering af *messes*
- d) det betragtede problem antages at eksistere i en organisation, hvor beslutningstagere og øvrige aktører deltager aktivt i hele problemløsningsprocessen, hvilket vil sige at analytikeren er facilitator

Et gennemgående aspekt i de bløde metodikker er at man ved fremlæggelse og diskussion af alle parter problemopfattelse kan arbejde hen imod konsensus angående den problematiske situation, således at denne bliver bedre defineret og der (så vidt muligt) opnås enighed om problemet. Når dette er sket bliver det efterfølgende lettere i fællesskab at finde frem til en løsning. Processen udgør således en central del af resultatet, og en del af formålet med disse metodikker er også at inddrage brugerne i processen, således at de føler at de har større indflydelse på resultatet, og de bliver mere samarbejdsvillige ved implementeringen.

Anvendelsen af forskellige bløde metodikker gennem projektet bunder i et ønske om at inddrage den viden og de erfaringer, som eksisterer på forskellige planer i virksomheden. Disse anvendes både til støtte ved udvælgelse af de mest relevante problemstillinger, der skal tages med i modelleringen, men også til generering af kritik, baseret på konsekvenser af forskellige valg, truffet gennem processen.

### 3.2.1 Etnografiske studier

Etnografiske studier dækker, i forbindelse med problemspecificering, over nogle teknikker som kan anvendes til studier af eksisterende praksis (jf. [34]). I forbindelse med dette projekt er disse udført i form af observation af medarbejdernes arbejdsgange suppleret med afklarende spørgsmål (in situ-interviews), til at etablere hvilke typer processer der bliver anvendt og hvorvidt disse er opstået som følge af en ad hoc-forbedring af arbejdsgange, eller om der er tale om implementering af en etableret og anbefalet arbejdsgang.

Fordelen ved at bruge etnografiske metoder, i forhold til blot at bede et antal medarbejdere udfylde et spørgeskema eller udelukkende at udføre interviews, er at man ved at observere de udførte handlinger kan identificere delprocesser og arbejdsgange som medarbejderne måske ikke er bevidste om at anvender. Ofte vil folk, hvis de bliver bedt om at beskrive deres arbejdsproces i ord, beskrive den teoretiske proces snarere end den de, mere eller mindre ubevidst, anvender i praksis.

Ved at supplere de etnografiske studier med mere dybtgående interviews med personer på forskellige steder i organisationen er der således større chance for at man får afdækket alle de væsentligste faktorer i processerne og ikke kun de i teorien vigtige.

Et andet vigtigt resultat der kommer ud af at anvende etnografiske studier i forbindelse med en gruppe, som man senere skal facilitere under en workshop, er at man bliver introduceret til brugergruppen på en uformel måde, hvorved man viser at man lytter til aktørernes synspunkter og tager dem alvorligt. Ydermere kan man på forhånd demonstrere at man har forståelse for nødvendigheden af at sætte sig ind i den måde, processerne forløber på



og ikke kommer som udenforstående og påstår at vide alt. Dette vil også styrke facilitatorens position, da gruppen således opnår større tillid til at facilitatoren har kendskab til situationen.

### 3.2.2 Fremtidsværksted

Når en større brugergruppe skal behandle et problematisk emne er det ofte en fordel at afholde en workshop om emnet. Betegnelsen workshop dækker en situation, hvor deltagerne samles uden for deres vanterammer, og i fællesskab forsøger at generere ideer og arbejde med en handlingsplan.

Fremtidsværkstedet (jf. [4]) er en metode hvorved en situation kan behandles kritisk af en gruppe mennesker med det formål at nå frem til en handlingsplan for forbedringer. Ideen er at alle kommer frem med deres kritik som del af en fælles proces, og siden forsøger at forestille sig en verden hvor disse kritikpunkter ikke eksisterer. Således kan man i fællesskab nå frem til en mere komplet plan som alle deltagere føler at de har været med til at udvikle. Dette gør at den senere implementering af planen kan glide lettere og at deltagerne således er villige til at fungere som ambassadører for resultatet.

Et fremtidsværksted består af tre faser:

- Kritik
- Utopi/Fantasi
- Virkelighedsgørelse

I kritikfasen er det ideen at alle deltageres kritik af den aktuelle situation skal udtrykkes og opskrives på eksempelvis vægaviser. Det er vigtigt at alle bliver hørt, og at ingenting bliver udeladt fordi man mener at det er irrelevant. Det er på dette tidspunkt forbudt at sortere og forkaste ideer; alle forslag skal ned på papir, hvorfor brainstorming er en velegnet teknik i denne del af workshoppen. Under en brainstorming skal deltagerne komme med alle de ideer de kan komme i tanke om, i forbindelse med et givent emne. En grundregel her er netop at deltagerne ikke må kritisere hinandens udsagn, men at alle skal høres. Denne form for idegenerering giver gode chancer for at både de fremadfarende og de mere tilbageholdende medlemmer kan komme med deres ideer. Det kan være en fordel at gennemføre denne fase i plenum, men er problemstillingen meget diffus, kan det være nødvendigt at dele op i mindre grupper, som kan tage sig af forskellige dele af problemstillingen. Opskrivningen af kritikpunkterne kan enten varetages af facilitatoren eller hver deltager kan selv skrive på vægaviserne.

Når alle kritikpunkter er opskrevet, kan man eksempelvis bruge kategorisering eller pointgivning for at opnå en strukturering af kritikken. Kategorisering går ud på at opdele de forskellige kritikpunkter i nogle overordnede kategorier, hvorefter man kan vælge at behandle nogle af disse emner i grupper som evt. opdeles efter interesse. Pointgivning er baseret på at alle skal

være medbestemmende for hvilke punkter der er de vigtigste. Hver deltager får her tildelt et antal point (højst syv, jf. [18]), som placeres på det eller de punkter, deltageren selv mener er vigtigst.

Efterfølgende betragtes alle punkter igen, og de, der har fået flest point videreudvikles, evt. i grupper, i utopifasen. Målet med utopifasen er, ved hjælp af brainstorming at åbne deltagerens øjne for alle muligheder og vende kritikken til noget positivt.

Dette kan gøres ved at samtlige udsagn fra kritikfasen vendes til positive udsagn, uden hensyn til om det, der kommer frem til er realistisk eller ej. Også i denne fase er det vigtigt at alle får lov til at komme med deres forslag og kritik af forslagene deltagerne imellem er bandlyst. Denne fase kan foregå ved at hver deltager skriver sine forslag på vægviserne, eller ved at en person skriver for hele gruppen. Denne brainstorming kan så ligeledes kategoriseres eller pointgives, for at opnå en foreløbig og utopisk strategi eller plan.

Virkelighedsgørelsesfasen bruges til at gøre resultaterne fra utopifasen realiserbare. Her skal deltagerne sammenholde kritikpunkterne med resultatet af utopifasen, og forsøge at formulere reelle og praktisk udførlige handlingsplaner.

Denne fase kan enten gennemføres i grupper, evt. de samme som i utopifasen, eller i plenum som en samlet vurdering af de i utopifasen fremkomne forslag. I denne fase er det realisme og den praktiske vinkel, der er dominerende, og her må deltagerne omsider få lov at tænke i større sammenhænge og bearbejde deres utopier for at komme frem til et fornuftigt kompromis mellem drømme og realiteter.

Fremtidsværkstedet er således et eksempel på en blød metodik, som er fokuseret både på resultatet af processen og selve læreprocessen, hvor aktørerne får et mere veldefineret forhold til problemstillingen.

En anden blød metodik, som kunne være anvendt i forbindelse med dette projekt, er visionskonferencen [20] som fokuserer på først i en divergent fase at få deltagerne til at producere et stort antal ideer og dernæst, i den konvergente fase, at behandle et antal af de bedste ideer i dybden, for at komme frem til hvordan der skal laves handlingsplaner for disse. Også visionskonferencen fokuserer meget på læring gennem processen og er anvendelig i en gruppe der består af aktører med forskellig baggrund.

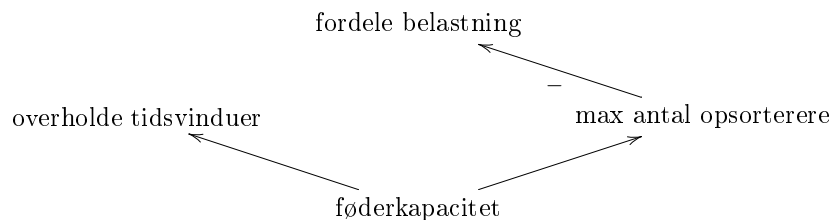
Alternativt kunne en SCA-analyse (Strategic Choice Approach) have [15] været kommet på tale til brug ved den afholdte workshop. Denne metodik anvender en rationel analyse af forskellige alternative handlinger og vurderer bla. usikkerheder og tilgængelige ressourcer.

Endelig var en oplagt mulighed at anvende SSM (Soft Systems Methodology) [23], som stræber mod at strukturere en *messy* situation. Også her arbejdes der i workshopform, hvor en syv-trins proces for strukturering og løsning af

problemsituationen gennemløbes, idet der veksles mellem systemtænkningen og den virkelige verden.

### 3.2.3 Kognitive kort

Kognitive kort er en teknik der benyttes i metodikken SODA, hvor kognitiv psykologi anvendes til at opnå en fælles erkendelse af et problem [18]. Et kognitivt kort forsøger at strukturere og visualisere en problemopfattelse ved at opstille sammenhænge mellem handlinger og konsekvenser. I et kognitivt kort opskrives hvert koncept, som kan indeholde to poler adskilt af tre prikker, betydende “hellere end”.



Figur 3.6: Eksempel på et kognitivt kort, fra figur 6.4

Koncepterne forbindes med konsekvenspile, således at man i figur 3.6 kan læse kortet som “(veldefineret) føderkapacitet” medfører “(mulighed for at) overholde tidsvinduer” og “(fastsat) max antal opsortere”, som igen medfører en negativ virkning på “(mulighed for at) fordele belastning” (på grund af minuset på pilen).

Et kognitivt kort er således karakteriseret ved en hierarkisk struktur, der ofte har form som en mål/middelgraf. Ved analyse af kortet kan man fx bestemme kompleksiteten af situationen og undersøge om der findes markante undergrupper af koncepter.

En SWOT-matrix er en anden blød teknik, der kan anvendes til at skabe et øjebliksbillede af en virksomhed og definere fremtidsmuligheder. Når denne anvendes opskrives interne og eksterne styrker og svagheder for virksomheden i en matrix, hvilket giver et godt overbliksbillede af hvor problemer er eller kan opstå, således at man kan lave handlingsplaner herudfra.

## 3.3 Multimethodologi

Multimetodologi (jf. “Multimethodology - The Theory and Practice of Combining Management Science Methodologies”, [12]) er en fællesbetegnelse for

det at anvende kombinationer af forskellige delmetoder og tankegange, som sammensættes på en måde der er hensigtsmæssig for netop det foreliggende problem. Bruger man kun én bestemt metode, indgår der måske dele som ikke er relevante i den aktuelle sammenhæng, mens der er andre dele af problemet som man ikke får afdækket tilfredsstillende. Disse ulemper kan afhjælpes ved brug af multimetodologi, som også åbner mulighed for at kombinere de bløde, kvalitative metoder og de hårde, kvantitative metoder, og herved hjælper til at få en introduceret nogle mere alsidige problemløsningsmetoder. Dette samarbejde gør at man fx kan anvende bløde metoder til først at strukturere et problem og efterfølgende have mulighed for at anvende hårde metoder, til løsningen af problemet selv om det som udgangspunkt ikke var veldefineret. De bløde metoder har således en stor berettigelse i planlægningsfasen, hvor de også giver mulighed for at drage nytte af den praktiske viden som besiddes af dem der til daglig oplever problemerne.

Opfattelsen af at man ikke er nødt til at bruge den samme metode hele vejen igennem, men kan håndplukke blandt de værktøjer og tankegange, som dækker det behov man måtte have i en bestemt kontekst, åbner op for mange nye og måske bedre analyser af reelle problemer.

For at fastslå hvilke metodikker, teknikker og værktøjer der er mest egnede i forskellige faser af en problemløsningsproces, er det praktisk at have en oversigt over metoder, fx baseret på en kategorisering som i figur 3.7.

	Redegørelse for	Analyse af	Vurdering af	Tiltag for at
Sociale forhold	sociale vaner, magtrelationer	forvrængninger, konflikter, interesser	måder at ændre eksisterende strukturer	styrke og oplyse
Personlige forhold	individuelle overbevisninger, meninger, følelser	forskellige opfattelser og personlig rationalitet	alternative konceptdannelser og konstruktioner	skabe imødekommenhed og enighed
Fysiske forhold	fysiske rammer	underliggende kausal struktur	alternative fysiske og strukturelle tiltag	udvælge og implementere bedste alternativer

Figur 3.7: Kategorisering af metoder, figur frit oversat efter [11]

Det er meget væsentligt at de forskellige metoder der anvendes er kompatible og ikke direkte modsiger hinanden, og herudover kan det også være nødvendigt at tilrette en metode lidt, så den passer ind i helheden.

Hvordan vi har anvendt denne kategorisering til hjælp ved udvælgelse af de i projektet anvendte metodikker og teknikker fremgår af afsnit 6.4.

### 3.4 Systemtænkning

Den traditionelle måde at analysere et problem på går grundlæggende ud på at dissekere problemet (dekomposition) og analysere hver enkelt lille del individuelt (reduktionisme), uden at bekymre sig om den sammenhæng delen er taget ud af. Denne tilgang til problemet medfører ofte at man ikke er opmærksom på den betydning samspillet mellem de forskellige dele har for problemets kompleksitet, og der er risiko for at beskrivelsen derfor fjerner sig så meget fra det virkelige problem, at analysen ikke kan anvendes i praksis.

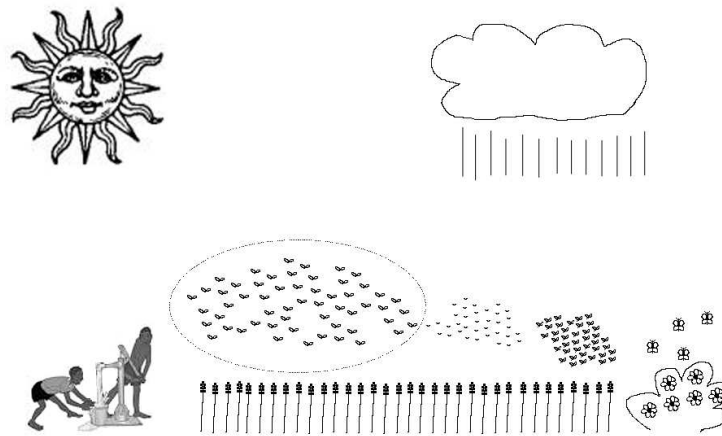
Et system består af en række forskellige aktører, disses egenskaber og alle relationer herimellem, og karakteriseres ved at have et input og producere et output ved at gennemløbe en transformationsproces.

Dette medfører at den systemiske tilgang til et problem resulterer i at et stigende antal interaktioner betragtes, hvor den traditionelle analyse vil forsøge at isolere stadigt mindre dele af systemet.

Resultatet af en systemisk analyse vil ofte blive et helt andet end resultatet af en analyse der er baseret på princippet om dekomposition og reduktionisme, især hvis det betragtede problem er meget komplekst eller svært at afgrænse. Her kan systemtankegangen hjælpe til at se det samlede billede og ikke bare en lille del af problemet.

Princippet bag systemtankegangen er således at betragte et problem holistisk frem for kun at betragte detaljerne, hvilket kan illustreres ved et eksempel fra landbruget som beskrevet i [26]. Hvis en afgrøde bliver ødelagt vil man i en traditionel analyse forsøge at afklare hvad det er der ødelægger den. Hvis man opdager at fx en population af insekter er hovedårsagen til den ødelagte afgrøde vil man forsøge at bekæmpe denne type insekter med fx sprøjtemidler, og hvis disse er tilstrækkeligt effektive vil populationen blive kraftigt nedbragt. Et nyt problem kan efterfølgende opstå hvis denne type insekt har holdt andre typer i skak, og de andre insekter måske er mere skadelige for afgrøden end den første. Som nettoresultat risikerer man således at der vil blive ødelagt mere korn efter sprøjtningen end før.

Hvis man i stedet analyserer dette problem ud fra et systemisk synspunkt, vil man forsøge at udvide billedet med kornmarken og insekterne således at flere aktører kommer med i analysen. Ved at betragte disses indbyrdes relationer vil det ofte være muligt på forhånd at indse at en formindskning af én population sandsynligvis vil medføre en stigning i en anden, og derefter overveje andre strategier. Dette kunne eksempelvis være biologisk bekæmpelse i form af mere resistente afgrøder eller udsættelse af rovinsekter eller støer, som typisk vil have effekt på flere typer insekter fra begyndelsen. Udover de øvrige fordele undgås at en sprøjtegift trænger ned til grundvandet og forurener dette med vidtrækkende konsekvenser mange andre steder i omgivelserne. Endelig kan man vælge ikke at gøre noget, men i stedet lade en del



Figur 3.8: Systemtankegangen

af afgrøden gå til spilde, hvis man mener at miljøbevarelsen er vigtigere end den ekstra fortjeneste.

Således er der ved brug af systemtankegangen dukket adskillige alternative løsningsforslag op, og det er i langt højere grad muligt at vurdere konsekvenserne af et valg, ikke bare på delproblemet men på hele systemet.

### 3.5 Eksempler på anvendelser

For at undersøge hvordan andre havde angrebet en lokaliseringsproblemstilling ved hjælp af multimetodologi søgte vi på internettet og i en række databaser. Det viste sig dog hurtigt at det var endog meget vanskeligt at finde nogen tekster om emnet, idet der tilsyneladende ikke findes noget der er offentliggjorte på nettet.

Der kan findes mange forskellige måder at anvende multimetodologi i forhold til organisatoriske problemstillinger og adskillige eksempler på brug af MIP'er og heuristikker til løsning af lokaliseringsproblemer, men en kombination var svær at finde. Et enkelt eksamensprojekt der berørte dette emne fandtes dog: "Planlægning og optimering af logistiske problemstillinger i et kulturelt divergent miljø", [13]. Heri er der anvendt en blanding af hårde operationsanalytiske metoder til løsning af et lokaliseringsproblem og bløde metodikker til analyse af problematikker i forbindelse af sammenlægning af to virksomheder med markant forskellige kulturer.

I dette projekt er den bløde og den hårde problemanalyse forløbet parallelt og adskilt, således at problemet reelt set er blevet betragtet fra to forskellige

vinkler, hvorefter konklusionerne på disse tilgange er samlet i en handlingsplan for virksomheden. Der har ikke været direkte brugerinteraktion involveret i modelleringen af lokaliseringsmodellen, og vi har således ikke kunnet få nogle gode ideer herfra til hvordan man kunne angribe denne situation.

I designet af de workshopper der er afholdt i forbindelse med [13] indgår dele af flere forskellige bløde metodikker, bla. SWOT-matrix, fremtidsstjerne og visionskonference. Denne fremgangsmåde har inspireret os til også at blande metodikker, som vi syntes det passede bedst i den enkelte situation.

Vi har, i modsætning til forfatterne til [13], været så heldige at få reelle tal fra virksomheden og har derfor haft mulighed for at anvende brugerinteraktionen undervejs i modelleringsfaserne, og ikke kun som opsamling på problemer som kunne tænkes at opstå ved en omlægning af strukturen.

Alt i alt har vi således fra [13] hentet inspiration til at fortsætte hvor de slap og forsøge at finde videre anvendelser for den del af multimetodologien, som forener de hårde og de bløde metoder, samtidig med at vi har forsøgt at tilstræbe et højere niveau af brugerinteraktion.

## Kapitel 4

# Systemer og data

Dette kapitel præsenterer systembeskrivelser og dataindsamling der begge kan betegnes som casespecifikke aktiviteter.

### 4.1 Systembeskrivelse

I dette afsnit vil det blive beskrevet hvordan pakkeprocessen forgår på de forskellige distributionscentre i området.

#### 4.1.1 Eksisterende systemer

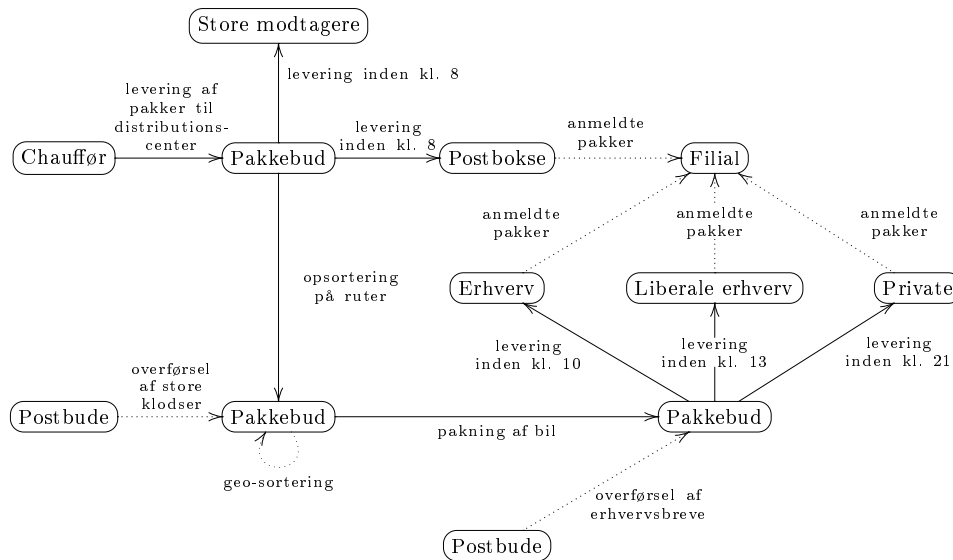
I forbindelse med et tidligere arbejde hos Post Danmark er der foretaget en analyse af pakkeprocessen, som resulterede i diagrammet vist i bilag E. Behandlingen af pakker er her delt op i fem faser: salg, indsamling, opsamlings-sortering, spredesortering og distribution. Af disse faser er det kun den sidste, distributionen, der indgår i det af os betragtede system. Distributionen kan desuden relativt enkelt afgrænses fra den øvrige proces, idet den ikke har nogen muligheder for at påvirke de øvrige delprocesser.

På alle distributionscentre ankommer pakkerne i postcontainere fra Københavns Pakkecenter i Brøndby (i det følgende BRC), idet hver container kun indeholder pakker til ét postdistrikt, mens disse i øvrigt er usorterede. Undtagelsen herfra er Ballerup hvor ca. halvdelen af pakkerne er ankomstsorтерet (dvs. en rute pr. postcontainer) når de ankommer fra BRC.

Arbejdsgangene der anvendes på de forskellige distributionscentre varierer en del, især pga. de forskellige fysiske forhold (plads, tilkørselsforhold, o.l.), men det generelle system er beskrevet i figur 4.1. På visse steder sker der en udveksling mellem post- og pakkebudene, således at post og pakker omdeles



samlet i industriområderne af enten post- eller pakkebudene, eller pakkebudene overtager nogle af de store “klodser” fra postbudene. Endvidere kører pakkebudene enkelte steder depotsække ud for postbudene om morgenen.



Figur 4.1: Pakkeprocessen

På figur 4.1 ses at pakkerne ankommer til de enkelte distributionscentre med lastbiler fra BRC. Herefter sørger et eller flere bude for at pakkerne bliver sorteret, hvorefter hvert enkelt bud pakker bilen til sin egen rute. På nogle af de steder hvor pakkebudene tager post med står de også selv for sorteringen af denne, mens de andre steder modtager posten sorteret fra postbudene. Endelig er der steder hvor enkelte pakkebude først møder efter at sorteringen er tilendebragt, og således blot behøver at pakke deres biler før de kan køre ud. I denne rapport vil der blive taget udgangspunkt i den let forenklede situation at hver rute betjenes af netop et bud, og at ingen bude betjener mere end én rute.

På større steder sorteres pakkerne enten fra et rullebord, transportbånd eller en rotunde (i det følgende betegnet under et som “bordet”). Til hjælp ved løft hertil findes en løfteanordning, kaldet en kip (se figur 4.2), hvor containeren køres ind i og kippes til pakkerne er i højde med bordet. Derefter køres pakkerne ud på bordet af et transportbånd der er monteret i kippen.

Langs bordets sider står et antal bude klar, og sorterer pakkerne herfra. Ved sorteringen fordeles pakkerne enten i køreoler eller postcontainere (typisk 2-3 pr. rute), som er placeret rundt om bordet. Køreolernes hylder er inddelt i 6-8 rum der er markeret med vejnavne (figur 4.3) således at pakkerne kan



Figur 4.2: Kippen

placeres i henhold til disse. Når der anvendes postcontainere vil hver tur typisk være fordelt på flere containere, fx svarende til henholdsvis erhvervs- og private pakker. Postcontainerne/kørereolerne kan herefter køres ud til bilerne, hvor pakningen foregår.

Når pakkerne lægges i bilerne gøres dette efter det såkaldte geosorteringsprincip. Dette er et udtryk for at hver rute er opdelt i 6-8 nummererede dele, således at hver af disse svarer til en bestemt del af bilens gulvareal (så pakker der skal afleveres først ligger nærmest bagdøren). Når sorteringen er foregået til kørereoler er geosorteringen sket samtidig, og pakkerne skal blot flyttes ind i bilen efter samme system. Når pakkerne er sorteret til postcontainere, er det nødvendigt at geosortere ved pakning af bilen hvilket øger tidsforbruget.

Der er af og til flere pakker på en tur, end der er plads til i bilen, hvorfor det er nødvendigt at buddet kører tilbage til distributionscentret for at hente resten af pakkerne (typisk en, højst to gange).

De metoder der anvendes ved pakkehåndteringen på de enkelte distributionscentre er nærmere beskrevet i bilag B.

### Sammenfatning

*[Dette afsnit er udeladt efter Post Danmarks ønske]*



Figur 4.3: Kørereol med opmærkning af vejnavne

#### 4.1.2 Fremtidige systemer

Baseret på observationer fra de forskellige distributionscentre og dialog med den overordnede ledelse for postområdet, kan man nu forsøge at opstille nogle ønsker og kriterier for de nye pakkecentre. Det antal postnumre som kan sorteres med en given sorteringsproces er begrænset af både rådighedsareal, sorteringsmetode og antal pakker, elementer som i høj grad hænger sammen.

Som udgangspunkt betragtes den metode, som aktuelt anvendes på et enkelt sted (metode 1, jf. tabel 4.1), idet denne metode er meget tidseffektiv samtidig med at der kan køres flere postområder serielt på det samme sorteringsanlæg. Denne metode kræver dog en del mere plads end en anden af de for aktuelt anvendte (metode 2, jf. tabel 4.1), men det vurderes at det med denne metode ikke er muligt at sortere større mængder, end dem, der i øjeblikket håndteres.

Det tilstræbes at arbejde hen imod processer, som håndterer ca. 1500 pakker om dagen, med et pladsbehov på ca. 500 m<sup>2</sup> pr. proces. Flere af disse processer kan evt. lægges under samme tag, hvorved man også åbner for muligheden for at give distributionscentret en selvstændig ledelse i stedet for den nuværende struktur, hvor bude der arbejder i på et center hvor der udelukkende behandles pakker, skal møde ind på et nærtliggende postkontor, og først derefter køre i postbilerne til pakkecentret, som ligger ca. 2 km væk.

For ikke fuldstændigt at udelukke muligheden for at anvende mindre centre,

medtager modellen desuden en række sorteringsmetoder, som har et mindre arealkrav end den ideelle metode, men også er mindre hensigtsmæssige ergonomisk. Disse metoder er alle baseret på Post Danmarks egen "best practice"-anbefalinger, og er generelt ergonomisk korrekte varianter af de metoder der anvendes i dag.

De anbefalede sorteringsmetoder kan opdeles i en række kategorier, afhængigt af det anvendte materiel. Disse er opsummeret i tabel 4.1.

Nr. Udstyr	
1	kip, køreereoler
2	kip, pakkecontainere
3	PC-løfter, køreereoler
4	PC-løfter, pakkecontainere

Tabel 4.1: Sorteringssystemer

## 4.2 Data

I dette afsnit beskrives processen med indsamling af data til anvendelse i forbindelse med den matematiske model, og hvordan disse data er behandlet for at kunne anvendes.

Som udgangspunkt opskrives en liste af nuværende og potentielle fremtidige distributionscentre, se tabel 4.2.

### 4.2.1 Afstandsberegninger

For at begrænse beregningsarbejdet i forbindelse med afstandene mellem distributionscentre og postruter, er der gjort en række tilnærmelser.

For det første er ruterne ikke betraget enkeltvis, men alle ruter i et postnummer er samlet i et punkt, som menes at kunne repræsentere disse. Disse punkter er fundet ved først at finde massemidtpunktet for henholdsvis industri- og privatruterne, og derefter lade midtpunktet mellem disse to repræsentere hele postnummeret (idet industri og privat hver anslås at udgøre ca. 50% af den samlede pakkemængde). Industrimidtpunktet er så vidt muligt fundet ved at indsamle oplysninger om typiske rutestartpunkter fra hvert af de berørte postnumre, og derefter finde midtpunktet for disse, mens privatmidtpunktet er estimeret ved at betragte et kort, og forsøge at kombinere dette med kendskab til tætheden af bebyggelsen i de enkelte områder. Beregningerne af disse punkter er implementeret i MATLAB, jf. bilag L.2, som ligeledes kan beregne afstandene baseret på de fundne punkter og skrive disse til en fil som kan anvendes af hhv. GAMS og det konstruerede C-program.

<b>Eksisterende faciliteter</b>	
hr	Herlev Postkontor, Herlev Ringvej 4, 2730 Herlev
sk	Skovlunde DC, Skovlunde Torv 6, 2740 Skovlunde
ba	Ballerup Postkontor, Banegårdspladsen 7, 2750 Ballerup
ly	Lyngby DC, Lundtoftegårdsvej 97, 2800 Lyngby
vi	Virum Postkontor, Skovridergårdsvej 60, 2830 Virum
na	Nærum DC, Rundforbivej 295, 2850 Nærum
so	Søborg Pakkecenter, Gladsaxevej 311, 2860 Søborg
hl	Hellerup Postkontor, Ryvangs Allé 81, 2900 Hellerup
ch	Charlottenlund DC, Rådhusvej 13, 2920 Charlottenlund
ve	Vedbæk DC, Vedbæk Stationsvej 18, 2950 Vedbæk
bi	Birkerød Postkontor, Stationsvej 40, 3460 Birkerød
<b>Nye, potentielle faciliteter</b>	
11	Sandtoften 9, 2820 Gentofte
12	Industriparken 4, 2750 Ballerup
13	Mileparken 38, 2730 Herlev
14	Nymøllevej 91, 2800 Lyngby
15	Rygårds Allé 8, 2900 Hellerup
16	Brudelysvej 4, 2880 Bagsværd
17	Skættekæret 11, 2840 Holte

Tabel 4.2: De betragtede lokaliteter

For de postnumre der er kommet til relativt sent i projektforsøget (2760, 2970, 3500) er det samlede rutemidtpunkt af tidshensyn tillempt direkte ved at betragte et kort over området, og efter bedste evne forsøge at tage hensyn til forholdet mellem beboelses- og industriområder.

Den anden væsentlige tilnærmelse der er gjort vedrører selve afstandsregningen mellem distributionscentre og rutemidtpunkter. Som konsekvens af antallet af afstande der skulle beregnes er disse beregninger blevet automatiseret, hvilket har medført et vist tab af præcision. Afstandene kunne i princippet være beregnet på baggrund af fx Kraks Ruteplan, men er i stedet estimeret som  $1.35 \cdot l_1$ . De endelige afstandsregninger var på dette tidspunkt implementeret i MATLAB, jf. sidste del af bilag L.2, men er senere implementeret i C (bilag M.1) for at give Post Danmark bedre mulighed for at anvende det endelige program.

Som udgangspunkt var det planen at anvende den generelle  $l_p$ -afstand til dette formål, og der blev foretaget en række testkørsler for at estimere parametrene i udtrykket  $k \cdot l_p$ .

Der blev som udgangspunkt valgt et repræsentativt dækkende område, hvor der blev udvalgt ti tilfældige punkter, hvorefter krak.dk [32] blev anvendt til at finde alle indbyrdes afstande mellem disse punkter. Herefter skrev vi et MATLAB-program til at beregne afstande mellem disse punkter (se bilag L.1 for kode), og kørte dette program for kombinationer af nogle udvalgte værdier for parametrene  $p$  og  $k$ . For hver af disse kombinationer kunne vi efterfølgende beregne summen af de kvadrerede afvigelser mellem de beregnede og de virkelige afstande. Efter den indledende kørsel udvalgte vi et større antal værdier for hver parameter i det interval der virkede mest lovende for på denne måde at indkredse den bedst mulige løsning.

Resultatet af første testkørsel fremgår af tabel 4.3. I denne og de følgende tabeller er måleresultaterne udtrykt for summen af de kvadrerede afvigelser for afstandene mellem de ti testpunkter.

Denne kørsel førte til en nærmere undersøgelse af intervallerne  $p \in [1.4; 1.7]$ ,  $k \in [1.55; 1.65]$ , hvis resultater fremgår af tabel 4.4.

På baggrund heraf kunne det konkluderes at kombinationen  $p = 1.6$ ,  $k = 1.61$  ville være et godt parametervalg, men det var herefter værd at undersøge hvor stor afvigelse der ville blive indført ved anvendelse af andre parameterkombinationer der var enklere at regne med, specielt  $p = 2$  og  $p = 1$ , som anvender hhv. kvadratrods- og numeriskfunktionen i stedet for de generelle rodfunktioner. Derfor udførtes en søgning efter en optimal  $k$ -værdi for hvert af disse  $p$ 'er, hvilket førte til resultaterne i tabel 4.5 og 4.6. På baggrund heraf blev det først konkluderet at  $p = 2$  ville medføre en acceptabel afvigelse ved valg af et tilhørende  $k$ , og herefter at det samme ville være tilfældet for  $p = 1$ . De endelige beregninger er derfor foretaget med parametrene  $p = 1$ ,  $k = 1.35$ , hvorved den endelige afstandsformel blev  $\text{dist}(a, b) = k \cdot l_1$ ,  $k = 1.35$ .

p \ k	1.5	1.55	<b>1.6</b>	1.65	1.7	1.75	1.8
1.1	12.29	13.18	14.44	16.06	18.06	20.43	23.17
1.2	11.55	11.95	12.69	13.76	15.18	16.94	19.04
1.3	11.40	11.44	11.79	12.47	13.46	14.77	16.39
1.4	11.56	11.33	11.40	11.76	12.43	13.40	14.67
<b>1.5</b>	11.87	11.44	<b>11.28</b>	11.42	11.84	12.54	13.53
1.6	12.26	11.66	11.34	11.29	11.51	12.00	12.77
1.7	12.69	11.96	11.49	11.29	11.35	11.68	12.27
1.8	13.11	12.27	11.70	11.37	11.31	11.50	11.95
1.9	13.52	12.60	11.93	11.51	11.34	11.41	11.74
2.0	13.91	12.92	12.17	11.67	11.41	11.39	11.62
2.1	14.28	13.23	12.41	11.84	11.51	11.41	11.56

Tabel 4.3: Resultater af første parameterestimering for afstandsberegninger

p \ k	1.55	1.57	1.59	1.61	<b>1.63</b>	1.65
1.4	11.33	11.32	11.36	11.45	11.58	11.76
1.45	11.36	11.31	11.30	11.34	11.42	11.56
1.5	11.44	11.34	11.29	11.29	11.33	11.42
1.55	11.54	11.41	11.32	11.28	11.28	11.33
<b>1.6</b>	11.66	11.50	11.38	11.31	<b>11.27</b>	11.29
1.65	11.81	11.61	11.46	11.36	11.29	11.28
1.7	11.96	11.74	11.56	11.43	11.34	11.29

Tabel 4.4: Resultater af uddybende parameterestimering for  $p$  og  $k$ 

1.6	1.65	1.7	<b>1.75</b>	1.8	1.85	1.9
12.17	11.67	11.41	<b>11.39</b>	11.62	12.10	12.82

Tabel 4.5: Resultater af parameterestimering for  $k$  ved  $p = 2$ 

1.2	1.25	1.3	<b>1.35</b>	1.4	1.45	1.5
13.24	12.37	11.90	<b>11.84</b>	12.20	12.96	14.14

Tabel 4.6: Resultater af parameterestimering for  $k$  ved  $p = 1$

### 4.2.2 Pakkernes fordeling på postnumre

I forbindelse med forsøgene på at indsamle oplysninger om pakkemængder fordelt på postnumre ud fra Post Danmarks eksisterende systemer, er der opstået en række problemer som følge af at disse tal i hovedreglen slet ikke registreres pr. postnummer, men i stedet pr. sorteringssted. For at få data der var opdelt på postnumre, og derved have mulighed for at behandle postnumrene separat og evt. efterfølgende adskille disse, var det derfor nødvendigt at foretage en sådan opsplitning.

Denne er baseret på at der for enkelte dage (i perioder af 4-7 dage) er adgang til postnummerspecifikke oplysninger, mens der på månedsbasis kun registreres de ovennævnte mængder opdelt på sorteringssteder. Således har vi gennem en periode i marts indsamlet disse data og herefter er der beregnet en gennemsnitlig procentfordeling for hvert af de tre steder hvor der i øjeblikket sorteres flere postnumre. Tallene foreligger på forskellige måder, hvorfor der ikke ligger lige mange dages målinger til grund for alle værdier.

På baggrund af disse fordelinger og pakketallene for månederne fra november 2003 til april 2004, har vi herefter kunnet beregne det gennemsnitlige daglige pakketal for hvert enkelt postnummer i denne periode (jf. excel-regneark på vedlagte cd, bilag O).

*[resten af dette afsnit er udeladt efter Post Danmarks ønske]*

### 4.2.3 Pålidelighed af data

Når der i en matematisk model bruges data, er det meget vigtigt at fastslå hvor realistiske disse data er og hvor meget de kan påvirke resultatet hvis de skulle være behæftet med fejl.

Estimeringen af modellens parametre er for fleres vedkomne relativt usikre, og det forsøges i det følgende derfor at teste modellens robusthed for udsving i disse. Sådanne tests skal generelt udføres på samtlige inddata, der kan være behæftet med en grad af usikkerhed, men i det følgende har vi valgt kun at udføre disse tests på de data, vi har beregnet. De data, der er estimeret med hjælp fra vores kontakter i Post Danmark har vi ikke forsøgt at ændre på, idet de afspejler produktivitet af metoder, løn, kvadratmeterpriser, kilometerpriser, priser på udstyr og faste omkostninger i forbindelse med at have et center åbent, o.l., hvilket enten er faste standardværdier der bruges på området eller variable, der udtrykker relationer mellem forskellige steder og metoder. Det ville blive ekstremt omfattende at lave robusthedstests for alle kombinationer af disse data, og det er derfor overladt til senere detailplanlægning at tage stilling til præcisionen af disse.

Idet den betragtede model er en lokaliseringsmodel, som samtidig tager hensyn til at alle pakker skal kunne sorteres indenfor et bestemt tidsrum, er



det for denne vigtigt at etablere indflydelsen på resultatet af fejl på netop pakkemængder og afstande.

Vi har derfor undersøgt hvilke resultater SA-proceduren kommer frem til givet hhv. en stigning og et fald på 10% i antallet af pakker. Denne faktor er påført pakkeantallet for samtlige postnumre, og antager således, at hvis der sker en stigning eller et fald, sker dette jævnt fordelt over det betragtede område. Givet en stigning i antallet af pakker, findes samme bedste løsning (se bilag N.2.3), hvilket indikerer at det er muligt at imødekomme en øget pakkemængde hvis den foreslåede løsning implementeres. Ydermere betyder dette at hvis de anvendte data for pakkemængder skulle være sat for lavt vil det ikke have nogen betydning for den fundne løsning. Hvis antallet af pakker falder, fremkommer en løsning, hvor et enkelt lille postnummer flyttes til en oplagt uhensigtsmæssig placering, men i øvrigt er uændret (se bilag N.2.4), hvilket resulterer i en meget lang køreafstand for et enkelt bud. Dette sker fordi det er langt dyrere at holde et center mere åbent end det er at køre denne afstand. Dette problem er dog kun af teoretisk karakter, idet der formentlig vil være muligt at finde en alternativ løsning når det kun drejer sig om et enkelt bud.

Idet afstandsregningerne er behæftet med en vis usikkerhed, har vi endvidere valgt at beregne placeringen af centrene for udsving på 10% til begge sider på afstandene mellem centrene og rutepunkterne. De bedste løsninger for både 10% længere afstande (se bilag N.2.1) og for 10% kortere afstande (se bilag N.2.2) giver den samme bedste løsning, og derfor kan vi konkludere at selvom der måtte være påført fejl i beregningerne af afstandene, påvirker disse formentlig ikke resultatet af SA-proceduren.

Baseret på ovenstående undersøgelser, kan det således konkluderes at den fundne løsning er forholdsvis robust overfor mindre ændringer i såvel afstande som antallet af pakker.

## Kapitel 5

# Matematisk model

I dette kapitel beskrives den udarbejdede matematiske model, og detaljerne omkring dens implementering.

### 5.1 Problemformulering og målsætning

Den matematiske model skal bidrage med en kvantitativ løsning på problemet, som i samspil med de bløde metoder skal føre til afklaringen af problemets endelige løsning. Denne model kan kun håndtere kvantitative størrelser, og for at få den bedst mulige løsning må vi således forsøge at udtrykke flest mulige af de indgående kvalitative kriterier på en kvantitativ form. Som resultat af denne model agter vi at præsentere en portefølje af løsninger, blandt hvilke den endelige løsning kan findes ved at betragte de kvalitative kriterier der ikke direkte har kunnet medtages i modellen.

Målet med modellen er at løse det lokaliseringsproblem, der består i at finde den mest hensigtsmæssige placering af distributionsscentrene, ud fra en række praktiske krav om centerkapaciteter og leveringstidspunkter. Dette bestemmes ved at minimere de samlede omkostninger hidrørende fra kørt afstand, husleje, driftsomkostninger og personalelønninger. Samtidig håber vi at løsningen kan bidrage til et bedre arbejdsklima, bedre arbejdsrutiner og en bedre udnyttelse af materiellet, således at medarbejderne oplever mindre nedslidning og færre sygedage.

### 5.2 Begrebsmodel

For at danne et overblik over den matematiske model der skal formuleres, har vi først opstillet en begrebsmodel for problemet, hvor modellen udtrykkes i

ord og symboler, men uden en stringent matematisk beskrivelse af begrænsninger, o.l.

De indices der er nødvendige for at kunne beskrive problemets løsning og datagrundlag er listet i tabel 5.1.

$i = 0, \dots, 23$	Lokaliteter, jf. tabel 4.2
$j = 0, \dots, 17$	Postnumre: 2730, 2740, 2750, 2760, 2800, 2820, 2830, 2840, 2850, 2860, 2880, 2900, 2920, 2930, 2950, 2970, 3460, 3500 (jf. figur 2.1)
$h = 0, 1, 2, 3$	Sorteringssystemer, jf. tabel 4.1
$\tau = 0, \dots, 18$	Betragtede tidsintervaller, længde 10 min.

Tabel 5.1: Indices

For en række af de betragtede lokaliteter er der mulighed for at etablere et “dobbeltcenter”, dvs. et center hvor der køres to parallelle sorteringsprocesser. Sådanne centre betragtes her som to separate centre, idet visse omkostninger spares når begge centre er åbne.

Antallet af tidsintervaller er beregnet ud fra det tidligste ankomsttidspunkt for pakkerne, og det seneste mulige sluttidspunkt for sorteringen af pakker til et postnummer.

### Variable

Herefter defineres de beslutningsvariable der er nødvendige for entydigt at kunne beskrive en løsning til problemet, disse findes i tabel 5.2.

$y_j = 0, \dots, 23$	Hvorfra omdeles postnummer $j$ ?
$x_i = [-1, 0, 1, 2, 3]$	Hvilken metode anvendes på center $i$ (-1 hvis $i$ er lukket)?

Tabel 5.2: Beslutningsvariable

Som supplement hertil er der ved implementeringen i C indført yderligere et antal variable, som øger overskueligheden og sparer nogle beregninger, disse fremgår af tabel 5.3.

På baggrund af disse variable kan der nu opstilles en række krav til modellens objektfunktion og begrænsninger.

Objektværdien skal indeholde følgende led:

- omkostning ved kørefastande for de anvendte centre
- for hvert åbent center: fast omkostning + kvadratmeterpris + metodeomkostning

$w \in \mathbb{N}$	Hvor mange bude anvendes til sortering?
$\pi_i \in \mathbb{N}$	Hvor mange postnumre sorteres på center $i$ ?
$\gamma_i$	Indeholder en liste over de postnumre der sorteres på center $i$
$\rho_{i\tau}$	Hvor mange bude kan der anvendes på center $i$ i tidsrum $\tau$ ?

Tabel 5.3: Supplerende variable

- arbejds løn til budene for det nødvendige antal sorteringstimer
- omkostninger for indkøb af nyt udstyr (idet der tages højde for hvad der findes i forvejen og kan genbruges)

### Begrænsninger

De begrænsninger løsningen skal overholde kan opdeles i to grupper: En række “bogholderibegrænsninger” som er nødvendige for at sikre at løsningen er meningsfyldt, og en række begrænsninger som udtrykker de “reelle” krav til modellen (fx arealkrav som skal overholdes og at der skal være tid til at foretage sorteringen).

Den førstnævnte gruppe er krav som er intuitive, men typisk skal medtages eksplicit ved fx en konstruktionsimplemtering, og er:

- alle postnumre skal betjenes
- intet postnummer skal sorteres mere end et sted
- der skal være sammenhæng mellem  $y$ - og  $x$ -variable, således at et center der anvendes ifølge  $y$ , skal have tildelt en metode i  $x$ , og centre der ikke anvendes i  $y$  skal være lukkede i  $x$  (og vice versa)
- værdierne for samtlige supplerende variable skal være i overensstemmelse med beslutningsvariablene, herunder skal det samlede antal anvendte sorteringstimer ( $w$ ) beregnes ud fra de anvendte metoder

Disse begrænsninger har dog ikke været nødvendige ved den aktuelle heuristiske implementering, idet denne tager udgangspunkt i en initial løsning, som forventes at opfylde disse krav, og blot sørger for at de bevares ved efterfølgende beregninger.

De øvrige begrænsninger er givet i den følgende liste, som giver en verbal formulering af modellens brugbarhedskriterier:

- afhængigt af metoden kan der højst sorteres et vist antal postnumre på hvert center
- hver sorteringsmetode stiller et minimumskrav til arealet for at kunne anvendes på et center

- der kan ikke anvendes flere bude ved sorteringen end der er til rådighed på baggrund af hvilke postnumre der hører til på centret
- der er en (metodeafhængig) øvre grænse for hvor mange bude der kan være beskæftiget samtidig ved en sorteringsproces
- på hvert center skal det være muligt at sortere alle pakker til alle postnumre, under hensyntagen til pakkernes ankomsttidspunkter og budenes afgangstidspunkter:
  - for hvert enkelt postnummer kan sorteringen ikke påbegyndes før alle pakker er ankommet, og sorteringen skal være afsluttet når første bud tager afsted. For det første postnummer der sorteres på et center antages halvdelen af pakkerne dog at ankomme i tilstrækkelig god tid inden det opgivne ankomsttidspunkt, til at disse kan sorteres uden at påvirke den øvrige tidsplan (omkostningen medregnes dog stadig)
  - afgangstidspunktet for budene afhænger af starttidspunktet på ruten og afstanden mellem distributionscentret og startadressen
  - det maksimale antal bude der kan anvendes til sortering i et givet tidsrum afhænger af det antal bude der er til rådighed på centret (dvs. hvilke postnumre der hører til), den anvendte metode, samt antallet af bude der er taget afsted
  - hvert postnummer sorteres indenfor et antal hele, sammenhængende tidsintervaller

På baggrund af de ovennævnte krav til modellen, kan der opstilles en liste over parametre, som er nødvendige for at modellen kan udtrykkes og løses. Disse er angivet i tabel 5.4.

Omkostningen ved rutebetjening findes, som vist i tabellen, som en funktion af distributionscentret og de ruter der skal betjenes. For rutebetjeningen er dette tal multipliceret med 2, idet omkostningen skal dække kørsel i begge retninger, dvs. morgen og eftermiddag. Det kan argumenteres at denne faktor i stedet bør være 4, da budene i praksis kører retur til frokost og henter resten af pakkerne. I praksis vil de bude der skal køre lange ture dog kunne anvende større biler, hvor alle pakker kan være fra morgenstunden, og frokostpausen vil derfor kunne afholdes et andet sted, fx på postkontorerne.

### 5.3 Modellen

I dette afsnit beskrives den matematiske model, som blev anvendt til den endelige løsning af det stillede problem. Endvidere beskrives en række egenskaber ved denne model, og deres indflydelse på løsningsmetoderne.

Den endelige model er løst vha. en heuristik i C, og kan derfor ikke umiddelbart udtrykkes ved en traditionelt opskrevet matematisk model. Vi har

$c_{ij}$	Omkostningen ved at distribuere postnummer $j$ fra center $i$ , givet ved $c_{ij} = \sum_i(2b_j \cdot \sum_j(d_{ij} \cdot o))$ , idet: $d_{ij}$ Afstanden fra center $i$ til rutemidtpunktet i $j$ $o$ Kilometeromkostning for postbiler
$p_j$	Gennemsnitlig dagligt antal pakker til postnummer $j$
$b_j$	Antal bude der kører i postnummer $j$
$\alpha_j$	Ankomsttid for de sidste pakker til postnummer $j$
$\beta_{j\tau}$	Antal bude i postnummer $j$ der påbegynder omdelingen i interval $\tau$
$a_i$	Areal af center $i$
$f_i$	Omkostningen ved at have center $i$ åbent
$g_i$	Kvadratmeterpris for center $i$
$\bar{m}_h$	Maksimalt antal bude der kan være beskæftiget ad gangen ved anvendelse af metode $h$
$l_h$	Vedligeholdelsesomkostningen ved et center der anvender metode $h$
$q_h$	Maksimalt antal postnumre der kan sorteres pr. sted med metode $h$
$e_h$	Effektivitetsfaktor for metode $h$ , antal pakker pr. mandtime
$v_h$	Minimumsareal for anvendelse af metode $h$
$o_k, o_s, o_b$	Indkøbspris for hhv. kip, hest og rullebånd
$n_k, n_s, n_b$	Hvor mange haves på forhånd af hhv. kippe, heste og rullebånd
$u$	Timeløn

Tabel 5.4: Parametre

derfor valgt først at forsøge at gennemgå de indgående begrænsninger i matematisk notation, og derefter gennemgå selve implementeringen vha. rute-diagrammer.

Først kan objektværdien udtrykkes matematisk, på baggrund af den verbale beskrivelse i det foregående afsnit, som det fremgår af ligning 5.1.

$$\begin{aligned} \min obj = & \sum_{i,j:y_j=i} c_{ij} + \sum_{i:x_i \neq -1} (f_i + a_i \cdot g_i) + \sum_{i,h:x_i=h} l_h + u \cdot w \\ & + \max(0, \nu_k - n_k) \cdot o_k + \max(0, \nu_h - n_h) \cdot o_h + \max(0, \nu_b - n_b) \cdot o_b \end{aligned} \quad (5.1)$$

For læselighedens skyld er her indført et sæt midlertidige variable,  $\nu_k, \nu_h, \nu_b$  som hhv. angiver antallet af anvendte kippe, heste og rullebånd.

Indledende findes der en række begrænsninger der som nævnt skal være overholdt, og som automatisk vil være det i dette projekts beregninger, hvis de er overholdt i den initiale løsning. De er dog stadig væsentlige, og skal medtages hvis man forsøger at verificere gyldigheden af den initiale løsning, hvorfor de er vist i ligning (5.2)-(5.6).

$$x_i \begin{cases} > -1, & \exists j : y_j = i \\ = -1, & \text{ellers} \end{cases} \quad \forall i \quad (5.2)$$

$$\pi_i = \sum_{j:y_j=i} 1 \quad \forall i \quad (5.3)$$

$$j \in \gamma_i \Leftrightarrow y_j = i \quad \forall i, j \quad (5.4)$$

$$\rho_{i\tau} \leq \sum_{j:y_j=i} (b_j - b_{j\tau}^{\text{ude}}) \quad \forall i, \tau \quad (5.5)$$

$$\rho_{i\tau} \leq \bar{m}_h \quad \forall i, h, \tau : x_i = h \quad (5.6)$$

I begrænsning (5.5) er der indført en midlertidig variabel  $b_{j\tau}^{\text{ude}}$  som angiver det antal bude fra postnummer  $j$  der er kørt og derfor ikke har mulighed for at deltage i sorteringen i tidsrum  $\tau$ . Dette tal kan beregnes ud fra oplysningerne om hvornår omdelingen skal påbegyndes for hvert enkelt bud, afstanden fra sorteringsstedet til postnummeret samt hastigheden.

Herefter kan modellens mere direkte begrænsninger opskrives på baggrund af formuleringerne i det foregående afsnit.

$$\pi_i \leq q_h \quad \forall i, h : x_i = h \quad (5.7)$$

$$v_h \leq a_i \quad \forall i, h : x_i = h \quad (5.8)$$

Endelig skal løsningen opfylde at det skal være muligt at finde en sorteringsplan således at alle pakker bliver sorteret til tiden. Dette gøres i den implementerede SA-procedure ved hjælp af en simuleringstilgang, hvor programmet for hvert sorteringscenter undersøger alle mulige sorteringsrækkefølger, og stopper når der er fundet en rækkefølge hvor alle postnumre kan

sorteres inden for den tilladte tidsgrænse. Hvis en sådan ikke kan findes er den undersøgte løsning ikke brugbar, og der må vælges en ny løsning. I den aktuelle implementering er der højst fire postnumre samlet på hvert center, hvilket giver  $4! = 24$  mulige sorteringsrækkefølger, og det er således muligt at foretage en udtømmende søgning.

## 5.4 Heuristisk løsning

I dette afsnit gennemgås den foretagne implementering af SA-proceduren i C, ved anvendelse af en række rutediagrammer, der illustrerer programmets struktur.

Størrelsen af de indgående index-sæt er defineret vha. præprocessordirektiver, og det er således relativt enkelt at ændre disse størrelser og compilere programmet igen, hvis et sådant behov skulle opstå. Det er dog ikke muligt at ændre disse størrelser uden at recompile programmet.

Den implementerede hovedprocedure er overordnet illustreret i figur 5.1. På dette niveau er implementeringen i store træk i overensstemmelse med standardproceduren for SA, som beskrevet i afsnit 3.1.3. Denne implementering kan ikke håndtere ikke-brugbare løsninger, og returnerer ingen løsninger hvis den angivne initielle løsning ikke er brugbar.

Indledningsvis indlæses et antal filer. Disse indeholder de forskellige data, som benyttes af programmet, og kan således ændres af brugeren. Dette gælder for alle parametre der er nævnt i tabel 5.4. Enkelte af disse parametre anvendes med andre enheder end de indtastes med, og der sker således enkelte konverteringer efter indlæsningen (typisk fra timer til minutter). Endvidere indlæses de parametre som benyttes af SA-proceduren (start- og sluttemperatur, nedkølingsfaktor samt antallet af iterationer pr. temperaturtrin), som således også kan ændres. Dette er dog mere gjort med henblik på den interne programtestning end de endelige brugere.

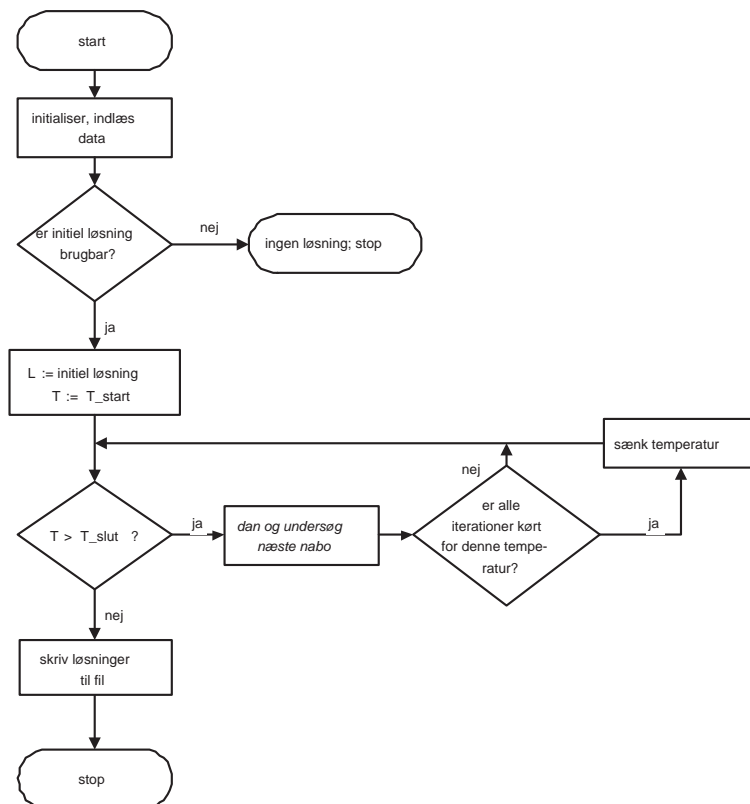
Temperaturen sænkes hver gang det fastsatte antal iterationer er gennemført på et temperaturtrin.

Programmets overordnede løkke fortsætter indtil temperaturen når ned til den fastsatte sluttemperatur, hvorefter der dels udskrives en fil med objektværdien af den initielle løsning og de ti bedste besøgte løsninger i tekstform, dels en fil med den bedste fundne løsning, i et format så den umiddelbart kan anvendes som initial løsning ved en efterfølgende kørsel.

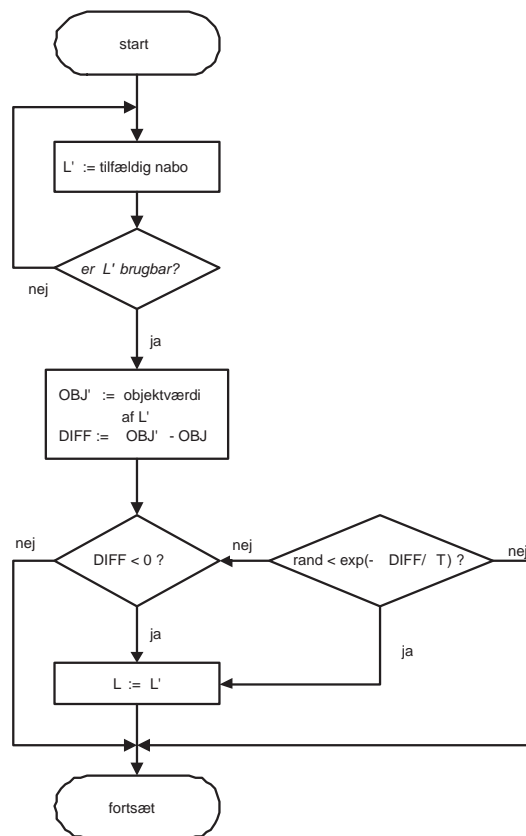
I figur 5.2 er illustreret hvordan implementeringen håndterer naboudvælgelsen og -undersøgelsen.

En "tilfældig" nabo vælges ved at der med sandsynligheden 45% foretages en ombytning af to postnumre, ligeledes med 45% flyttes et enkelt postnummer,





Figur 5.1: Rutediagram for det overordnede program; naboundersøgelsen er nærmere beskrevet i figur 5.2



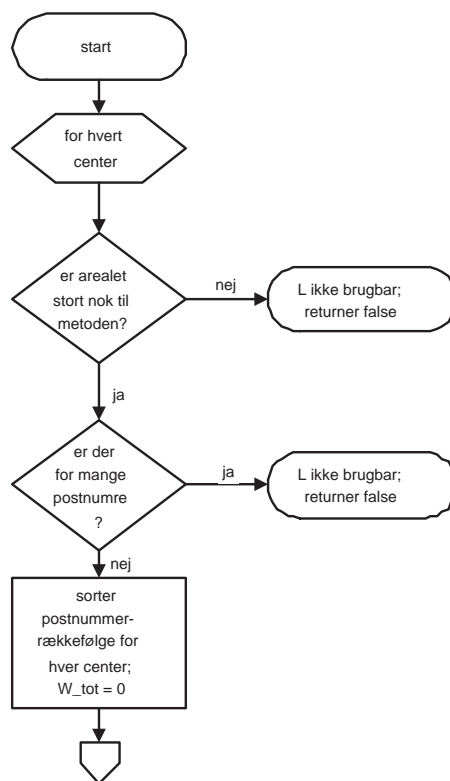
Figur 5.2: Rutediagram for naboudvælgelsen; brugbarhedsundersøgelsen er beskrevet i figur 5.3-5.4

og at der med 10%'s sandsynlighed foretages en metodeændring for et distributionscenter. I alle tilfælde foretages valget af postnummer/center/metode, efter en randomiseringsprocedure, der vælger alle med samme sandsynlighed.

Herefter gennemføres et brugbarhedstjek af den fundne nabo, og hvis denne ikke er brugbar, vælges en anden med det samme. Dette vil således ikke blive regnet som en gennemført iteration.

Herefter sammenlignes objektværdien af naboen med objektværdien af den aktuelle løsning, og naboen vælges som ny aktuel løsning, hvis den er bedre, og ellers med sandsynligheden  $e^{-DIFF/T}$ .

Figurerne 5.3 og 5.4 viser det brugbarhedstjek der gennemføres som en central del af proceduren.



Figur 5.3: Rutediagram for første del af brugbarhedstjekket

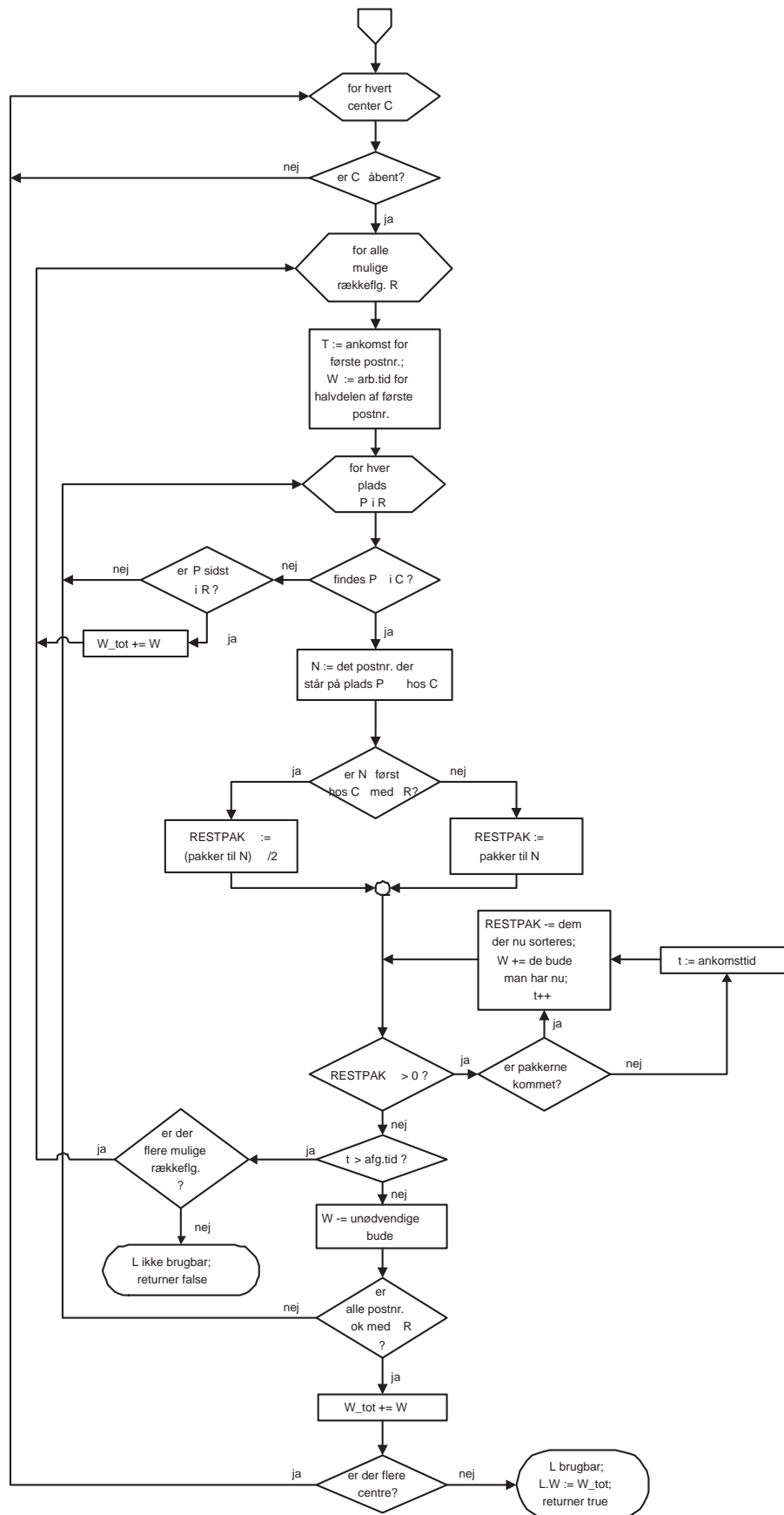
Brugbarhedsfunktionen gennemfører først, for alle åbne centre, et tjek af om arealkravet er opfyldt for den benyttede metode, og dernæst at der ikke sorteres for mange postnumre (i forhold til den anvendte metode) fra noget center. Herefter sorteres postnumrene på hvert center, således at de optræder i den rækkefølge der mest sandsynligt vil give mulighed for at finde en brugbar tidsplan ved det efterfølgende tjek. Denne rækkefølge er defineret ved at

det postnummer der har flest pakker placeres først, og de efterfølgende postnumre sorteres efter afgangstidspunkt. Herved minimeres det samlede antal pakker der skal sorteres inden for tidsrummet, idet halvdelen af pakkerne til det første postnummer ikke medregnes heri. Valget af rækkefølgen for de øvrige postnumre skyldes at der er relativt stor variation i afgangstidspunkterne, og der er størst chance for at finde en brugbar rækkefølge hurtigt ved at de postnumre der har senest afgangstid sorteres sidst.

Den anden, og mest omfattende, del af brugbarhedstjekket er beskrevet i figur 5.4, og undersøger hvorvidt der kan findes en sorteringsrækkefølge som gør det muligt at sortere de nødvendige postnumre. Dette gøres ved at betragte de åbne distributionscentre et efter et, og for hvert af disse, om nødvendigt, undersøge alle potentielle rækkefølger for at finde en der er muliggør dette. Disse rækkefølger undersøges som  $\{1, 2, 3, 4\}$ ,  $\{1, 2, 4, 3\}$ ,  $\dots$ ,  $\{4, 3, 2, 1\}$ .

Betragtningen af et postnummer påbegyndes til det tidspunkt hvor pakkerne fra det første postnummer ankommer, og hvor halvdelen af pakkerne antages at være sorteret (tidsforbruget for det aktuelle postnummer,  $W$ , initialiseres med det nødvendige antal tidsblokke). Herefter undersøges de (maksimalt) fire postnumre fra det aktuelle distributionscenter et ad gangen i den dikterede rækkefølge (og springes over hvis der ikke står noget postnummer på denne plads). For et givet postnummer forløber undersøgelsen ved at der betragtes et tidsinterval ad gangen, og RESTPAK (antallet af resterende/usorterede pakker) sænkes med det antal der kan sorteres i intervallet, ud fra sorteringsmetoden og den aktuelle bemanning. Tilsvarende hæves  $W$  svarende til bemanningen, og  $t$  hæves med 1.

Efter hvert enkelt postnummer er færdigsorteret undersøges om afgangstidspunktet er overskredet, og hvis dette er tilfældet springes videre til næste rækkefølge, hvis en sådan findes. Ellers er den undersøgte løsning ikke brugbar, og funktionen returnerer *false*.



Figur 5.4: Rutediagram for anden del af brugbarhedstjekket

### 5.4.1 Parameterestimering

For at afprøve hvorvidt der er grund til at anvende en SA-procedure på det aktuelle problem har vi indledningsvis gennemført en *quenching*, dvs. en kørsel med meget hurtig afkøling, svarende til en procedure der næsten er en direkte søgning. Resultaterne heraf (se bilag N.1.1) er efterfølgende sammenlignet med en SA-kørsel med tilfældige, rimelige parametre (bilag N.1.2). Objektivværdien for den bedste løsning til *quenching*-proceduren var 41990, mens SA-proceduren kom frem til en løsning med værdien 34560, en forbedring på ca. 18%, hvilket bekræftede os i at der var en forbedring at hente ved at anvende SA-proceduren på problemet.

Den initiale løsning der blev anvendt til denne test er en løsning der er genereret tilfældigt og som er langt fra optimal.

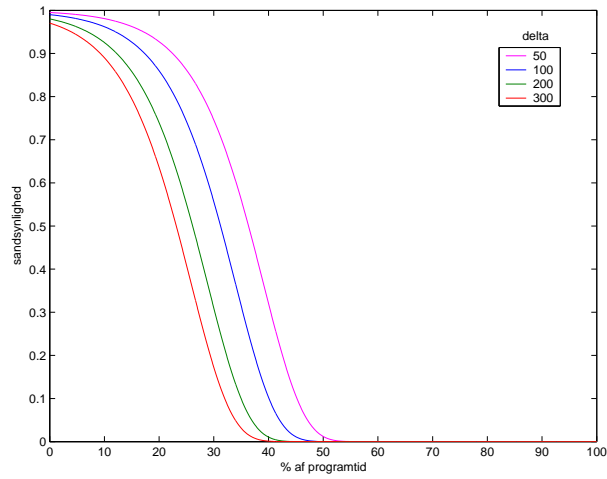
Et meget vigtigt element i simuleret udglødning er at vælge de rigtige parametre, således at sandsynligheden for at springe til en dårligere løsning i starten er tilstrækkeligt høj til at kunne undvige lokale optima og i slutningen er så lille, at man bliver ved den gode løsning.

De parametre der skal estimeres til den implementerede SA-procedure er starttemperaturen  $T_{start}$ , sluttemperaturen  $T_{slut}$ , den faktor hvormed temperaturen falder  $T_{faktor}$  og det antal iterationer der køres på hvert temperaturtrin  $t_{steps}$ .

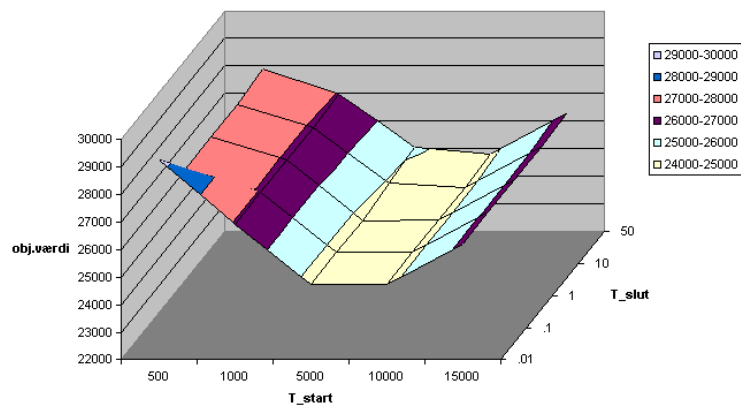
Sandsynligheden for at der vælges en løsning der er dårligere end den aktuelle er udtrykt ved  $p = e^{-\frac{\delta}{T}}$ , hvor  $\delta > 0$  er forskellen mellem objektværdierne for den nye løsning og den eksisterende løsning.  $p$  afhænger således både af hvor meget dårligere den nye løsning er og hvilken værdi  $T$  har. I figur 5.5 er afbildet sandsynligheden for at en løsning bliver taget som funktion af hvor stor en procentdel af iterationerne der er afviklet. De fire kurver viser sandsynligheden for hhv.  $\delta = 50, 100, 200, 300$ , og det kan observeres at på et givet tidspunkt i programmet vil der være større sandsynlighed for at vælge en dårligere løsning, hvis differensen mellem den aktuelle og den nye løsning er lille.

Når man skal estimere værdierne for de forskellige parametre findes der ikke nogen generel regel, men man kan sige at sættes sluttemperaturen, temperaturfaktoren og antal iterationer pr. temperaturtrin højt og sluttemperaturen lavt, vil man med stor sandsynlighed komme tæt på den optimale løsning. Vi besluttede at vi ville teste hvordan vi skulle sætte disse faktorer for at vi med et rimeligt antal iterationer kunne komme ned på en tilpas lav objektværdi. Således kørte vi først ti gange med de fastholdte værdier  $t_{steps} = 60$  og  $T_{faktor} = 0.95$ , hvor  $T_{start}$  og  $T_{slut}$  varierede, hvilket er afbildet på figur 5.6.

Af denne fladegraf kan det observeres at for  $T_{start} \in [5000; 10000]$  har værdien af  $T_{slut}$  tilsyneladende ikke stor betydning, men der er dog en tendens der

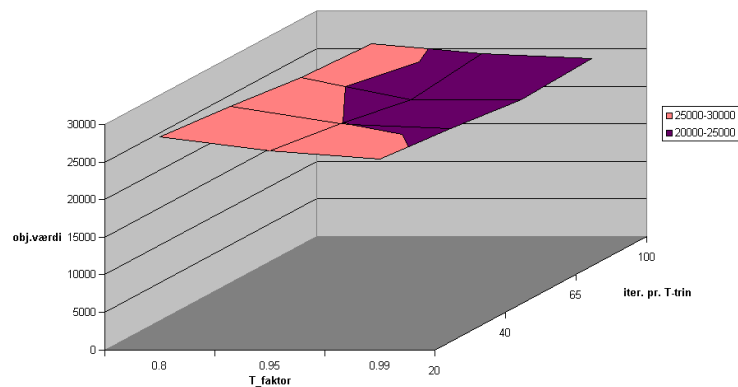


Figur 5.5: Illustration af sandsynligheden for at vælge en dårligere løsning

Figur 5.6: Estimering af  $T_{start}$  og  $T_{slut}$

peger mod lavere værdier. At objektværdien tilsyneladende stiger igen ved højere værdier af  $T_{start}$  må tilskrives at for meget høje værdier vil sandsynligheden længe være høj for at vælge en dårligere løsning, og randomisering derfor sker i for lang tid, således at man risikerer at hoppe til en dårlig løsning sent i kørslen og derefter ikke kunne nå at komme væk igen.

Vi fastsatte  $T_{start} = 10000$  og  $T_{slut} = 0.1$  og kørte derefter på samme vis forsøg med varierende værdier for  $t_{steps}$  og  $T_{faktor}$ . Resultatet af disse kørsler kan ses på figur 5.7, hvoraf det, ikke overraskende, fremgår at jo flere iterationer der køres pr. trin og jo højere  $T_{faktor}$  der anvendes, jo bedre blev den afsluttende objektværdi.



Figur 5.7: Estimering af  $T_{faktor}$  og  $T_{steps}$

Vi kunne dog sammenligne den fundne objektværdi med resultatet af en test kørt med parametrene:

$T_{start}$  : 10000

$T_{slut}$  : 0.01

$T_{faktor}$  : 0.9999

$t_{steps}$  : 100

som tog 3 timer, og vi konkluderede derfor at et parametersæt der gav samme løsning som denne ville give en acceptabelt god løsning.

Baseret på disse tests fastsatte derfor vi et sæt parametre som følger:

$T_{start}$  : 10000

$T_{slut}$  : 0.1

$T_{faktor}$  : 0.99

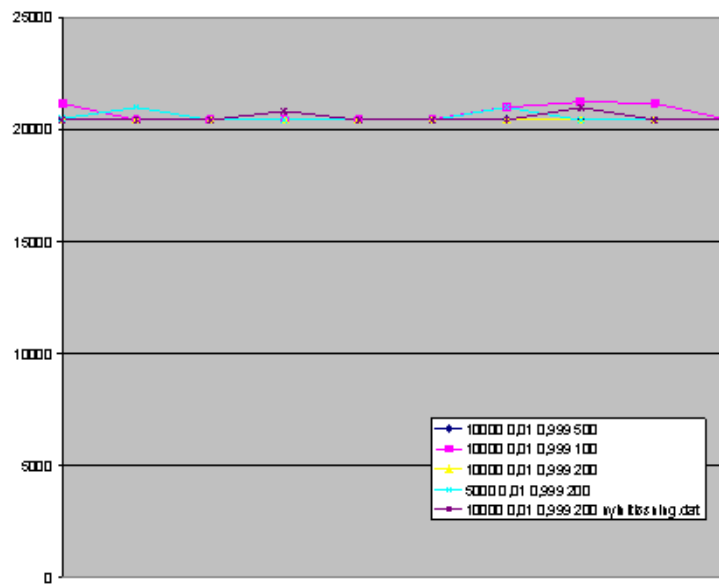
$t_{steps}$  : 100

For disse parameterværdier observerede vi efterfølgende at der var en tendens til at de var afhængige af den *seed*, *random*-funktionen i C initialiseredes med, og vi besluttede således at teste om dette også var noget, man kunne komme ud over ved at øge antallet af iterationer. Ved at plotte en serie af resultater, der var dannet ud fra forskellige seeds, se figur 5.8, kan det ses at der er



en meget lille forskel i objektværdierne, ca. 5%. Det bemærkes dog at det jævnes effektivt ud og man opdager tilsyneladende konsekvent den bedste løsning hvis parametersættet er:

$T_{start}$  : 10000  
 $T_{slut}$  : 0.01  
 $T_{faktor}$  : 0.999  
 $t_{steps}$  : 200



Figur 5.8: *Seed*-afhængig variation

Idet køretiden for programmet ikke er et stort problem og det kan køres på en standard-PC med disse parametre på ca. 10 minutter, er det derfor valgt at anvende disse parametre, hvilket giver en rimelig sikkerhed for at opnå en god løsning til problemet.

## 5.5 Løsning

*[Dette afsnit er udeladt efter Post Danmarks ønske]*

## Kapitel 6

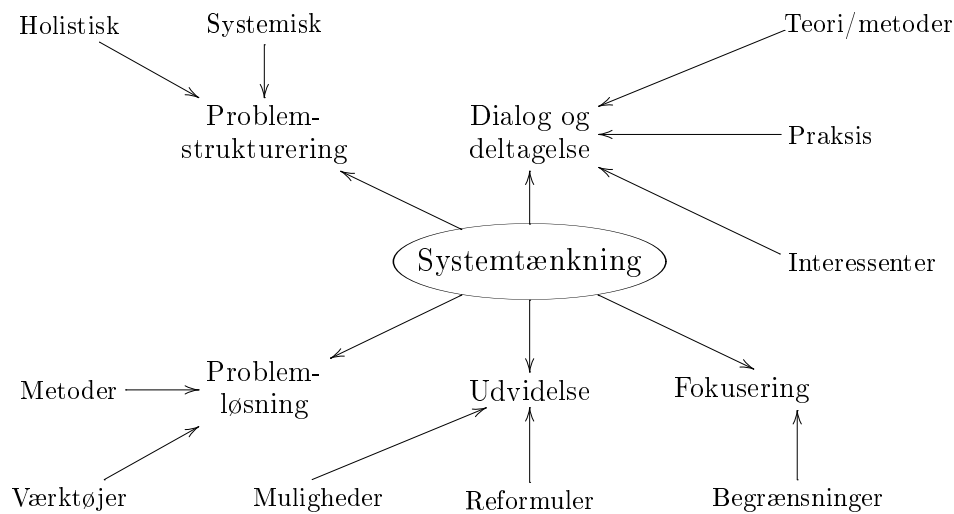
# Problemløsningsproces

I dette kapitel vil vi redegøre for vores valg af overordnet fremgangsmåde til håndtering af den problemsituation, vi sammen med Post Danmark har valgt at betragte. Desuden vil vi her beskrive den proces vi har gennemgået i løbet af projektperioden samt argumentere for de valg vi har truffet i projektets forskellige faser.

Vi har i løbet af vores studium anvendt mange forskellige former for hårde problemløsningsmetodikker, men har også senere i studiet stiftet bekendtskab med de bløde metodikker. Vi mener at det er relevant at anvende en vis mængde bløde metodikker og værktøjer til løsning af den aktuelle problemstilling, idet dette projekt i høj grad handler om ændring af processer, der influerer på de ansattes arbejdsmiljø og kan medføre ændrede arbejdssteder samt omstillinger til andre arbejdsmetoder end de vante. Vi lægger dog stadig stor vægt på brugen af de hårde metoder, og det er således denne del af projektet der er den bærende. De bløde tilgange bruges på forskellig vis i nogle af projektets faser, dels til at få klarlagt hvordan pakkeprocessen forløber på de forskellige eksisterende centre, dels til at få feedback på den indledende model og endelig til at strukturere og formulere de nye krav til modelleringen, der opstår som følge af interaktion med brugerne.

Vi har valgt en helhedsorienteret tilgang til processen i stedet for at forsøge at gå meget i detaljer med et delproblem, og har således været inspirerede af systemtankegangen [10]. Både planlægningsfasen og den praktiske udførelse af projektet tager udgangspunkt i figur 6.1, hvor de forskellige dele af en problemløsningsproces er beskrevet.

Figuren skal læses sådan at centralt i alle dele af processen står den overordnede og samlende systemtankegang, som lægger op til at man anskuer problemet holistisk, men erindrer alle relationer, der måtte gøre sig gældende for problemet. Figuren skal ikke læses fra en ende til den anden, men forstås som et oplæg til en iterationsproces, hvor man besøger hvert koncept



Figur 6.1: Anvendelse af systemtankegangen, figur fra [22] (vores oversættelse)

flere gange i løbet af processen. Man kan starte på et vilkårligt sted i figuren og bevæge sig derhen, hvor det i den enkelte situation måtte være mest relevant, og der er altså ikke som sådan en overordnet opskrift man kan følge fra start til slut. Det er vigtigt at relatere til hvert enkelt koncept mindst én gang i løbet af processen, men oftest vil man opnå et bedre og mere virkelighedsnært overblik for hver gang man har været et nyt sted. Det er derfor meget vigtigt at foretage så mange iterationer, som det er muligt, indtil man føler at problemet er tilstrækkeligt struktureret, dækker nok aspekter, har fokus det rette sted og er løst på en tilfredsstillende måde, både i forhold til problemejeren, brugerne og facilitatoren.

I de forskellige faser af problemløsningsprocessen har vi flere gange bevæget os rundt mellem de forskellige koncepter, der er afbildet på figuren. Ved at tage eksempelvis problemstrukturering, dialog, udvidelse og fokusering op flere gange i løbet af projektet, mener vi at have opnået en mere virkelighedsnær og realistisk behandling af problemet.

I det følgende vil projektets forskellige faser blive beskrevet i yderligere detaljer.

## 6.1 Indledende faser

I dette afsnit vil vi beskrive forløbet af projektets indledende faser, herunder hvordan vi har angrebet problemstruktureringen og de indledende studier af virksomhedens arbejdsgange og problemer.

### 6.1.1 Projektplanlægning

I projektets første fase forsøgte vi at få defineret og afgrænset problemet ved at holde møder med vores kontaktpersoner i Postområdet Nordsjælland, for på denne måde at sikre os at vores mål med projektet svarede til deres forventninger og fastslå i hvilken grad vi kunne få stillet ressourcer til rådighed. Det var i starten meget svært at finde ud af i hvilken retning projektet skulle drejes, og derfor diskuterede vi længe internt og med vores kontaktpersoner hvad vi kunne få ud af samarbejdet, og hvordan det samlede forløb skulle se ud. Vi besluttede på dette tidspunkt at projektet skulle forløbe på en måde, hvor et samspil mellem hårde og bløde tilgange var mulig hele vejen igennem, hvilket indebar at vi hele tiden skulle være villige til at ændre projektets retning, hvis vi fik input fra vores samarbejdspartnere/brugere, der sagde at en anden retning måske var mere givtig.

Vi forsøgte endvidere at afklare hvilke metoder vi kunne tænke os at det ville være hensigtsmæssigt at anvende i forskellige faser af projektet, og at finde relevant litteratur om disse på internettet og biblioteket. Valget af metodikker baserede vi ligeledes på ønsket om at de bløde og de hårde skulle supplere hinanden igennem hele forløbet, og således valgte vi at beskæftige os med en multimetodologisk tilgang til det konstaterede *mess*.

Af bløde metodikker planlagde vi at anvende en SSM-analyse af problemet og i denne forbindelse afholde af en visionskonference i starten af forløbet, for at få fastlagt og struktureret problemstillingen. Herefter ville vi modellere en løsning ud fra de kriterier, som vi i første omgang havde fastsat, og implementere en foreløbig model i GAMS. Som opfølgning på modelleringen påtænkte vi igen at samle folk til en workshop, og her bruge en SWOT-matrix til at få fastlagt hvilke detaljer, der skulle modelleres, og hvilke der kunne udelades. Ud fra resultaterne af SWOT-analysen skulle vi herefter finjustere modellen, så den tog hensyn til de stillede krav. Denne plan viste sig at holde stik med hensyn til opdelingen mellem bløde og hårde tilgange, mens valget af metodikker i flere af faserne blev ændret senere.

En meget vigtig del af den indledende fase var at få nedskrevet en problemformulering for projektet, og således i højere grad få fastlagt emneafgrænsningen og omfanget af projektet. Vi forestillede os på dette tidspunkt at vi ville betragte et større område på et overordnet niveau, og her modellere placeringen af kommende distributionscentre, uden at gå ned i ruteplanlægning, men at vi senere havde mulighed for at ændre niveau, således at vi betragtede et mindre område i en større detaljeringsgrad, enten vedrørende rutelægning, indretning af lokaler eller lignende.

Denne fase resulterede således i en foreløbig problemformulering samt et overblik over et antal metodikker som kunne være anvendelige senere i projektet.

### 6.1.2 Etnografiske studier

Arbejdet i projektets indledende faser bestod hovedsageligt i at skabe overblik over den nuværende situation og beslutte i hvilken retning projektet skulle styres. I denne forbindelse var vi blandt andet på besøg på alle områdets distributionscentre, dels for at få en fornemmelse af den sorteringsproces der foregik, dels for at have et billede af hvordan de enkelte steder så ud, hvilket vi ville få brug for senere i forbindelse med selve modelleringen og dataestimeringen. Valget at besøge alle steder og ikke kun nogle få "repræsentativt" udvalgte, viste sig endvidere at være fornuftigt, idet vi hurtigt opdagede at der var stor variation i de metoder der blev anvendt ved sorteringen af pakkerne på de forskellige steder. Ved ikke at besøge alle steder ville vi således have forbigået denne mangfoldighed, som var medvirkende til at henlede vores opmærksomhed på nogle samkøringsproblemer, som det vil være nødvendigt at overveje i implementeringsfasen.

<p><b>Spørgsmål</b></p> <p>Arbejdsmiljø:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• er der et problem?</li><li>• hvad er det største problem?</li><li>• er der blevet løst nogle problemer?</li><li>• hvad kan man gøre?</li></ul> <p>Mængder:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• hvor mange pakker er der?</li><li>• hvor mange er der plads til?</li><li>• er der plads nok?</li><li>• hvor mange ture pr. dag?</li><li>• hvor meget plads i bilen?</li><li>• tages der breve med?</li></ul> <p>Problemer:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• dårlige arbejdsforhold<ul style="list-style-type: none"><li>– for mange løft?</li><li>– for meget arbejder/stress?</li><li>– pladsmangel?</li><li>– defekt/for gammelt udstyr?</li></ul></li><li>• dårlige muligheder for aflastning</li><li>• skæve arbejdstider</li><li>• manglende muligheder for sparring</li><li>• forsinket pakkeankomst</li></ul>
---

Figur 6.2: Spørgsmål til in-situ interviews

Af figur 6.2 ses et antal spørgsmål som vi på forhånd havde forberedt og som vi havde med rundt på alle de pakkecentre, vi besøgte i denne fase. Det

var ikke alle spørgsmål vi følte et behov for at stille alle steder, og vi lavede ikke en egentlig optælling af svarene, men brugte listen som en slags tjekliste over ting, som vi mente vi ville få brug for at få svar på. Som det kan ses er listen en blanding af subjektive og objektive forhold, som vi på det tidspunkt ikke gjorde meget for at adskille. *[Resten af dette afsnit er udeladt efter Post Danmarks ønske]*

### 6.1.3 Planlægning af workshop

På et tidligt tidspunkt i planlægningen af projektet havde vi besluttet at vi ville afholde en workshop med deltagelse af ansatte på de forskellige distributionscentre, med flest mulige funktioner repræsenteret. Målet med denne workshop skulle være at få specificeret hvilke kriterier det var vigtigst at medtage i modelleringen af pakkeprocessen, med det formål at finde de bedste placeringer af distributionscentrene. Vi forventede således at få en masse forskellige meninger om hvad der var væsentligt, hovedsageligt baseret på de forskellige deltageres erfaringer.

For at sikre at alle havde samme udgangspunkt for diskussionen, besluttede vi at starte workshoppen med at præsentere en løsning til lokaliseringsproblemet, hvor der kun var medtaget et lille antal simple begrænsninger.

I første omgang overvejede vi at gennemføre workshoppen som en visionskonference, idet vi på denne måde kunne få deltagerne til først at divergere og dernæst konvergere, og således have en god chance for at få mange forskellige områder med i diskussionen.

For at overveje fordele og ulemper ved forskellige forslag tænkte vi at en mulighed var at anvende en SWOT-matrix til at vurdere de fremkomne forslag og på denne måde udvælge hvilke der var mest brug for at medtage.

En anden metode som var med i overvejelserne til workshoppen var anvendelse af SCA (*Strategic Choice Approach*), hvor man ser på forskellige former for usikkerheder og muligheder for en udvikling og herudfra danner en portefølje af løsninger.

Vi ville gerne høre deltagernes kritiske reaktioner på modellen og overvejede derfor også at bruge fremtidsværkstedet som udgangspunkt for workshoppen. Idet denne type værksted netop fokuserer på at få alle negative aspekter ud, vende dem til noget positivt og til sidst gøre nogle af disse udsagn realiserbare, fandt vi efter nogen diskussion ud af at fremtidsværkstedet var bedst egnet til denne problematik. Samtidig har denne metodik nogle fordele i forhold til en meget blandet gruppe deltagere med vidt forskellige forudsætninger, idet den lægger op til at alle skal høres, og forbyder kritik internt i gruppen. Desuden lægger metodikken i høj grad op til brug af kreativitet og brud med vanetænkning hvilket var noget vi gerne ville opnå. Over for

budene ville dette også understrege at vi vitterligt ønskede at høre om deres ideer, og forsøge at bryde deres sædvanlige opfattelse af at deres meninger ikke bliver hørt.

Sideløbende med planlægningen af workshoppen og de etnografiske studier arbejdede vi med udarbejdelsen af den foreløbige model der skulle præsenteres ved fremtidsværkstedet. Denne proces bestod dels i at skabe overblik over hvilke aspekter der skulle medtages i modellen på dette stadium, dels i at indsamle/estimere en tilstrækkelig datamængde til at modellen kunne løses. Endvidere skulle der opstilles en traditionel lokaliseringsmodel, som herefter skulle tilpasses det aktuelle problem.

#### 6.1.4 Indledende modellering

Den model som vi påtænkte at præsentere til workshoppen skulle give deltagerne en ide om hvilken type løsning vores endelige matematiske model ville kunne give som resultat, baseret på nogle enkelte, simple krav. Ved på denne måde at konfrontere workshopdeltagerne med det faktum at vi rent faktisk kunne få et fornuftigt resultat ud af en matematisk model ville vi provokere dem til at kommentere de fejl og mangler denne løsning måtte have, så vi fik et godt og gennearbejdet bud på hvilke faktorer det var vigtigst at medtage og hvilke der kunne udelades.

I første omgang besluttede vi os for hvilke faktorer der skulle medtages i modellen, med tanke på at vi ville finde en løsning til et relativt simpelt problem, som dog var dækkende nok til at illustrere hvad vi havde i tankerne for det videre arbejde. Vi kom således frem til at de nødvendige variable skulle angive hvilke postnumre der blev omdelt fra hvilke centre, hvilke metoder der anvendtes på disse centre, samt det omtrentlige antal timer der skulle bruges på sortering hvert sted. Derudover måtte vi have en variabel der angav om hvert center var åbent, for at kunne medregne omkostningen herfra, og det viste sig efterfølgende at disse variable var tilstrækkelige for at konstruere en sammenhængende model.

Vi valgte at formulere problemet som et minimeringsproblem der betragtede omkostningerne ved en given løsning. Dette mente vi var oplagt, da vi relativt nemt kunne definere omkostningerne ved en løsning, mens det var sværere at bestemme den profit der kunne opnås ved den samme løsning. Da antallet af bude betegnedes med heltalsvariable, åbne centre med binære variable, og pakkemængder med positive, reelle variable ville der blive tale om et blandet binært heltalsproblem. I objektfunktionen valgte vi at inkludere kørselsomkostninger fra BRC til distributionscentrene og videre til ruterens startpunkter, faste omkostninger for at holde centre åbne samt variable omkostninger relateret til timeløn og til at sortere pakker ved en bestemt metode.

Derefter bestemte vi hvilke begrænsninger modellen skulle overholde, på baggrund af samtaler med medarbejdere på forskellige omdelingssteder, ledere af postområdet og ved at betragte gængse lokaliseringsmodeller [8].

De umiddelbare forudsætninger var at alle postnumre skulle betjenes, at vi fastholdt det eksisterende rutenet med det antal bude, der er i dag, at vi regnede på det nuværende gennemsnitlige antal pakker, og at der skulle være opfyldt et minimumspladskrav for anvendelsen af hver metode. Beslutningen om at fastholde det eksisterende rutenet skyldtes dels et ønske om at bevare en relativt simpel model, dels at vi vidste at det nødvendige datagrundlag til omlægning af ruter ikke eksisterede. Antagelsen om at det ville være rimeligt at regne med en bevarelse af den nuværende pakkemængde skal ses i lyset af at denne var steget i november 2003, men at vi ikke forventede at der ville komme flere lignende stigninger i den nærmeste fremtid.

I løbet af den proces hvor vi observerede arbejdsprocesserne på de forskellige distributionscentre havde vi konstateret at der eksisterede flere basalt forskellige metoder til sortering af pakkerne, hvoraf nogle var mere effektive end andre. Vi besluttede derfor at medtage et repræsentativt udvalg af disse metoder i modellen således at flere forskellige metoder kunne indgå i den endelige løsning omend ikke alle blev betragtet som ideelle af Post Danmark. Dette valg skyldtes, som tidligere nævnt, at hvis muligheden for anvendelse af mindre distributionscentre skulle bevares var der brug for metoder som var mindre plads- og materielkrævende, således at enkelte nuværende centre eventuelt ville kunne bevares.

Modellen skulle endvidere give mulighed for at flere postnumre kunne sorteres på det samme center, hvilket medførte et eksplicit krav om at der kun måtte anvendes én metode på hvert center. Muligheden for at etablere store centre besluttede vi desuden at modellere som en separat metode der anvendte sorteringsmetode 1 på to parallelle rullebånd, og vi fastsatte en øvre grænse for hvor mange postnumre der kunne sorteres på et enkelt rullebånd (foreløbigt tre). Den maksimale kapacitet vurderede vi for de forskellige metoder som det antal pakker der maksimalt kunne sorteres pr. dag ved brug af denne metode.

Vi specificerede effektiviteten af en metode som det antal pakker en mand kunne sortere på en time, og det viste sig at Post Danmark anvendte samme definition og allerede havde tallene liggende. Disse viste sig desuden at være i overensstemmelse med vores indledende estimater, baseret på observationer på de forskellige centre. Ud fra disse observationer mente vi også at det ville være en rimelig antagelse at hvert bud er i stand til at sortere to timer hver dag.

Modellen resulterede i en løsning, bestående af tre store centre samt to små centre, idet der på hvert af de store centre var samlet et antal nærtliggende postnumre. Om det rent faktisk var muligt rent tidsmæssigt at nå et sortere



dette antal pakker på de forskellige centre, var på dette tidspunkt således ikke direkte medtaget i modellen i form af en tidsplan, men løsningen så realisabel ud, og vi vurderede at den ville være et godt grundlag for diskussionen vedrørende anvendelse af matematiske modeller til løsning af denne slags problematikker.

### 6.1.5 Dataindsamling og -behandling

Under projektets indledende modelleringsfase skete der, sideløbende med selve modelleringen, et arbejde med at indsamle de nødvendige data og bearbejde disse til en anvendelig form. Den største del af denne bearbejdningsproces skete i forbindelse med beregningerne af afstandene fra distributionscentre til de enkelte omdelingsruter, som var nødvendige for at kunne finde omkostningen ved at betjene en given rute fra et givet distributionscenter.

Vi overvejede således hvordan vi ville håndtere afstandsberegningerne, idet mængden af data gjorde det stort set umuligt at finde de eksakte afstande mellem samtlige eksisterende centre, mulige, nye centre og rutemidtpunkter; ialt mere end hundrede afstande. Vi besluttede derfor at undersøge forskellige metoder til beregning af afstande i byområder ud fra koordinater i planen. For at konstruere disse koordinater undersøgte vi først mulighederne for at anvende universelle koordinater, som vi håbede at kunne finde for alle nødvendige individuelle adresser. Dette lykkedes dog ikke, og vi endte med at anvende et kort der var sat sammen af en række små kort fra [krak.dk](http://krak.dk) [32], som tilsammen dækkede hele det betragtede område. På dette kort kunne vi lokalisere samtlige nødvendige punkter og notere de tilhørende pixelkoordinatsæt i et billedbehandlingsprogram. De efterfølgende beregninger var uafhængige af det valgte koordinatsystem, hvilket gjorde at vi ikke var bundet af dette valg, og det ville være muligt senere at anvende andre koordinater.

Som udgangspunkt for parameterestimeringen i forbindelse med selve afstandsberegningerne udvalgte vi et område som vi mente ville være repræsentativt for det samlede betragtede område, og som havde en størrelse der gjorde at afstandene mellem et antal punkter i dette område ville være af samme størrelsesorden som de afstande vi mente ville være realistiske at betragte for det endelige problem. Det endelige valg faldt på et byområde på  $3.4 \times 4.2$  km, som blev gennemskåret af to motorveje, da der således ville blive taget højde for at to punkter der ligger nær hinanden i fugleflugtslinie reelt godt kan have en længere køreafstand, idet mulighederne for at krydse store veje er begrænsede. Dette område var således kun et mindre udsnit af det samlede område, idet vi ikke forventede at køreafstanden mellem to punkter i hver sin ende af området ville indgå i en endelig løsning. Med tanke på de afstande der viste sig at indgå i den afsluttende løsning på projektet kan vi dog konstatere at det valgte område formentlig burde have været noget

større. I forhold til de gennemførte robusthedstests er det dog tvivlsomt om dette ville have haft nævneværdig effekt i den endelige løsning.

Beregningerne er nærmere beskrevet i afsnit 4.2.1, og førte først til en beslutning om at anvende  $l_2$ -afstande, som senere blev ændret til  $l_1$ -afstande, da vi indså at den herved introducerede fejl stadig var rimelig i forhold til usikkerhederne i datagrundlaget. Den endeligt vedtagne afstandsberegning kan således udtrykkes ved  $\text{dist}(a, b) = 1.35 \cdot l_1$ .

Vi kom endvidere frem til at det ville være rimeligt for hvert postnummer at betragte samtlige ruter under ét, og herefter vægte afstanden svarende til antallet af bude. Dette skyldtes dels at det ville medføre et betydeligt begrænset beregningsarbejde, dels at den herved introducerede fejl ville være rimelig set i forhold til den begrænsede præcision af de tilgængelige data.

For hvert postnummer var det således nødvendigt at finde et repræsentativt punkt som kunne benyttes ved beregning af de nødvendige afstande, og vi beregnede derfor et massemidtpunkt for hvert. Denne beregning var baseret på at hvert bud kører to ture hver dag; en om morgenen og en om eftermiddagen. Morgenturene er hovedsagelig industriture hvor alle adresser besøges, hvorfor det er i vidt omfang er muligt at skaffe information om startpunkter for disse ruter. Eftermiddagsruterne er privatture, hvor mange adresser ikke skal besøges og ruten varierer fra dag til dag, og her er det derfor sværere at betragte typiske startpunkter. For sidstnævnte har vi derfor estimeret et fælles startpunkt for alle ruter, ved at betragte kortet, og så vidt muligt forsøge at inddrage vores kendskab til beboelsestæthed, o.l. Vi har derfor først beregnet massemidtpunktet for startpunkterne for morgenturene, og derefter taget gennemsnittet af dette og det estimerede startpunkt for eftermiddagsturene, som efterfølgende er benyttet som midtpunkt for hele postnummerområdet.

Det er således antaget at morgen- og eftermiddagsturene kan opfattes som repræsentanter for hhv. industri- og privatruterne, og at disse endvidere hver svarer til 50% af den samlede kørsel.

Til beregning af afstandene mellem BRC og distributionscentrene blev Kraks Ruteplan [32] anvendt. Under forsøget på at beregne disse afstande opstod der dog et problem, idet planlæggeren ikke "kunne finde" den direkte vej fra den virkelige adresse Priorparken 385, 2605 Brøndby, til motorvejen, men i stedet benyttede en noget længere forbindelsesvej. Den direkte vej til motorvejen, lader til at være spærret, hvilket ikke er i overensstemmelse med virkeligheden. Dette gjorde at vi i stedet beregnede de nødvendige afstande fra adressen Hovedvejen 11, 2600 Glostrup, som gav omtrent samme afstand som den reelle afstand fra pakkecentret.

Beregningsmæssigt medførte denne ændring ingen konsekvenser for den matematiske model, idet antallet af biler der tilbagelægger denne rute er konstant. Ændringen blev således udelukkende indført for at bevare modellens gennemsigtighed.

Afslutningsvis ønskede vi at få daglige pakketal for hvert enkelt postnummer, uafhængigt af om det tidligere var blevet sorteret alene eller sammen med et eller flere andre, hvilket viste sig at kræve et større arbejde end vi umiddelbart havde forestillet os. Alle pakker som bliver omdelt fra et center bliver registreret under det samme postnummer, og der findes således kun et samlet tal, og ikke nogen præcise tal for hvor mange pakker det enkelte postnummer reelt omdeler. Hvis vi skulle kunne skille disse ad var det nødvendigt at have i det mindste et kvalificeret bud på hvor stor en del af disse pakker der blev omdelt på hvert sted, og ved at søge i *Data Ware House* på Post Danmarks intranet fandt vi frem til at der bliver varslet et omtrentligt antal pakker for hvert postnummer hver dag. Dette tal er ikke videre pålideligt i forhold til det reelle antal pakker der skal omdeles på en given dag, men vi gik ud fra at det kunne give et realistisk billede af forholdet mellem postnumrene, og vi valgte derfor at samle disse data over nogle dage i marts og herudfra finde en procentvis fordeling mellem de postnumre som er samlet. Disse beregninger er nærmere beskrevet i afsnit 4.2.2.

## 6.2 Fremtidsværksted

Fremtidsværkstedet blev afholdt d. 10. marts 2004 og havde syv faste deltagere, suppleret med fem deltagere fra et andet møde, som deltog i dele af workshoppen. Som udgangspunkt var det meningen at dagen skulle forløbe efter planen vist i figur 6.3.

Den vigtigste erfaring vi gjorde os under forløbet, var at det er vigtigt at have en tidsplan, men at det er meget svært at overholde den. Vi havde stor gavn af at have opstillet tidsplanen på forhånd, og have gjort os nogle tanker om hvor lang tid der skulle afsættes til hver fase, og dette hjalp os til at få skiftet mellem faserne.

Den indledende brainstorming fra kritikfasen endte med en lang række stikord, som vi derefter måtte bruge nogen tid på at få sat i deres rette sammenhæng. Dette gjorde at kategoriseringsdelen tog en del længere tid end beregnet, hvilket kunne have været undgået ved at vi på forhånd havde understreget at kritikudsagnene skulle formuleres som hele sætninger.

Planen om at gennemføre utopi- og virkelighedsgørelsesfasen som gruppearbejde opgav vi, i dialog med deltagerne, på grund af at deltagerantallet var lavere end forventet. I stedet gennemførtes også disse i plenum, idet en af facilitatorerne undervejs opskrev deltagerens udsagn på vægviserne. Ideen med på denne måde at lade en af facilitatorerne fungere som referent viste sig dog at medføre nogle ulemper, idet skrivearbejdet ikke blev foretaget af ophavsmanden til ideen, og der derfor gik nogen tid med at få formuleret en sætning der var tro mod den oprindelige tanke. Den planlagte afslut-

9.30- 9.35	Oplæg ved Per F. Christensen
9.35- 9.45	Vores præsentation af fremtidsværksted, model og løsning
9.45-10.30	Kritikfase (plenum) <ul style="list-style-type: none"><li>• brainstorming; vægaviser hvor alle skriver/tegner (ca. en halv time)</li><li>• kategorisering; diskuterer og grupperer stikordene vha. farver (ca. et kvarter)</li><li>• pointgivning; hver deltager fordeler syv point</li></ul>
10.30-12.00	Utopifase <ul style="list-style-type: none"><li>• gruppedannelse efter interesse</li><li>• gruppearbejde (ca. fem kvarter)<ul style="list-style-type: none"><li>– vend kritikken om, formuler det modsatte udsagn</li><li>– beskriv/illustrer ønskesituation - nye vægaviser</li></ul></li><li>• opsamling - plenum (ca. et kvarter)<ul style="list-style-type: none"><li>– hver gruppe præsenterer sine resultater for de andre, som kommenterer</li></ul></li></ul>
12.00-12.30	Frokost
12.30-13.15	Virkelighedsgørelsesfase (grupper) <ul style="list-style-type: none"><li>• hvordan kan man nærme sig den beskrevne utopi?</li><li>• gør utopien realistisk</li><li>• lav en SWOT-analyse af de væsentligste forslag</li></ul>
13.15-13.30	Opsamling og evaluering (plenum) <ul style="list-style-type: none"><li>• før resultatet tilbage - hvilket kritikudsagn førte til det?</li><li>• evaluering af fremtidsværkstedsmetoden</li></ul>

Figur 6.3: Tidsplanen for fremtidsværkstedet

tende fase hvor deltagerne præsenterede resultaterne af gruppearbejdet for hinanden udgik således.

Den oprindelige plan om at indlede utopifasen med at omformulere de negative kritikudsagn til positive udsagn blev opblødt noget. Dette skyldtes igen at den fremkomne kritik hovedsageligt var formuleret som stikord i stedet for hele sætninger, hvilket gjorde det vanskeligt at formulere de tilsvarende positive udsagn. Efterfølgende har vi konstateret at vi nok burde have fastholdt denne omformulering mere stringent, og forsøgt at gennemføre den ud fra de fremkomne ord. Dette ville sandsynligvis have givet et mere veldefineret udgangspunkt for utopifasen, og gjort overgangen mellem faserne mere klar.

Det var endvidere meget svært at få deltagerne til at lade være med at tænke i løsning af nuværende problemer. Dette kunne have været forsøgt imødegået ved at have gennemført en fælles opvarmning til utopifasen, hvor deltagerne fik lejlighed til at slippe de negative tanker.

Som afslutning på virkelighedsgørelsesfasen var det oprindeligt planlagt at lade deltagerne udarbejde en SWOT-matrix af de væsentligste blandt de fremkomne ideer. Dette blev fraveget, især på grund af manglende tid, men også fordi vi gerne ville nå at gennemgå alle punkterne i virkelighedsgørelsesfasen, hvilket også skete i samråd med gruppen.

Overordnet mener vi at fremtidsværkstedet forløb godt, og at vi fik et inspirerende og brugbart resultat med derfra. Der var under hele forløbet en god stemning i gruppen, og dialogen forløb godt, både internt mellem deltagerne, og mellem deltagerne og os.

Som opfølgning på fremtidsværkstedet udformede vi et evaluerende spørgeskema (jf. bilag D.3) som vi rundsendte til deltagerne pr. mail. Ud fra svarene på disse har vi forsøgt at evaluere resultatet af workshoppens og den effekt den havde på deltagerne.

Efter først at have udsendt spørgeskemaerne og opfordret deltagerne til at svare pr. post eller fax, viste det sig at et par skemaer forsvandt i posten, så vi var nødt til at vende tilbage til deltagerne og bede om svar pr. mail i stedet. Af de syv spørgeskemaer vi udsendte fik vi i alt fem tilbage og resultaterne af disse er opsummeret i tabel 6.1. De øvrige kommentarer kan findes i bilag D.4.

I tabellen har vi i parentes angivet svarmulighederne for værdierne 1 til 5, opsummeret de afgivne svar til hvert spørgsmål, og beregnet gennemsnittet af disse. I spørgsmål 4-6 mener vi at de afgivne svar indikerer at nogle af svarerne har overset skalaen for pointgivningen og i stedet svaret ud fra den skala der anvendtes i spørgsmål 1-3.

Et par af deltagerne glemte at besvare enkelte af spørgsmålene, hvilket formentlig skyldtes at skemaet var mere uoverskueligt i den form det havde i

1.	workshoppens metode (dårligt → godt)	4,4,4,4	4
2.	workshoppens forløb (dårligt → godt)	4,4,4,4	4
3.	workshoppens resultat (dårligt → godt)	4,4,4,3	3.75
4.	forhåndsinformation om modellen (for lidt → for meget)	5,3,3,3,3	3.4
5.	forhåndsinformation om metoden (for lidt → for meget)	5,4,3,3,3	3.6
6.	forhåndsinformation om tidsplanen (for lidt → for meget)	4,3,3,3,3	3.2
7.	tid til kritik (for lidt → for meget)	4,4,3,3,3	3.6
8.	tid til utopi (for lidt → for meget)	4,4,3,3,3	3.6
9.	tid til virkelighedgørelse (for lidt → for meget)	4,3,3,3,2	3
10.	vægtning mellem faserne (dårlig → god)	3,3,3,3	3
11.	udbytte ved gruppearbejde (mindre → større)	3,3,2,2,1	2.2
12.	udbytte ved flere deltagere (mindre → større)	5,4,3,3,2	3.4
13.	udbytte ved større diversitet (mindre → større)	4,3,3,3,2	3
14.	personligt udbytte (intet → stort)	4,4,4,3,3	3.6
15.	vores medvirken i projektet (dårligt → godt)	5,5,5,5,5	5

Tabel 6.1: Resultater af spørgeskema

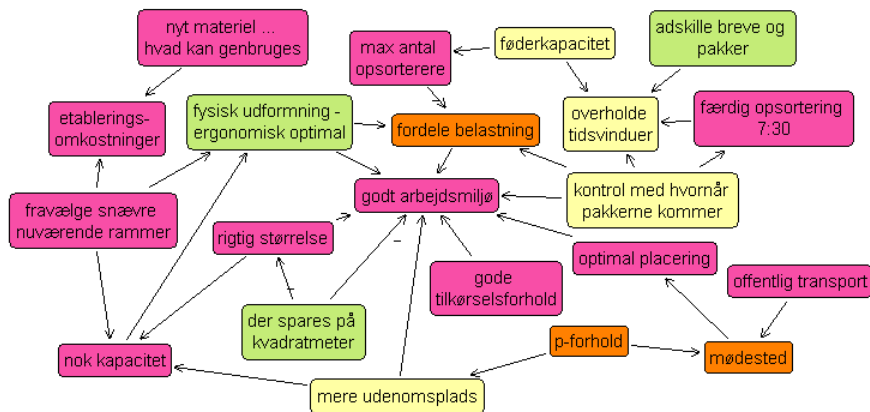
den udsendte e-mail end det oprindelige skema. Ud fra svarene ses det at deltagerne generelt selv syntes at de havde fået et godt udbytte af workshoppen, og at der var tilfredshed med både forløbet og resultatet. Deltagerne var især meget glade for at vi som udenforstående kom og betragtede problemstillingen fra en ny vinkel. Vi konstaterede også at der var enighed om at udbyttet ikke ville have været større hvis noget at arbejdet havde været lavet i grupper, hvilket understøttede beslutningen om at fortsætte i plenum.

### 6.2.1 Resultat af fremtidsværkstedet

Resultatet af fremtidsværkstedet bekræftede en del af vores opfattelser af hvordan problemet skulle gribes an, men vi fik også nye input og ideer. Vi fik især bekræftet hvor vigtigt det er at betragte problematikken med pakkeprocessen i sammenhæng med de andre funktioner der udføres i forbindelse med postomdelingen, og således betragte hele systemet. Ligeledes blev vi opmærksomme på hvor meget det betyder for de involverede personer at vi sikrer at servicemålene og arbejdstiderne overholdes, hvilket førte os til at indføre tidsbegrænsninger for problemet.

Som opsamling på workshopresultaterne besluttede vi at konstruere et kognitivt kort, da vi mente det ville give os et godt overblik over de overordnede sammenhænge mellem resultaterne. Dette blev konstrueret på baggrund af

plancherne fra den afsluttende virkelighedsgørelsesfase. Vi brugte Decision Explorer [33] til at opbygge dette kort, og kunne derefter anvende de tilhørende analysefunktioner til at opdage nogle sammenhænge i kortet, som ellers ville have været sværere at få øje på.

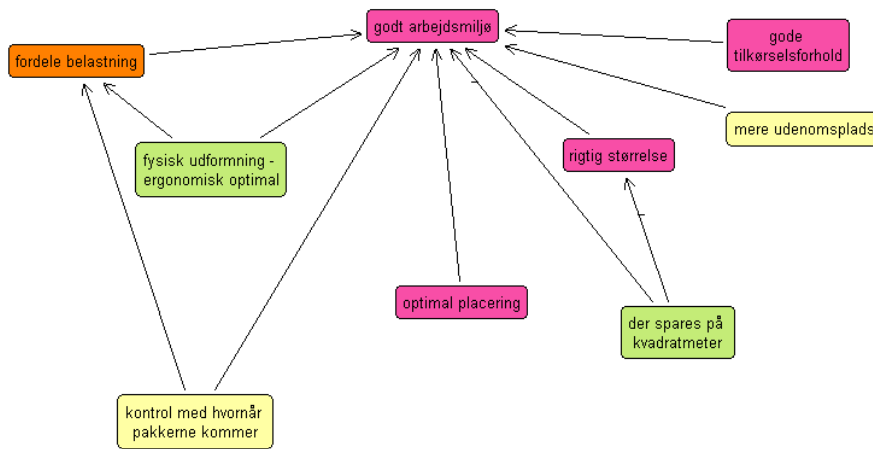


Figur 6.4: Kognitivt kort

Farverne på det kognitive kort afspejler vores egen opdeling af kortets koncepter, som viser hvilken indflydelse hvert enkelt koncept ville have hvis det skulle indføres i modellen. Disse indførte vi for bedre at kunne have den fortsatte modellering i tankerne når vi efterfølgende bearbejdede workshoppens forslag. Farvernes betydning er som følger:

- rød:** aspekter der umiddelbart kan indføres i modellen som ekstra begrænsninger
- gul:** aspekter der kan indføres i modellen, men kræver større justeringer
- orange:** aspekter der ikke direkte kan indføres i modellen, men som skal overvejes ved udvælgelsen af den endelige løsning
- grøn:** afledte effekter

Ud fra en "hovedanalyse" (LH) af det kognitive kort kan vi se at et det indeholder tre hovedkoncepter; "godt arbejdsmiljø", "overholde tidsvinduer" og "etableringsomkostninger". Ved anvendelse af domæneanalyse (DOMT) ses at blandt disse tre er der især et meget stort antal udsagn der peger mod en forbedring af arbejdsmiljøet, hvilket understøtter vores intuitive opfattelse af at dette var det væsentligste mål for workshopdeltagerne. I figur 6.5 ses de otte koncepter som peger mod godt arbejdsmiljø (kommando: X c).



Figur 6.5: Koncepterne der peger mod det vigtigste hovedkoncept

### 6.3 Fortsat modellering

Efter workshoppen besluttede vi, i overensstemmelse med deltagernes ønsker, at indkredse modelleringsarbejdet omkring indførelsen af tidsvinduer, dvs. at inddrage en mere præcis beskrivelse af hvornår pakkerne ankommer til sorteringsstederne, da alle ikke ankommer samtidigt, hvilket var den implicite antagelse i den hidtidige model, samt hvornår budene tager afsted. I forbindelse hermed, kunne der endvidere opstilles nogle snævrere begrænsninger for at der skal eksistere en sorteringsrækkefølge, hvilket er et krav for at den fundne plan kan implementeres i praksis.

Reelt burde der også have været taget højde for at det der ligger fast er pakkerens afgangstider fra BRC, således at ankomsten til pakkecentre burde afhænge af hvilke centre der benyttes. Disse afgangstider fra BRC mener vi dog i et vist omfang er fleksible, og ved nye sammenlægninger af postnumrene vil der formentlig alligevel skulle foretages en revurdering af hvilke postnumre der betjenes af de enkelte afgang. Vi mente dog at de nuværende ankomsttidspunkter ville være repræsentative og realistiske nok til at udgøre et fornuftigt grundlag for modelleringen.

Ved denne lejlighed besluttede vi også at ændre modelleringen af de store centre, således at vi i stedet for at betragte et center med to rullebånd betragtede to centre der kunne placeres på samme adresse. Vi var undervejs kommet frem til at dette formentlig ville være en enklere og mere overskuelig måde at modellere disse centre på, og ændrede dette da vi alligevel arbejdede på en større justering af modellen. Komplexiteten af modellen ville således blive holdt på et mere overskueligt plan, når vi efterfølgende skulle undersøge forskellige rækkefølger for at afgøre hvorvidt en given række postnumre ville



kunne sorteres i et givet tidsrum.

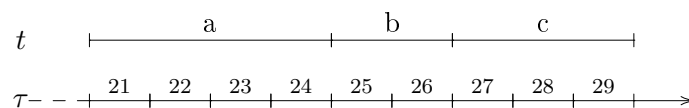
Ved modelleringen af hvordan postnumrenes sorteringsrækkefølge skulle fastlægges, overvejede vi hvorvidt der skulle medtages setup-tider ved skift fra et postnummer til det næste. Vi besluttede ikke at gøre dette, hvilket var begrundet i at disse tider, ifølge nogle bude, var af størrelsesordenen 5 minutter, og da beregningerne i øvrigt rundes op til nærmeste 10 minutter, mener vi at setup-tiden vil udlignes ved disse afrundinger. Den unøjagtighed der opnås herved mener vi dog ikke er stor nok til at begrunde et skift til femminuttersintervaller.

### 6.3.1 Lineær modellering og implementering i GAMS

Som udgangspunkt forsøgte vi at indarbejde de omtalte tidsvinduer i den oprindelige model ved at tilføje yderligere variable og begrænsninger, og fortsat forsøge at løse denne vha. GAMS.

Vi startede med at arbejde på sorteringsrækkefølgen på de enkelte steder, for at sikre at der for den fundne løsning, som var brugbar mht. det samlede timetal, også kunne findes en mandskabsplan som udførte dette i praksis. De hidtidige begrænsninger gjorde at dette sandsynligvis ville være muligt, men gav ingen garanti herfor.

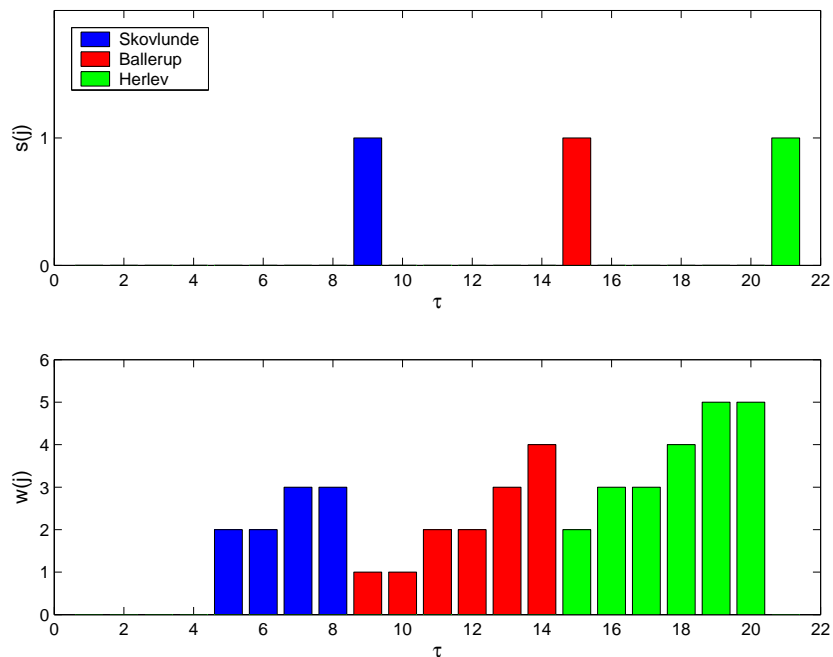
Vi opdelte først den betragtede, mulige sorteringsperiode i intervaller à 10 minutter, som i modellen blev udtrykt ved index  $\tau$ . Herefter diskuterede vi hvordan vi skulle modellere fordelingen af disse intervaller mellem de forskellige postnumre på hvert distributionscenter. Vi overvejede her muligheden af at beskrive sorteringstidsrummet for et postnummer ved et yderligere index  $t \in \{a, b, c, d\}$  (se figur 6.6), for derved at sikre at hvert postnummer blev tildelt ét sammenhængende sorteringsinterval, men kom frem til at dette



Figur 6.6: Eksempel på sammenhængen mellem  $t$ - og  $\tau$ -intervaller

også ville kunne opnås uden anvendelse af et ekstra index, ved at kræve at antallet af sorterende bude i to på hinanden følgende intervaller kun måtte være faldende en gang for hvert postnummer, svarende til afslutningen af sorteringen (denne måtte desuden falde til nul, da dette var fastlagt for den sidste periode). Dette er illustreret i figur 6.7.

Vi kunne nu foretage en justering af den oprindelige mandskabsvariabel  $w_{ih}$ , til  $w_{j\tau}$ . Den betegnede således stadig et antal mænd der sorterede, men



Figur 6.7: Sammenhængen mellem  $w$ ,  $s$  og  $\tau$

var nu ændret fra hvorhenne og hvordan, til hvornår og hvad de sorterede. Den betegnende herefter antallet af bude beskæftiget med at sortere pakker til postnummer  $j$  i intervallet  $\tau$ . Afslutningsperioderne kunne da registreres vha. en binær variabel,  $s_{j\tau}$  med værdien 1, hvis sorteringen af postnummer  $j$  afsluttedes ved indgangen af periode  $\tau$  og 0 ellers. Disse variable kan genfindes i den matematiske model der er beskrevet i bilag C.4, hvor dynamikken er beskrevet i ligningerne (C.15), (C.16) og (C.21).

I hver periode var det tilladt at have flere bude på arbejde end i den foregående periode ((C.16); de møder ind i løbet af morgenen, og mødetidspunktet kan bestemmes ud fra sorteringsbehovet), mens der ikke er mulighed for at sende folk hjem, og de således kun kan tages ud af sorteringen ved at køre ud og påbegynde omdelingen på en rute. Antallet af bude der er på arbejde i første periode er 0 (C.15), og hvert postnummer kan kun afsluttes én gang (C.21).

For at sikre at det samlede antal pakker der skal sorteres ikke overstiger kapaciteten med den givne bemandning og effektivitet, indførte vi desuden variabelen  $\beta_{jh}$  som angav sammenhængen mellem postnumre og sorteringsmetoder. Denne var i princippet givet ud fra  $x_{ih}$  og  $y_{ij}$ , men da vi forsøgte at bevare modellens linearitet indførte vi den nævnte binære variabel. Dette medførte igen et sæt begrænsninger for at sikre sammenhængene (6.1)-(6.2),

samt selve kapacitetsbegrænsningen (6.3).

$$\beta_{jh} \geq x_{ih} + y_{ij} - 1 \quad \forall i, j, h \quad (6.1)$$

$$\sum_h \beta_{jh} \leq 1 \quad \forall j \quad (6.2)$$

$$\sum_\tau w_{j\tau} \geq \frac{p_j \beta_{jh}}{e_h} \quad \forall j, h \quad (6.3)$$

Vi måtte desuden indføre yderligere en binær variabel  $\sigma_{ij\tau}$ , for at udtrykke en sammenhæng, således at der bla. ikke blev arbejdet på lukkede centre. Denne antog værdien 1 hvis postnummer  $j$  sorteredes på center  $i$  i periode  $\tau$  og 0 ellers. Sammenhængen mellem  $\sigma$  og  $\tau$  kunne da udtrykkes ved et sæt begrænsninger, som er beskrevet i bilag C.4, ligning (C.25)-(C.28).

Vi indførte yderligere en begrænsning som skulle sikre at kipkapaciteten ikke blev overskredet, og vi antog at kipningen af en postcontainer tog to minutter, dvs. der kunne kippes fem i et timinuttersinterval. Dette var baseret på tidtagning foretaget under et besøg på Søborg Pakkecenter. Desuden havde vi fået oplyst at Post Danmark regner med at et bur indeholder ca. 25 pakker, hvilket førte os til at der maksimalt kunne kippes  $5 \cdot 25 = 125$  pakker pr. 10 minutter:

$$125 \cdot \sum_{i,\tau} \sigma_{ij\tau} \geq p_j \quad \forall j \quad (6.4)$$

Objektfunktionen blev i denne fase ikke ændret, idet vi først og fremmest arbejdede mod på at finde en brugbar løsning.

Da modellen på dette tidspunkt blev implementeret i GAMS med forskellige kombinationer af de ovenfor beskrevne begrænsninger, viste det sig dog at den i enkelte tilfælde gav en løsning som lå ca. 40% over den fundne nedre grænse, og som oftest slet ikke var i stand til at finde en brugbar løsning. Vi prøvede derfor først at udelade enkelte begrænsninger for at undersøge om der var en enkelt begrænsning der var årsag til alle problemerne. Vi kom frem til at GAMS kunne finde en løsning til modellen hvis vi udelod flere af begrænsningerne (C.25), (C.26), (C.28), (6.1) og (6.2) men at det gik galt så snart mere end én af disse var til stede, og vi kunne herefter konkludere at det således ikke var en enkelt begrænsning der alene forårsagede problemerne. Vi forsøgte nu at starte forfra på modellen og genopskrive den fra bunden, for at se om der var nogle uhensigtsmæssige formuleringer eller overflødige variable/begrænsninger der havde sneget sig ind undervejs. Den resulterende model var dog stort set identisk med den tidligere, og vi mente derfor at problemet formentlig ikke skyldtes en dårlig implementering, men at årsagen til problemet snarere lå i selve modellen, og at problemet næppe kunne løses ved at omformulere modellen.

Vi eksperimenterede derefter med at benytte GAMS' egen angivelse af øvre grænser og fastlåste variabelværdier i stedet for de tilsvarende uligheder (for eksempel  $\text{pi.up}(j, \text{tau}) = \text{p\_hat}(j, \text{tau})$  i stedet for  $\text{pi}(j, \text{tau}) = 1 = \text{p\_hat}(j, \text{tau})$  og  $\text{pi.fx}(j, '33') = \text{p\_hat}(j, '33')$  i stedet for  $\text{pi}(j, '33') = e = \text{p\_hat}(j, '33')$ ) som vi mente muligvis ville være mere effektivt, men dette havde heller ingen mærkbar effekt på løsningen.

Efter at vi på denne måde havde forsøgt forskellige metoder til at løse den konstruerede model ved hjælp af GAMS, og havde konstateret at der opstod problemer, selv når modellen kun indeholdt en del af de påtænkte begrænsninger, måtte vi indse at den påtænkte, endelige model formentlig ikke ville kunne formuleres på en måde der gjorde den løsbare i GAMS.

Denne erkendelse kom således først efter at vi havde brugt nogen tid på at forsøge at omformulere og -strukturere den foreløbige model, for at undersøge om de observerede problemer eventuelt kunne hidrøre fra uhensigtsmæssig modellering eller fejl fra vores side snarere end programmets utilstrækkelighed. Dette var baseret på at vores erfaringer fra tidligere operationsanalysekurser har været at GAMS har kunnet løse de stillede problemer, hvilket gjorde at vi ikke blev tilstrækkeligt tidligt opmærksomme på at dette udgjorde et potentielt problem. Efterfølgende kan vi dog se at dette også kan skyldes at disse problemer var skabt til at kunne løses i GAMS, samt at de betragtede modeller generelt har haft væsentligt færre komplicerede begrænsninger end den der betragtes i dette projekt.

### 6.3.2 Andre løsningsmetoder og endelig modelkonstruktion

Efter at have opgivet arbejdet med GAMS begyndte vi at overveje de forskellige muligheder der fandtes for at løse modellen ved anvendelse af andre metoder, dvs. forskellige metaheuristikker. Dette ville medføre at modelleringsarbejdet ville komme til at udgøre en større del af det samlede projekt end vi oprindeligt havde tænkt os, men vi mente dog at det var væsentligst at nå frem til en løsning på modellen, for at kunne ende med et afrundet projekt.

Vi valgte således på dette tidspunkt at udelade den planlagte opfølgende workshop, hvor vi efter planen ville have præsenteret løsningen på den endelige model for en brugergruppe. På denne workshop ville vi have bedt dem evaluere den fundne løsning samt komme med ideer til hvordan den skulle implementeres. Dette valg indebar således at den sidste del af projektet i langt i højere grad end planlagt beskæftigede sig med hårde metoder.

Der resterede på dette tidspunkt ca. halvanden måned af projektperioden, hvorfor det forventede tidsforbrug måtte komme til at spille en rolle ved valget af en alternativ løsningsmetode. Dette gjorde sig gældende både mht. selve implementeringstiden, og den nødvendige tid til at sætte sig ind i nyt

materiale, hvis vi valgte en metode der ikke var velkendt af os begge på forhånd. De umiddelbare muligheder for løsning af modellen lå inden for enten dekomposition eller metaheuristikker, og valget blev hurtigt indsnævret til at stå mellem de to "store" metaheuristikker, tabusøgning og simuleret udglødning. Dels havde vi svært ved umiddelbart at indse hvordan vores problem kunne dekomponeres, og dels mente vi at heuristiktilgangen var bedre egnet til den korte tidshorisont.

Beslutningen om ret hurtigt at indskrænke udvalget til to heuristikker, skyldtes at både simuleret udglødning og tabusøgning er velprøvede heuristikker, og vi derfor følte os rimeligt sikre på at de ville give os et brugbart resultat, hvilket var mindre sikkert hvis vi valgte blandt de nyere heuristikker, som fx genetiske algoritmer eller myrekolonier (*ant colonies*). Desuden var vores forhåndskendskab til tabusøgning og især simuleret udglødning relativt stort sammenlignet med de øvrige muligheder. Derudover mente vi at både simuleret udglødning og tabusøgning ville være relativt hurtige at implementere, og ingen af dem indeholder en for stor mængde parameterestimering. På baggrund af disse overvejelser faldt det endelig valg på simuleret udglødning, da denne desuden ville kunne modificeres på passende vis for at tilpasses vores problem, og vi også havde svært ved at finde på en egnet måde at konstruere tabusøgningens tabuliste på for det betragtede problem.

Vi var allerede i forbindelse med valget af metaheuristik begyndt at overveje mulighederne for at konstruere et passende nabolag, og var kommet frem til at der ikke umiddelbart kunne konstrueres et nabolag af garanteret brugbare løsninger til vores problem, men at vi i stedet ville foretage en tilfældig ændring på den eksisterende løsning, og derefter indføre et brugbarhedstjek. Hvis en funden løsning viste sig ikke at være brugbar kunne man foretage en ny tilfældig ændring, og således fortsættes. Der vil til enhver tid findes masser af mulige ændringer som fører til en brugbar løsning, så dette burde ikke forårsage problemer. Vores største bekymring på dette tidspunkt vedrørte køretiden for dette brugbarhedstjek, som skulle undersøge hvorvidt der kunne findes en tidsplan som tillod sorteringen af et givet sæt postnumre på en bestemt lokalitet. Dette viste sig dog senere ikke at være noget problem, da programmet, inklusiv de nødvendige kontroller, kørte ganske hurtigt.

Det blev besluttet at programmere algoritmen i C, da dette er et velegnet sprog til beregningsopgaver, og vi fra projektets start havde fastlagt at der ikke ville blive konstrueret en grafisk grænseflade til programmet.

Vi besluttede at vi endnu en gang ville forsøge at formulere modellen matematisk for at beskrive C-programmet, omend der ville være visse forskelle mellem de to modeller, pga. den forskellige udtryksform. Vi mener dog at den matematiske formulering (jf. afsnit 5.3) stadig giver en grundlæggende beskrivelse af hvad programmet gør, som det er svært at gengive på anden vis.

Endvidere måtte vi finde en god måde at udtrykke en løsning i C. Det blev hurtigt besluttet at gøre dette vha. en såkaldt `struct`, men herefter skulle det afgøres hvilke oplysninger denne skulle indeholde. Som udgangspunkt lod vi den indeholde de minimale nødvendige oplysninger for at kunne beskrive løsningen entydigt ( $x$  og  $y$ ), og indførte herefter enkelte yderligere variable som det var muligt at beregne ud fra de givne, men hvor vi kunne undgå at beregne dem flere gange ved i stedet at gemme dem. Pladsforbruget var ikke i en størrelsesorden hvor dette var et problem, og koden blev simple, og muligvis en anelse hurtigere, ved at spare beregningerne.

I forbindelsen med naboudvælgelsen har vi valgt at anvende sandsynlighederne 45, 45 og 10%, for hhv. at ombytte to postnumre, flytte et enkelt, eller skifte metode på et sorteringssted. Dette valg er baseret på at antallet af muligheder for at ombytte/flytte postnumre er væsentligt større end antallet af muligheder for at skifte en metode, og at vi således mindsker risikoen for at komme til at undersøge den samme løsning flere gange. Derudover kan alle omflytningsmuligheder vælges med lige stor sandsynlighed, frem for at have præference for steder som ligger i nærheden. Dette er dels gjort fordi det ville være svært at tildele en differentieret sandsynlighed afhængigt af beliggenheden, dels for at undgå risikoen for en overvældende præference for benyttelse af steder der ligger meget tæt på.

Vi valgte at gemme en række oplysninger ved gennemløbet af proceduren, selv om dette ikke er en del af den traditionelle SA. Dette skyldes at vi vil være sikre på at kende den bedste løsning der er fundet til problemet, også selv om den ikke er aktuel løsning ved procedurens afslutning. Endvidere registrerer vi en liste over de ti bedste besøgte løsninger, hvilket skyldes at vi har ønsket at kunne præsentere Post Danmark for en portefølje af løsninger, og vi mente dette ville være en god måde at opnå en sådan række af løsninger, som ligger tæt på optimum. Alternativt kunne disse være fundet ved at køre programmet for en række forskellige datasæt, som alle lå inden for usikkerheden, og samle en række løsninger fra disse kørsler. Løsninger opnået på denne måde ville dog være afhængige af hvorvidt der kunne findes en række datasæt som gav en passende spredning af løsninger, og samtidig medføre risikoen for at alle løsninger ville være ens (svarende til hvad vi næsten observerede ved den gennemførte robusthedskontrol 4.2.3).

Ved at konstruere løsningsporteføljen ud fra et antal af de bedste løsninger fra den samme programkørsel opnåede vi at få en række løsninger som var relativt nært beslægtede, men demonstrerede mulighederne for at foretage mindre justeringer i forhold til den givne bedste løsning.

Ved lagring af de ti bedste løsninger, opfattes en løsning som hørende til disse, hvis den afrundet til heltal ikke har samme værdi som en løsning der allerede findes på listen. Dette er gjort for at undgå at listen kommer til at indeholde ti løsninger der alle har samme objektværdi, og hvor den eneste

forskel er at nogle postnumre er byttet om mellem to dele af et dobbeltcenter.

### 6.3.3 Yderligere dataindsamling

Vi mente at det ville være muligt at finde frem til hvor mange pakker der blev leveret på de forskellige tidspunkter af natten, men dette viste sig ikke at være tilfældet, idet dette ikke blev registreret i de systemer, vi havde adgang til. Da vi mente at dette var et vigtigt element i modellen besluttede vi dog at estimere dette, og vi mente desuden at dette ikke ville indføre nogen stor fejl, idet disse tidspunkter, ifølge budene på de forskellige pakkecentre, alligevel varierer en del fra dag til dag.

Vi besluttede således, i overensstemmelse med vores observationer på besøgene i projektets indledende fase, at regne med at ca. halvdelen af den samlede pakkemængde ankommer i løbet af natten, og at den anden halvdel således ankommer med den sidste lastbil. Ankomsttidspunkterne for alle lastbiler var indeholdt i det materiale vi allerede havde, så vi besluttede at anvende disse. Implementeringen af en ny løsning ville formentlig medføre nogle ændringer i planlægningen af udkørslerne fra BRC (som direkte følge af sammenlægningen af postnumre der ikke tidligere lå sammen) men vi mente at dette til trods herfor ville være en rimelig antagelse, da tidspunkterne ellers ville være afhængige af modellens løsning. Alternativt kunne BRC's planlægning være betragtet som et delproblem, hvis løsning kunne indsættes som parametre i det oprindelige problem, men dette ligger uden for rammerne af dette projekt, og vi mente at den introducerede fejl ville være af meget begrænset størrelse, sammenlignet med de eksisterende usikkerheder.

På dette tidspunkt mente vi endvidere at det var tid til at bestemme nogle bedre estimater for de faste omkostninger ved anvendelsen af de eksisterende centre. Som udgangspunkt blev alle centre, nye som gamle, tildelt værdien 2000 kr. som fast omkostning ved at drive et center. Der blev herefter udvalgt tre kategorier som tilsammen kunne give et udtryk for problemerne ved anvendelsen af et givet center; udendørsforhold, tilkørselsforhold og lokalekvalitet. Som udgangspunkt blev det antaget at de nye centre ville kunne placeres i lokaler der opfyldte ønskerne indenfor disse tre områder, således at disse alle fik værdien 0 i hver af kategorierne. Herefter blev de øvrige lokaliteter i hver kategori tildelt en værdi mellem 0 og 1000, i et forsøg på at afgøre hvor store problemer der var forbundet med anvendelsen af stedet. Udendørsforholdene er især et spørgsmål om overdækning/halvtag, da det er meget upraktisk at pakke biler i dårligt vejr uden overdækning, samt uden-dørsareal, som bla. er nødvendigt for at kunne parkere bilerne. Bedømmelsen af tilkørselsforholdene er dels et spørgsmål hvor gode muligheder der er for at komme til med en lastbil, dels et spørgsmål om hvor gode muligheder budene har for at komme derfra i pakkebiler senere. Endelig er lokaleforholdene et

spørgsmål om kvaliteten af lokalerne; er der højt nok til loftet, søjler midt i lokalet, osv. Vores bedømmelse af disse værdier fremgår af tabel 6.2.

	Udendørs	Tilkørsel	Lokaler	Sum
hr	0 +	1000 +	1000 =	2000
sk	500 +	0 +	0 =	500
ba	0 +	800 +	700 =	1500
ly	1000 +	300 +	1000 =	2300
vi	500 +	0 +	0 =	500
næ	500 +	0 +	0 =	500
sø	800 +	800 +	0 =	1600
hl	1000 +	300 +	1000 =	2300
ch	1000 +	1000 +	1000 =	3000
ve	0 +	0 +	500 =	500
bi	300 +	0 +	0 =	300

Tabel 6.2: Omkostningsestimering

På dette tidspunkt holdt vi et opsamlende møde med vores kontaktperson i postområdet, hvor vi besluttede at tilføje yderligere tre postnummerområder til modellens beregninger. Dette skete under betingelsen at de ikke ville medføre væsentligt forøget dataindsamlingsarbejde, hvorfor de nødvendige data enten fandtes blandt de eksisterende data (leveringstidspunkter), blev givet (pakkemængder og budantal) eller blev estimeret groft i samråd med vores kontaktperson (rutemidtpunkter og afgangstidspunkter). De nuværende distributionscentre for disse postnumre blev ikke medtaget, da data for disse ikke var umiddelbart tilgængelige.

Det blev også besluttet at udelade køreafstandene fra BRC til distributionscentre i beregningerne. Dette skyldtes at vi indså at disse køreafstande reelt var irrelevante for placeringen af distributionscentre, da lastbilerne typisk besøger områdets centre som en del af en rute der fortsætter nordpå. Der opnås derfor ikke en reel besparelse ved at placere distributionscentre i den sydlige ende af området. Rimeligheden af denne beslutning blev bekræftet af at den endelige løsning ikke ændredes da disse blev udeladt.

#### 6.3.4 Programverifikation

Undervejs i programmeringsfasen har vi hele tiden kontrolleret at programmet gav de forventede resultater til de forskellige delfunktioner. Dette har vi gjort ved at lave små eksempler på data som har været udtænkt til at fange eventuelle fejl i programmet. Disse små tests har vi ikke medtaget i denne rapport idet programmeringen ikke har været hovedformålet, men det



er ikke desto mindre stadig vigtigt at verificere at programmet virker under hele forløbet.

Idet det her betragtede geografiske område er forholdsvist lille, har vi undervejs også været i stand til at fange fejl i modellen og programmet baseret på den fremkomne løsning. Dette er især sket når vi har kunnet se på løsningen at den var oplagt umulig at gennemføre, og vi således havde overset en begrænsning, som burde have været medtaget. Et eksempel herpå er at modellen på et tidspunkt foreslog en løsning hvor fire små postnumre sorteredes samme sted, ved anvendelse af metode 4. Dette kan principielt lade sig gøre, men er i praksis uacceptabelt, og vil ikke kunne gennemføres. Desuden har selve målet med projektet været indførelsen af ergonomisk og driftsmæssigt fornuftige løsninger, hvilket ikke ville være i overensstemmelse med den beskrevne løsning.

## 6.4 Opsamling

Vi har gennem hele processen arbejdet efter systemtankegangens principper, og har i de forskellige faser ladet os inspirere af figur 6.1. Vi har gjort brug af de her introducerede koncepter til at komme videre i processen og har i det hele taget brugt systemtænkningen som en vejviser i problemløsningsprocessen.

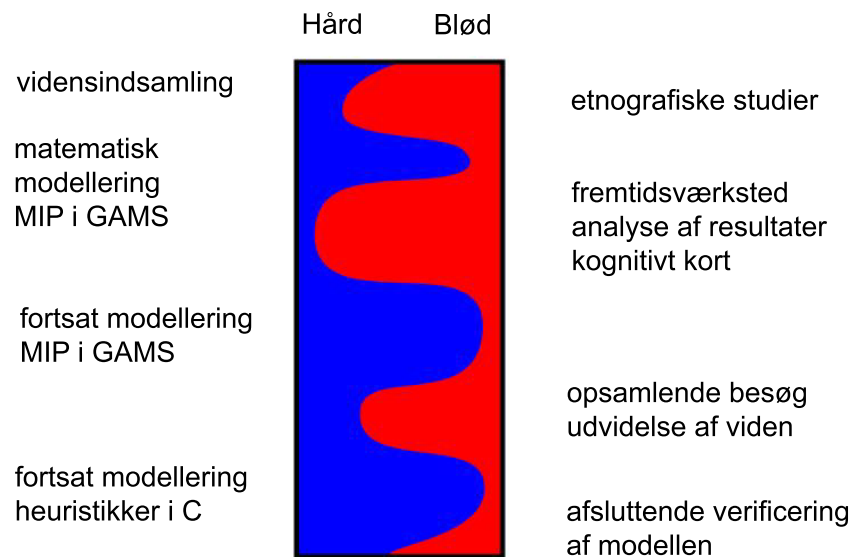
Denne tilgang har især været praktisk idet vi i dette projekt har beskæftiget os med både bløde og hårde metoder, og vi har kunnet placere disse metoder i forhold til de på figur 6.1 beskrevne begreber.

På figur 6.8 har vi forsøgt at illustrere hvordan vi hele vejen gennem projektet har forsøgt at blande hårde og bløde tilgange til problemet. Figuren skal læses således at i perioder hvor den hårde del har været dominerende er figuren mest blå og hvor det er den bløde tilgang der har været fremherskende er figuren mest rød.

Vi har således ikke forsøgt at bruge lige meget blødt og hårdt hele tiden, men har erkendt at de to tilgange har hvert deres kerneområde i processen.

Således kan det observeres at vi i den periode hvor vi indsamlede viden, anvendte hver tilgang inden for det område hvor dens styrke lå: den hårde til indsamling og behandling af data i form af tal og den bløde til indsamling af viden om arbejdsprocesser og -miljø.

I den efterfølgende periode, hvor vi modellerede og løste den indledende matematiske model, brugte vi hovedsagelig den hårde tilgang til problemløsningen. Afholdelse af fremtidsværksted og den efterfølgende strukturering af de indkomne kommentarer lagde naturligt op til de bløde metodikker, mens den resulterende reformulering og modelløsning stort set kun gjorde brug af hårde metodikker.



Figur 6.8: Visuel beskrivelse af vekslingen mellem hård og blød gennem projektet

Figur 3.7 har vi anvendt undervejs i planlægningen af hvilke metodikker og værktøjer der skulle anvendes til hvilke formål i projektforsløbet. Et forsøg på at angive dette ud fra figuren er vist i figur 6.9, hvor hver farve repræsenterer en af de metoder eller teknikker, vi har anvendt.

Det fremgår således at etnografiske studier har bidraget til redegørelse for de eksisterende forhold, både de personlige, de sociale og i en vis grad de fysiske. Fremtidsværkstedet har hovedsageligt medvirket ved analysen af de forskellige problemopfattelser, til en vis grad belyst de sociale problemer og berørt specificeringen af de fysiske betonedede problemer. Brugen af kognitivt kort har hjulpet til at strukturere input fra fremtidsværkstedet på alle tre planer og til at beslutte hvilke af de fremkomne forslag der skulle implementeres. Den matematiske modelleringsproces har primært beskæftiget sig med analyse af de fysiske forhold og forsøgt at vurdere forskellige muligheder samt komme med et bud på en udvælgelse af bedste alternativer. Afslutningsvis mener vi at det vil være hensigtsmæssigt at fortsætte dette samspil i implementeringsfasen (jf. kapitel 7), således at der afholdes en workshop med deltagelse af flest muligt af de implicerede aktører, så de her kan dannes et godt grundlag for en engageret og positiv implementering af de nødvendige ændringer.

Den foreslåede løsning til problemet opsummeres således i en anbefaling til ledelsen i kapitel 7, hvor den suppleres af en række generelle anbefalinger baseret på vores øvrige observationer. I denne anbefaling samles de bløde og

	Redegørelse for	Analyse af	Vurdering af	Tiltag for at
Sociale forhold	socialtrelationer	forvrængninger, konflikter, interesser	måder at ændre eksisterende strukturer	styrke og oplyse
Personlige forhold	individuelle overbevisninger, meninger, følelser	forskellige opfattelser og personlig rationalitet	alternative konceptdannelser og konstruktioner	skabe imødekommenhed og enighed
Fysiske forhold	fysiske rammer	underliggende kausal struktur	alternative og strukturelle tiltag	udvælge og implementere bedste alternativer

Figur 6.9: Multimetodologi i projektet, videreudvikling af figur 3.7

de hårde resultater og vi giver nogle forslag til implementeringsfasen.

## Kapitel 7

# Anbefalinger til ledelsen

Dette kapitel er tænkt som en opsamling på resultatet af lokaliseringsmodellen og de øvrige observationer vi har gjort os i løbet af projektet. Det er tænkt som en anbefaling til hvordan de foreslåede ændringer bedst implementeres og hvordan budene kan inddrages i denne proces.

Den fundne løsning, som beskrevet i afsnit 5.5, består af tre store pakkecentre med hver to parallelle sorteringsprocesser, hver med flere postnummerområder. Dette vil selvsagt medføre at et stort antal bude skal flytte arbejdssted, benytte anderledes metoder end de er vant til og forholde sig til et stort antal nye kolleger.

Således vil der for mange skulle ske store omvæltninger i deres dagligdag, og der er derfor en risiko for at de vil føle sig fremmedgjorte og "hjemløse". I yderste konsekvens kan pakkedistributionen risikere at miste trofaste medarbejdere i en sådan proces og det er derfor efter vores mening vigtigt at inddrage budene i den forandringsproces, der skal ske i området.

Vi forestiller os at det vil være en god ide at trække på erfaringerne fra de sammenlægninger der i løbet af de sidste år er sket. I denne forbindelse mener vi at det vil være en god ide at nedsætte et arbejdsudvalg bestående af både bude og ledere herfra, for at definere gode og dårlige erfaringer i forbindelse med disse sammenlægninger.

Efterfølgende vil det være fornuftigt at samle alle bude fra de postnummerområder, der skal arbejde sammen i samme proces, og afholde workshoper, hvor det bliver afklaret hvad der er vigtigt for de forskellige bude, for at de kan føle sig som en aktiv og ansvarlig del af de nye centre. Emnet i disse workshoper kan være indretning af lokaler, diskussion af hvordan sorteringsprocesser skal forløbe eller hvad der skal gøres for at få de nye arbejdsenheder til at fungere sammen socialt. Ved på denne måde at give mulighed for en vis grad af selvbestemmelse, dannes der grundlag for en mindre smertefuld omlægning af pakkedistributionen i området.

For at der skal kunne etableres et fornuftigt samarbejde mellem de postområder, som skal lægges sammen, skal der fra ledelsens side tages initiativ til at sammenkøre disse og der skal opfordres til samarbejde mellem budene for at styrke fællesskabsfølelsen.

Udover disse, hovedsageligt socialt baserede, tanker i forbindelse med sammenlægningen, vil vi også gerne samle op på de udsagn der er kommet frem i forbindelse med afholdelsen af fremtidsværkstedet og som vi er blevet præsenteret for når vi har besøgt de forskellige distributionscentre, og som beskriver kvalitative forhold som ifølge budene er vigtige.

Rent praktisk er det vigtigt i forhold til den fysiske placering af et stort pakkecenter at budene kan komme til stedet med offentlig transport, også tidligt om morgenen.

Der skal være tilstrækkeligt udenomsplads, således at private biler kan parkeres på området, og der skal være overdækning hvor pakkebilerne skal læsses, samt plads nok til at alle budene kan komme til at pakke bilerne samtidig. Endvidere skal der også være mulighed for at parkere pakkebilerne på området, så disse ikke skal hentes andetsteds.

Endelig har vi samlet en række kommentarer af forskellig art, som evt. kan være til inspiration i fremtiden:

- anvendelse af rulleborde lader til at give et bedre arbejdsmonter end elektriske transportbånd; pakkerne flyder mere jævnt, og det skal ikke startes/stoppes hele tiden
- DHL-kvitteringerne giver tilsyneladende budene problemer i den daglige håndtering; de kommer ikke samtidig med pakkerne, og enkelte bude hævder at kunderne også synes de er overflødige
- bedre mærkning af tunge erhvervspakker bedrer arbejdsmiljøet
- på et stort center kan man overveje mulighederne for at lave aftenpakketure på tværs af postnummerområderne
- der skal tages stilling til hvordan anmeldte pakker skal håndteres i forbindelse med at pakkecentre rykkes væk fra filialerne

Disse anbefalinger skal ses i det rette lys: det er vores personlige meninger om forhold, som vi har observeret i virksomheden, og vores håb er at vi kan pege på ting, som det vante øje måske ikke ser.

## Kapitel 8

# Evaluering

I dette kapitel vil vi komme med vores egne kommentarer til projektets forløb, og hvilke områder vi mener der kunne have været arbejdet videre med.

### 8.1 Projektforløbet

Vores positive erfaringer fra projektet er især baseret på effekten af at anvende bløde metoder som supplement til de hårde, og herved kunne inddrage brugerne i processen. Dette har dels givet os mulighed for bedre at tage højde for alle synspunkter i modelleringen, dels givet brugerne en mulighed for at få indflydelse på arbejdet, og komme ud med deres synspunkter.

Vi har desuden været åbne for input gennem hele projektet, og forsøgt at arbejde med problemformuleringen og modellen på en sådan måde at de har kunnet ændres i overensstemmelse med udviklingen af den faktiske situation. Vi har således også kunnet observere hvordan de løsninger vi har givet ledelsen undervejs er blevet benyttet internt, og har ført dem videre i deres opfattelse af problemet.

Endelig har vores genbesøg på et af distributionscentre givet os en chance for at få kontrolleret enkelte antagelser vi gjorde undervejs, og en ekstra mulighed for at indsamle input.

Samarbejdet med virksomheden har forløbet godt, og vi har generelt mødt en stor imødekommenhed når vi har henvendt os forskellige steder med spørgsmål og ønsker, om besøg og dataindsamling.

Dette mener vi dels skyldes lederne i Lyngby, men også det at vi er gået til opgaven med en vis ydmyghed over for hele pakkeprocessen. Dette har hjulpet os til at undgå at blive betragtet som udefrakommende "besserwissere",

hvilket ellers typisk kan være udgangspunktet når man kommer udefra med en akademisk tilgang til en problemsituation.

## 8.2 Udviklingsmuligheder

Vi har bestræbt os på at projektet skulle blive sammenhængende, hvilket har gjort at vi har måttet begrænse den dybtgående indsats på nogle områder, for til gengæld at komme omkring alle aspekter af problemløsningsprocessen, inden for projektets relativt stramme tidsmæssige rammer. Hvis projektet skulle videreføres ville der således være muligheder for at gå mere i dybden med disse områder.

Et eksempel herpå er dataindsamlingen, hvor vi har arbejdet ud fra de data der enten var direkte tilgængelige på forhånd, eller kunne beregnes ud fra sådanne. På visse områder ville disse data have kunnet været forbedret ved at foretage en egentlig dataindsamling/registrering, for herved at få dækket de områder vi manglede tal fra. Dette gælder blandt andet fordelingen af pakker mellem de postnumre der i dag sorteres samlet, og mere eksakte ankomsttidspunkter og -mængder for pakkerne.

Der kunne også have været indsamlet bedre oplysninger om pakkemængderne, således at beregningerne var foretaget ud fra de dage der har højest belastning, i stedet for gennemsnitsdage. Vi ved at dette er hvad Post Danmark plejer at regne med internt, men disse tal kunne ikke beregnes ud fra de tilgængelige månedsbaserede tal, som vi kun kunne bruge til at finde dagsgennemsnit. Ved at anvende max-værdier i stedet for gennemsnit, ville vi have undgået en stor del af overvejelserne omkring variationen, og derved undgået en række fejkilder.

På modelleringssiden er de oplagte muligheder, efter vores mening, at modellen kunne have taget bedre højde for pakkernes ankomsttider, som er relativt groft estimeret nu (halvdelen i løbet af natten og halvdelen med sidste bil til et bestemt tidspunkt), samt for at de faste omkostninger, og især den arealafhængige del, kunne have taget bedre højde for det faktiske arealforbrug. Den aktuelle beregning lader arealet være afhængigt af den anvendte metode alene, men burde måske i stedet have været baseret på en kombination af metoden og antallet af postnumre der sorteres.

Endvidere kunne budenes afgangstidspunkter fra sorteringen have været beregnet mere præcist, ved at have betragtet mere eksakte rutestartpunkter. Der skulle i så fald også have gjort et større arbejde med indsamlingen af disse punkter, da de for enkelte postnumre for øjeblikket er baseret på kvalificerede gæt. Eventuelt kunne man have indføjet startstedet for det første bud i beregningerne, hvorved det seneste afslutningstidspunkt for sorteringen kunne have været bestemt bedre.

På workshoppen kom det endvidere frem at samspelet mellem pakkeomdelingen og Post Danmarks øvrige forretning har en vis betydning. Med tanke på modellens omfang blev dette dog ikke medtaget, men det udgør også en mulighed for fremtidig udvikling.

Ved anvendelsen af den heuristisk baserede fremgangsmåde, kunne der have været gjort et større arbejde i forhold til at undersøge kvaliteten af den fundne løsning, og evt. finde en nedre grænse for objektværdien til sammenligning, vha. relaxering. Vi mener dog at vi, ud fra de foretagne lange kørsler af programmet, kan antage at den fundne løsning ligger tæt på optimum, hvilket bestyrkes af at problemet giver den samme løsning for flere forskellige kørsler.

Mht. til det rent programmeringstekniske er der en række områder der er blevet nedprioriteret i erkendelsen af at udarbejdelsen af et program der kunne anvendes af Post Danmark ikke har været projektets formål. Med indførelsen af et sådant i forbindelse med den heuristiske implementering, har vi dog forsøgt i et vist omfang at gøre programmet brugbart for Post Danmark, men dette arbejde kunne have været videreført, fx med en grafisk grænseflade til opdatering af datafilerne. Endvidere kunne der have været bedre muligheder for at variere antallet af betragtede postnumre, distributionscentre, osv., hvilket formentlig også ville have forøget programmets reelle brugbarhed.

Programmet kunne desuden have gjort mere for at kontrollere at den givne initiale løsning er meningsfyldt. Dette gøres for øjeblikket ikke, og programmets adfærd er uforudsigelig hvis det ikke er tilfældet.

Endelig kunne programmets udvælgelse af løsninger til top 10-listen have været forbedret, således at listen ikke ender med at indeholde flere løsninger, der har samme postnummerfordeling, men blot anvender forskellige sorteringsmetoder på et eller flere steder.

De mulige sorteringsrækkefølger for postnumrene er for øjeblikket forhåndsgivne i programkoden, men kunne i stedet have været beregnet direkte, hvilket også kunne have givet mulighed for at sortere mere end fire postnumre på et distributionscenter.

Endelig kunne koden i almindelighed have været bedre optimeret og tunet, hvilket muligvis kunne have forbedret køretiden, men dette har ligget uden for rammerne af dette projekt.

På det bløde område kunne projektet have været udvidet med afholdelsen af den opfølgende workshop, som allerede fra begyndelsen var tænkt som en del af projektet. Denne ville have givet os en ide om hvor stor effekt vores tilgangsvinkel har haft på den endelige løsning og dennes modtagelse, og kunne have fungeret som startskud for selve implementeringsprocessen. Denne workshop kunne således have udmøntet sig i en række mere konkrete forslag til hvordan implementeringen bør gribes an.



Hvis der i fremtidsværkstedet havde været flere deltagere, ville resultatet måske være blevet bedre og mere bredt end tilfældet var. Vi kunne især godt have tænkt os at have haft flere bude repræsenteret, og skulle vi holde en sådan workshop igen ville vi personligt sikre os et større antal tilsagn.

## Kapitel 9

# Konklusion

Vi har i dette projekt anvendt en multimetodologisk tilgang til problemløsningsprocessen, hvorunder vi har anvendt både bløde og hårde tilgange i projektets forskellige faser.

Disse forskellige tilgange til problemet har vi benyttet således at de har kunnet understøtte hinanden, og hjælpe til at få opklaret mange detaljer undervejs. På denne måde har vi fået opfyldt vores ønske om selv at designe en løsningsmetode til et virkeligt problem.

Vi har haft lejlighed til at anvende denne løsningsmetode på et meget komplekst problem som har været under konstant ændring, og har dermed måttet arbejde med en fleksibel målsætning. Specielt i denne situation har multimetodologien vist sig at give gode muligheder for at redesigne processen undervejs, og hjulpet os med at kunne præsentere en løsning på det problem der findes ved projektets afslutning, snarere end det der eksisterede ved projektets start.

På grund af den kompleksitet som den endelige model besad, besluttede vi at vi i højere grad ville fokusere på de hårde metoder, og projektets faktiske indhold af brugerinteraktion kom derfor ikke helt til at stå mål med hvad vi havde påtænkt fra starten.

I forbindelse med medarbejderinteraktionen har vi fået bekræftet værdien af at alle niveauer i organisationen deltager i problemløsningsprocessen, og kunnet drage nogle erfaringer i forbindelse med facilitatorrollen.

Den problematiske situation som vi i begyndelsen af projektet stiftede bekendtskab med, har vi således gennem brug af både bløde og hårde metoder fået struktureret. Vi har fundet frem til en løsning på det stillede lokaliseringsproblem som kombineret med vores anbefalinger i forbindelse med implementeringen forhåbentlig vil få forandringsfasen til at glide lettere og forhåbentlig forebygge en stor del af de problemer der sædvanligvis følger med så stor en ændring i virksomhedens struktur.

## 9.1 Perspektivering

Vi har kun været i stand til at finde én rapport der tidligere har beskæftiget sig med multimetodologi og lokaliseringsproblemer [13], men sammenlignende mener vi at vores projekt, som omtalt i afsnit 6.4, har haft mere held med løbende at veksle mellem de hårde og bløde metoder gennem projektet, hvor [13] i højere grad har kørt to parallelle forløb.

Det ville dog stadig have været spændende at følge projektet helt til dørs ved at afholde yderligere workshoper med deltagelse af medarbejderne og få fastlagt mere specifikt hvordan selve implementeringen skulle foregå, og se hvilke problemer der ville opstå videre i forløbet.

Havde vores tidsramme tilladt det, ville vi også gerne have gået mere i dybden med de forskellige omkostninger, som er baseret på mere eller mindre velunderbyggede estimater, og således været endnu mere sikre på at det resultat vi kommer frem til er beskrivende for virkeligheden.

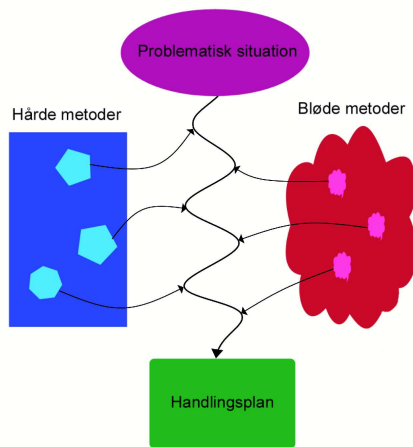
I vores anbefaling til ledelsen gør vi opmærksom på en række aspekter, som vi mener det er vigtigt at tage hensyn til under implementeringen af så store forandringer, som der er tale om i dette projekt, og det ville være spændende at se i hvor høj grad vores ideer rent faktisk bliver implementeret i den efterfølgende omstrukturering.

Vi mener at nærværende projekt kan medvirke til at bekræfte at den multimetodologiske tilgang har en stor berettigelse når man taler om behandling af reelle og komplicerede problemstillinger. Dette gør sig især gældende når der er menneskelige faktorer der spiller ind på et problem som ellers kunne have været løst udelukkende ved hjælp af hårde metoder. Hvis kun de hårde metoder anvendes mener vi at man risikerer at overse vigtige detaljer i problemstillingen, som ved anvendelsen af en blanding af bløde og hårde metodikker kunne have været opdaget.

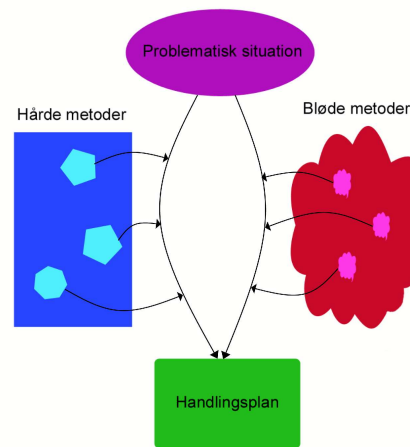
Anvendelsen af multimetodologi udspringer af en erkendelse af at ingen metode er komplet i sig selv; der er altid dele der kan suppleres, og således kan man arbejde hen imod en mere holistisk forståelse af problemet.

Basalt set er der to måder hvorpå man kan kombinere bløde og hårde tilgange til multimetodologi: ved at veksle mellem disse i hele problemløsningsprocessen eller ved at lade de to processer forløbe parallelt for at kombineres i den endelige implementering af de fremkomne løsninger og handlingsplaner. Disse to fremgangsmåder er forsøgt illustreret på hhv. figur 9.1 og figur 9.2, hvor den blå del repræsenterer de hårde metoder og den røde del de bløde tilgange. Disse to figurer repræsenterer samtidig de to tilgange der er anvendt i de to projekter der hidtil er udarbejdet inden for området.

For at opnå det bedste samspil med brugerne mener vi at det er mest hensigtsmæssigt at forsøge at kombinere disse hele vejen igennem processen og



Figur 9.1: Eksempel på en multi-metodologisk tilgang med kontinuert vekslen mellem blød og hård



Figur 9.2: Eksempel på en multi-metodologisk tilgang hvor blød og hård forløber som to parallelle processer

således holde mulighederne for ændringer af målsætningen åbne. Det er dog meget vigtigt at holde sig for øje at de enkelte metodikker og teknikker der bruges ikke har direkte modstridende målsætninger, og således kommer til at modarbejde hinanden.

Vi har i dette projektforsøg vist at man ved at anvende multimetodologi i højere grad bliver i stand til at anvende interaktion med en virksomhed, ikke kun i starten af projektet, men gennem hele processen, således at projektet vil være i stand til at udvikle sig sammen med den problematiske situation som det afspejler.

# Bilag A

## Brugervejledning

*[Dette bilag er udeladt efter ønske fra Post Danmark]*

**A.1** Introduktion

**A.2** Afstande og adresser

**A.3** centre.exe

**A.4** afstande.exe

## Bilag B

# Systembeskrivelser

I dette bilag findes beskrivelserne af de observerede systemer, fra vores besøg på distributionscentrene.

*[Dette bilag er udeladt efter ønske fra Post Danmark]*

## Bilag C

# Indledende matematiske modeller

I dette bilag vises den matematiske model som vi konstruerede i den første måned af projektperioden, og som dannede grundlag for den løsning vi præsenterede ved vores fremtidsværksted. Denne model dannede desuden udgangspunkt for det videre programmeringsarbejde.

Den del af det fortsatte arbejde der var rettet mod en GAMS-implementering er endvidere indeholdt i bilaget.

### C.1 Problemformulering

Formålet med den indledende, matematiske model er at bidrage med en kvantitativ løsning på problemet, som i samspil med de bløde metoder skal føre til problemets endelige formulering. Denne model kan kun håndtere kvantitative størrelser, og for at få den bedst mulige løsning må vi således forsøge at udtrykke flest mulige af de indgående kvalitative kriterier på en kvantitativ form.

Målet med modellen er overordnet at løse det lokaliseringsproblem, der består i at finde den mest hensigtsmæssige placering af omdelingscentrene, ud fra en række praktiske krav om bl.a. center- og sorteringskapaciteter og tilgængelig bemanning. Dette bestemmes ved at minimere de samlede omkostninger hidrørende fra kørt afstand, husleje og personalelønninger.

### C.2 Begrebsmodel

Denne model dannede grundlaget for udviklingen af den endelige model, og de to begrebsmodeller er derfor nært beslægtede. Således er index for en del

**Indices:**

$i$	Lokaliteter, jf. tabel 4.2
$j$	Postnumre: 2730, 2740, 2750, 2800, 2820, 2830, 2840, 2850, 2860, 2880, 2900, 2920, 2930, 2950, 3460
$h$	Sorteringssystemer, jf. tabel 4.1

**Beslutningsvariable:**

$z_i \in \mathbb{B}$	Er center $i$ åbent?
$y_{ij} \in \mathbb{B}$	Omdeler postnummer $j$ fra center $i$ ?
$x_{ih} \in \mathbb{B}$	Anvendes metode $h$ på center $i$ ?
$w_{ih} \in \mathbb{R}_+$	Hvor mange mandtimer sorterer på center $i$ ?

**Parametre:**

$c_{ij}$	Omkostningen ved at distribuere postnummer $j$ fra center $i$ , givet ved $c_{ij} = \sum_i (d_i^B \cdot o^B + 4 \cdot \sum_j (d_{ij} \cdot o))$ , idet:
$d_{ij}$	Sum af afstande fra center $i$ til alle ruter i $j$
$o$	Kilometeromkostning for postbiler
$d_i^B$	Afstand fra BRC til hvert center
$o^B$	Kilometeromkostning for transport fra BRC
$p_j$	Gennemsnitlig dagligt pakkeantal til postnummer $j$
$b_j$	Antal bude der kører i postnummer $j$
$a_i$	Areal af center $i$
$f_i$	Fast omkostning ved at have center $i$ åbent
$g_i$	Kvadratmeterpris - denne parameter var endnu ikke estimeret og havde værdien 0 for alle $i$ ved workshoppen
$l_h$	Omkostningen ved at sortere en pakke med system $h$
$q_h$	Antal pakker der kan sorteres pr. dag
$r_h$	Antal rullebånd der anvendes ved metode $h$
$e_h$	Effektivitetsfaktor for metode $h$ , antal pakker pr. mandtime
$v_h$	Minimumsareal for anvendelse af metode $h$
$s$	Antal timer som en mand kan sortere pr. dag
$u$	Timeløn

Tabel C.1: Begrebsmodel for den indledende model



variable ændret, men de beskriver stadig den samme størrelse.

### C.3 Matematisk model

$$\min \sum_{i,j} c_{ij}y_{ij} + \sum_i f_i z_i + u \cdot \sum_{i,h} w_{ih} + \sum_{i,h} x_{ih}v_h g_i + \sum_{i,h} x_{ih}l_h \quad (\text{C.1})$$

$$\text{uht. } \sum_i y_{ij} = 1 \quad \forall j \quad (\text{C.2})$$

$$\sum_j y_{ij} \leq 100 \cdot z_i \quad \forall i \quad (\text{C.3})$$

$$w_{ih} \leq 100 \cdot x_{ih} \quad \forall i, h \quad (\text{C.4})$$

$$\sum_h x_{ih} \leq z_i \quad \forall i \quad (\text{C.5})$$

$$\sum_j y_{ij}p_j \leq \sum_h w_{ih}e_h \quad \forall i \quad (\text{C.6})$$

$$\sum_j y_{ij}p_j \leq \sum_h q_h x_{ih} \quad \forall i \quad (\text{C.7})$$

$$\sum_j y_{ij} \leq 3 \cdot \sum_h r_h x_{ih} \quad \forall i \quad (\text{C.8})$$

$$\sum_h w_{ih} \leq s \cdot \sum_j b_j y_{ij} \quad \forall i \quad (\text{C.9})$$

$$x_{ih}v_h \leq a_i \quad \forall i, h \quad (\text{C.10})$$

Omkostningen ved rutebetjening findes som en funktion af sorteringsstedet og de ruter der skal betjenes, og beregnes som summen af omkostningen ved at køre pakkerne fra BRC til sorteringsstedet og ved at køre pakkerne fra sorteringsstedet ud til ruterne. Denne sidste multipliceres med fire, idet budene ud over at køre ud til ruten om morgenen og hjem igen om eftermiddagen, kører tilbage en gang for at holde frokost og fylde bilen igen. Faktoren fire er ændret til to i den endelige model, idet det senere blev besluttet at mulighederne for at køre med større biler er så store at denne værdi giver en mere rimelig løsning.

Objektfunktionen (C.1) indeholder led med omkostningerne for rutebetjening, faste omkostninger for at drive hvert center, samt variable omkostninger der er forbundet med henholdsvis timeløn til sortererne og sorteringen af en given pakkemængde efter en bestemt metode.

De første begrænsninger (C.2)-(C.5) sikrer at modellen giver meningsfulde løsninger, dvs. at sammenhængen mellem de forskellige variable er i orden.

Begrænsning (C.2) angiver at alle postnumre omdeles fra et center, mens (C.3) sikrer at der kun foretages sortering på åbne centre. (C.4) sikrer tilsvarende at der kun sorteres pakker efter metoder som anvendes, og (C.5) at der kun anvendes en metode hvert sted.

(C.6)-(C.8) omhandler kapacitetsbegrænsninger. (C.6) udtrykker at antallet af pakker der sorteres på et center er begrænset af effektiviteten af den anvendte metode i forhold til antallet af mænd, (C.7) at dette antal endvidere er begrænset af hvor mange pakker der kan sorteres pr. dag med den givne metode, og (C.8) at der højst kan sorteres tre postnumre pr. rullebånd pr. dag.

Endelig udtrykker (C.9) at det samlede antal mandtimer der er tilgængeligt til sorteringen på et center er afhængigt af antallet af bude fra de sorterede postnumre, samt den sorteringstid et bud kan yde pr. dag.

## C.4 Fortsat modellering

Den fortsatte modellering udmøntede sig i første omgang i en model, som dog ikke blev ført helt til dørs. Modellen har dog været brugt som inspiration for udarbejdelsen af den endelige model, og er derfor bragt her.

De anvendte indices for denne model er identiske med indices fra den endelige model, jf. tabel 5.1.

De anvendte variable er en videreudvikling af variablene fra den første model, men der er sket nogle tilføjelser, og enkelte ændringer af indices.

$z_i \in \mathbb{B}$	Er center $i$ åbent?
$y_{ij} \in \mathbb{B}$	Omdeles postnummer $j$ fra center $i$ ?
$x_{ih} \in \mathbb{B}$	Anvendes metode $h$ på center $i$ ?
$w_{j\tau} \in \mathbb{N}$	Hvor mange bude anvendes til sortering af postnummer $j$ i interval $\tau$ ?
$\pi_{j\tau} \in \mathbb{R}$	Hvor mange pakker fra postnummer $j$ er sorteret i tidsrum $\tau$ ?
$\sigma_{ij\tau} \in \mathbb{B}$	Sorteres postnummer $j$ på center $i$ i tidsrum $\tau$ ?
$s_{j\tau} \in \mathbb{B}$	Afsluttes sorteringen af postnummer $j$ i starten af periode $\tau$ ?

Tabel C.2: Variable for den fortsatte model

De anvendte parametre fremgår af tabel C.3.

Objektfunktionen for denne model kan opskrives analogt med objektfunktionen fra den oprindelige model, ligning (C.1), og blev ikke videreudviklet nævneværdigt i forbindelse med denne version af modellen.

$c_{ij}$	Omkostningen ved at distribuere postnummer $j$ fra center $i$ , givet ved $c_{ij} = \sum_i (2b_j \cdot \sum_j (d_{ij} \cdot o))$ , idet: $d_{ij}$ Afstanden fra center $i$ til en rute i $j$ $o$ Kilometeromkostning for postbiler
$p_{j\tau}$	Antal pakker der typisk til postnummer $j$ i interval $\tau$
$\rho_{ij\tau}$	Det antal bude der skal forlade sorteringen i interval $\tau$ , hvis postnummer $j$ sorteres på center $i$
$b_j$	Antal bude der kører i postnummer $j$
$\mu_j$	Angiver det maksimale antal bude der kan være beskæftiget ad gangen med sorteringen af postnummer $j$
$a_i$	Areal af center $i$
$f_i$	Omkostningen ved at have center $i$ åbent
$g_i$	Kvadratmeterpris for center $i$
$\overline{m}_h$	Maksimalt antal bude der kan være beskæftiget ad gangen ved anvendelse af metode $h$
$l_h$	Vedligeholdelsesomkostningen ved et center der anvender metode $h$
$q_h$	Maksimalt antal postnumre der kan sorteres pr. sted med metode $h$
$v_h$	Minimumsareal for anvendelse af metode $h$
$u$	Timeløn

Tabel C.3: Parametre for den fortsatte model

Begrænsningerne for denne model er opskrevet i (C.11)-(C.29), og bør læses i sammenhæng med afsnit 6.3.1.

$$\sum_i y_{ij} = 1 \quad \forall j \quad (\text{C.11})$$

$$\sum_h x_{ih} \leq z_i \quad \forall i \quad (\text{C.12})$$

$$\sum_j y_{ij} \leq \sum_h q_h x_{ih} \quad \forall i \quad (\text{C.13})$$

$$x_{ih} v_h \leq a_i \quad \forall i, h \quad (\text{C.14})$$

$$w_{j0} = 0 \quad \forall j \quad (\text{C.15})$$

$$30 \cdot s_{j\tau} \geq w_{j,\tau-1} - w_{j\tau} - \sum_i \rho_{ij\tau} y_{ij} \quad \forall j, \tau \quad (\text{C.16})$$

$$w_{j\tau_{\text{slut}}} = 0 \quad \forall j \quad (\text{C.17})$$

$$x_{ih} y_{ij} w_{j\tau} \leq \bar{m}_h \quad \forall i, j, h, \tau \quad (\text{C.18})$$

$$w_{j\tau} \leq \mu_j \quad \forall j, \tau \quad (\text{C.19})$$

$$\sum_j y_{ij} w_{j\tau} \leq \sum_j b_j y_{ij} \quad \forall i, \tau \quad (\text{C.20})$$

$$\sum_\tau s_{j,\tau} = 1 \quad \forall j \quad (\text{C.21})$$

$$\pi_{j\tau} \leq \pi_{j\tau-1} + \sum_h w_{j\tau} e_h \quad \forall j, \tau \quad (\text{C.22})$$

$$\pi_{j\tau} \leq \sum_{\tau'=0}^{\tau-1} p_{j\tau'} \quad \forall j, \tau \neq \tau_{\text{slut}} \quad (\text{C.23})$$

$$\pi_{j\tau_{\text{slut}}} = \sum_\tau p_{j\tau} \quad \forall j \quad (\text{C.24})$$

$$\sum_j \sigma_{ij\tau} \leq 1 \quad \forall i, \tau \quad (\text{C.25})$$

$$7 \cdot \sum_i \sigma_{ij\tau} \geq w_{j\tau} \quad \forall j, \tau \quad (\text{C.26})$$

$$\sum_i \sigma_{ij\tau} \leq w_{j\tau} \quad \forall j, \tau \quad (\text{C.27})$$

$$\sum_\tau \sigma_{ij\tau} \leq 33 \cdot y_{ij} \quad \forall i, j \quad (\text{C.28})$$

$$\sum_{i,h,\tau} \sigma_{ij\tau} x_{ih} = 1 \quad \forall j \quad (\text{C.29})$$

Begrænsningerne (C.11), (C.12) og (C.14) er identiske med (C.2), (C.5) og (C.10) fra den indledende model.

(C.13) angiver det maksimale antal postnumre der kan sorteres på et enkelt sted, og er en justering af (C.7), som gav en tilsvarende begrænsning baseret på det samlede antal af pakker.

(C.15) angiver at der ikke er nogen bude på arbejde til starttidspunktet, (C.16) angiver dynamikken for  $w$ 'erne, og (C.17) angiver at alle bude forlader sorteringen i det sidste interval.

(C.18) angiver en begrænsning på antallet af mænd der kan være beskæftiget samtidigt ved anvendelse af en given metode, og (C.19) angiver det samme baseret på størrelsen af et givet postnummer. (C.20) angiver at antallet af bude der deltager i sorteringen på et center aldrig kan overstige det samlede antal bude der omdeler pakker fra dette center.

(C.21) angiver at for hvert postnummer skal sorteringen afsluttes netop én gang.

De indførte  $\pi$ -variable sikrer at ingen pakker sorteres før de ankommer hvilket styres af (C.23). (C.22) angiver dynamikken for variablene, og (C.24) sikrer at alle pakker er sorteret ved sluttidspunktet.

Endelig er indført variablene  $\sigma$  for at sikre at der ikke sorteres mere end ét postnummer ad gangen, hvilket udtrykkes i (C.25). Sammenhængen mellem  $\sigma$  og de øvrige variable udtrykkes i (C.26), (C.27) og (C.28). (C.29) anvender  $\sigma$ -variablene til at sikre at der kun anvendes én metode pr. postnummer.

## Bilag D

# Fremtidsværksted

I dette bilag findes referat af vores workshop d. 10. marts 2004, samt forskelligt materiale der blev anvendt i denne forbindelse.

*[Dette bilag er udeladt efter ønske fra Post Danmark]*

### D.1 Referat

#### D.1.1 Indledende fase

#### D.1.2 Kritikfase

#### D.1.3 Utopifase

#### D.1.4 Virkelighedsgørelsesfase

#### D.1.5 Evaluering

#### D.1.6 Opsummering af resultater

### D.2 Vægaviser

### D.3 Spørgeskema

### D.4 Besvarelser

## Bilag E

# Figurer og diagrammer fra Post Danmark

I dette bilag bringes figurer og diagrammer som vi har fået fra Post Danmark.

*[Dette bilag er udeladt efter ønske fra Post Danmark]*

# Bilag F

## Møde 1

30/10-2003

*[Dette bilag er udeladt efter ønske fra Post Danmark]*

### F.1 Mødereferat



# Bilag G

## Møde 2

6/1-2004

*[Dette bilag er udeladt efter ønske fra Post Danmark]*

**G.1 Oplæg: Projektplan - januar**

**G.2 Referat**

# Bilag H

## Møde 3

22/1-2004

*[Dette bilag er udeladt efter ønske fra Post Danmark]*

**H.1 Oplæg: Foreløbig problemformulering for eksamensprojekt**

**H.2 Referat**

# Bilag I

## Møde 4

4/3-2004

*[Dette bilag er udeladt efter ønske fra Post Danmark]*

**I.1 Oplæg: Planlægning af workshop - Fremtids-  
værksted**

**I.2 Referat**

# Bilag J

## Møde 5

19/5-2004

*[Dette bilag er udeladt efter ønske fra Post Danmark]*

**J.1 Oplæg: Uformel præsentation af program**

**J.2 Referat**

## Bilag K

# GAMS-kode

I dette appendix findes de GAMS-filer der er blevet anvendt til løsning af den model der præsenteredes på vores workshop d. 10. marts.

### K.1 model.gms

---

```
1 $Title Post Danmark - pakkeoptimering
2 $offsymlist offsymxref offuellist offuelxref
3
4 $include sets.gms
5 $include data.gms
6
7
8 VARIABLES
9 obj                "Objektvaerdi"
10 x(i,h)            "Anvender center i metode h"
11 y(i,j)            "Betjener center i postnummer j med sorteringsmetode h"
12 z(i)              "Er centret aabent"
13 w(i,h)            "Antal mandetimer der anvendes paa center i"
14 ;
15
16 POSITIVE VARIABLES w;
17 BINARY VARIABLES x,y,z;
18
19 EQUATIONS
20 costs              "Objektfunktion"
21 al(j)              "Alle postnumre skal betjenes"
22 yz(i)              "Et center kan kun benyttes hvis det er aabent"
23 wx(i,h)            ""
24 xz(i)              "Der kan kun anvendes en metode hvert sted"
25 cap_men(i)         "Der kan kun haandteres en vis maengde pakker"
26 cap_eq(i)          "Der kan kun haandteres en vis maengde pakker"
27 cap_eq2(i)         ""
28 men(i)             "Der er ikke flere end budene til at sortere"
```

```
29 area(i,h)          "Der er et minimumskrav til arealet for at anvende metoden"
30 ;
31
32
33 costs.. obj =e= sum((i,j),c(i,j)*y(i,j)) + sum(i,f(i)*z(i))
34           + u * sum((i,h),w(i,h)) + sum((i,h),x(i,h)*v(h)*g(i)) + sum((i,h),x(i,h)*l(h));
35
36 al(j).. sum(i,y(i,j)) =e= 1;
37 yz(i).. sum(j,y(i,j)) =l= 100 * z(i);
38 wx(i,h).. w(i,h) =l= 100 * x(i,h);
39 xz(i).. sum(h,x(i,h)) =l= z(i);
40
41 cap_men(i).. sum(j,y(i,j)*p(j)) =l= sum(h,w(i,h) * e(h));
42 cap_eq(i).. sum(j,y(i,j)*p(j)) =l= sum(h,q(h) * x(i,h));
43 cap_eq2(i).. sum(j,y(i,j)) =l= sum(h,3 * r(h) * x(i,h));
44 men(i).. sum(h,w(i,h)) =l= mhours * sum(j,b(j)*y(i,j));
45
46 area(i,h).. x(i,h)*v(h) =l= a(i);
47
48 MODEL pakker / all / ;
49 SOLVE pakker USING MIP MINIMIZING obj;
50
51 Display x.l, w.l, y.l;
52
```

---

## K.2 sets.gms

*[Dette bilag er udeladt efter ønske fra Post Danmark]*

## K.3 data.gms

*[Dette bilag er udeladt efter ønske fra Post Danmark]*

## Bilag L

# MATLAB-kode

### L.1 p\_est.m

---

```
1 clear all;
2
3 [a(:,1),a(:,2),a(:,3),a(:,4),a(:,5),a(:,6),a(:,7),a(:,8),a(:,9),a(:,10)]...
4 =textread('est_dist.dat','%f %f %f %f %f %f %f %f %f %f');
5 [x,y]=textread('est_koor.dat','%f %f');
6 x = .01154529 * x;
7 y = .01154529 * y;
8 res = zeros(1,1);
9 p_i=0; k_i=0;
10 for p=2:.05:2
11     p_i = p_i+1;
12     k_i = 0;
13     for k=1.6:.05:1.9
14         k_i = k_i+1;
15         SD = 0;
16         for i=1:10
17             for j=1:i-1
18                 d = k *(abs(x(i)-x(j))^p + abs(y(i)-y(j))^p)^(1/p);
19                 SD = SD + (d-a(i,j))^2 / a(i,j);
20             end
21         end
22         res(p_i,k_i) = SD;
23     end
24 end
25
26 res
27 %mesh(res);
```

---

## L.2 medianer.m

Dette MATLAB-script beregner først massemidtpunkterne for de enkelte ruter, ud fra en række koordinatsæt som indlæses fra filer. Derefter indlæses koordinaterne for de betragtede centerplaceringer, hvorefter afstandene mellem rutemidtpunkter og centerplaceringer beregnes.

---

```
1 clear all;
2
3 k = 1.35;
4 px2km = 0.011545; % omregningsfaktor, pixels til kilometer
5
6 % postnumre
7 numre = ['2730','2740','2750','2800','2820','2830','2840';...
8 '2850','2860','2880','2900','2920','2930','2950','3460'];
9
10 [size_n,blank] = size(numre);
11
12 % find rutemidtpunkter
13 midt = zeros(size_n,2);
14 for i=1:size_n
15     clear a;
16     clear x;
17     % indlaes data
18     fil=strcat('dat',numre(i,:),'.m');
19     [p(1),p(2)]=textread(fil,'%u %u',1);
20     [a(:,1),a(:,2)]=textread(fil,'%u %u','headerlines',1);
21
22     [n,blank]=size(a);
23     x=sum(a)/n; % massemidtpunkt = midtpunkt for morgenruter
24     midt(i,:) = (x+p)/2; % medregn midtpunkt for eftermiddagsruter
25 end
26
27 % udskriv fundne rutemidtpunkter
28 midt
29
30 % indlaes centerkoordinater
31 clear x;
32 [x(:,1),x(:,2)]=textread('center_koor.dat','%f %f');
33 [size_x,blank] = size(x);
34
35 % find afstande
36 res = zeros(size_x,size_n);
37 for i=1:size_x
38     for j=1:size_n
39         %           res(i,j) = k*norm(x(i,:)-midt(j,:));
40         res(i,j) = k*sum(abs(x(i,:)-midt(j,:)));
41     end
42 end
43
44 res = res * px2km
45
```



```
46 % skriv fil til c
47 navne = ['hr','sk','ba','ly','vi','na','so','hl','ch','ve','bi';...
48         'l1','l2','l3','l4','l5','l6','l7'];
49 fid=fopen('c_dist.dat','w');
50 for i=1:size_n
51     fprintf(fid,'\t%s',numre(i,:));
52 end
53 for i=1:size_x
54     fprintf(fid,'\n%s',navne(i,:));
55     for j=1:size_n
56         fprintf(fid,'\t%.2f',res(i,j));
57     end
58 end
59 fprintf(fid,'\n');
60 fclose(fid);
61
62
63 % skriv fil til gams
64 % navne = ['hr','sk','ba','ly','vi','na','so','hl','ch','ve','bi';...
65 % 'l1','l2','l3','l4','l5','l6','l7'];
66 % fid=fopen('../gams/dist.gms','w');
67 % fprintf(fid,'%s\n',...
68 % ['TABLE d(i,j) "sum af koereafstande fra center til rutemidtpunkt"']);
69 % for i=1:size_n
70 %     fprintf(fid,'\t%s',numre(i,:));
71 % end
72 % for i=1:size_x
73 %     fprintf(fid,'\n%s',navne(i,:));
74 %     for j=1:size_n
75 %         fprintf(fid,'\t%.2f',res(i,j));
76 %     end
77 % end
78 % fprintf(fid,'\n%s',[';']);
79 % fclose(fid);
```

# Bilag M

## C-kode

### M.1 afstande.c

Dette program anvender desuden to datafiler, som kan findes på cd'en i bilag O under kildekode/c/afstandsdata/.

---

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <math.h>
3
4 #define I 25
5 #define J 18
6 #define K 1.35
7
8 main(){
9     void laeskoord(float [I][3], char[]);
10    void skrivdist(float [I][J]);
11
12    int i,j;
13
14    float dist[I][J], steder[I][3], midtpunkter[J][3];
15    laeskoord(steder,"afstandsdata/steder.dat");
16    laeskoord(midtpunkter,"afstandsdata/midtpunkter.dat");
17
18    for(i=0;i<I;i++)
19        for(j=0;j<J;j++)
20            dist[i][j] = K * (abs(steder[i][0]-midtpunkter[j][0])
21                               + abs(steder[i][1]-midtpunkter[j][1]));
22    skrivdist(dist);
23 }
24
25 void laeskoord(float a[][3], char fn[]){
26     static FILE *inndata;
27     int cc=0;
28     inndata=fopen(fn,"r");
29     if(inndata=NULL) printf("Filen %s eksisterer ikke!",fn);
30     else while(!feof(inndata)){
```

```

31     fscanf(inddata,"%f %f\n",&a[cc][0],&a[cc][1]);
32     cc++;
33 }
34 printf("\n%f",a[0][0]);
35 fclose(inddata);
36 }
37
38 void skrivdist(float a[I][J]){
39     static FILE *uddata;
40     int i,j,postnumre[J]={2730, 2740, 2750, 2760, 2800, 2820, 2830, 2840, 2850,\
41         2860, 2880, 2900, 2920, 2930, 2950, 2970, 3460, 3500};
42     char* centre[I]={"hr","sk","ba","ly","vi","na","so","hl","ch","ve","bi",\
43         "l1","l1","l2","l2","l3","l3","l4","l4","l5","l5","l6","l6","l7","l7"};
44
45     uddata = fopen("data/dist.dat","w");
46     for(j=0;j<J;j++) fprintf(uddata,"\t%d",postnumre[j]);
47     fprintf(uddata,"\n");
48
49     for(i=0;i<I;i++){
50         fprintf(uddata,"%s",centre[i]);
51         for(j=0;j<J;j++)
52             fprintf(uddata,"\t%.2f",a[i][j]/1000.0);
53         fprintf(uddata,"\n");
54     }
55 }

```

## M.2 centre.c

Dette program anvender desuden en række datafiler, som kan findes på cd'en i bilag O under kildekode/c/data/.

```

1  #include <stdio.h>
2  #include <math.h>
3  #include <stdlib.h>
4  #include <time.h>
5
6  #define I 25
7  #define J 18
8  #define H 4
9  #define TAU 18
10 #define TAU_LEN 10.0
11 #define TAU_START 330/TAU_LEN
12 #define ETA 4
13 #define ETA_FACT 24
14 #define MAX_BUDE 15
15
16 typedef struct{
17     float obj; // objektværdi
18     int y[J]; // postnummer på center
19     int x[I]; // metode for center (-1 hvis lukket)
20     int w; // arbejdstimer

```

```

21     int gamma[I][ETA];
22     int pi[I];
23     int rho[I][TAU];
24 } Sol;
25
26 static FILE *inndata, *uddata;
27 int postnumre[J]={2730, 2740, 2750, 2760, 2800, 2820, 2830, 2840, 2850,\
28             2860, 2880, 2900, 2920, 2930, 2950, 2970, 3460, 3500};
29 int rkfl[ETA_FACT][ETA]={0,1,2,3},{0,1,3,2},{0,2,1,3},{0,2,3,1},\
30 {0,3,1,2},{0,3,2,1},{1,0,2,3},{1,0,3,2},{1,2,0,3},{1,2,3,0},{1,3,0,2},\
31 {1,3,2,0},{2,0,1,3},{2,0,3,1},{2,1,0,3},{2,1,3,0},{2,3,0,1},{2,3,1,0},\
32 {3,0,1,2},{3,0,2,1},{3,1,0,2},{3,1,2,0},{3,2,0,1},{3,2,1,0}};
33 float d[I][J], T_start, T_slut, T_faktor, init_obj;
34 int t_steps;
35 Sol aktuel_sol, ny_sol, bedst_sol, top10[11];
36
37 // parametre
38 float u, c[I][J], f[I], g[I], l[H], eff[H];
39 int kip_antal, hest_antal, baand_antal, kip_pris, hest_pris, baand_pris,\
40     hast, min_areal[H], areal[I], max_men[H], max_postnr[H],\
41     b[J], p[J], ank_tid[J], afg_tid[J][MAX_BUDE];
42
43 void copy(Sol, Sol *), findobj(), print_sol(Sol *);
44 void laesfloatfil(float [], char []), laestidsfil(int [], char []);
45 void sort1(), swap(int *, int *);
46 void find_rho(int, Sol *), SA_param(), skriv_bedste(), skriv_top10();
47 int postplads(int);
48
49 main(int argc, char *argv[])
50 {
51     int h,i,j,k,ind,t,n1,n2,n3,n4;
52     Sol init_sol;
53
54     int brugbar();
55     void laesintfil(int [], char []);
56     void findnabo(void), gem_i_top10();
57     void laesafgtidsfil(char []);
58     void danc(), skriv_test();
59     srand(time(NULL));
60
61     // indlæs std-datafiler
62     laesintfil(min_areal, "data/minareal.dat");
63     laesintfil(areal, "data/areal.dat");
64     laesintfil(max_men, "data/met_max_men.dat");
65     laesintfil(max_postnr, "data/maxpostnr.dat");
66     laesfloatfil(f, "data/centeromk.dat");
67     laesfloatfil(g, "data/m2pris.dat"); for(i=0;i<I;i++) g[i] /= 255.0;
68     laesfloatfil(l, "data/met_omk.dat");
69     laesfloatfil(eff, "data/effektivitet.dat");
70     for(h=0;h<H;h++) eff[h] /= (60/TAU_LEN);
71     laestidsfil(ank_tid, "data/ank_tider.dat");
72     laesafgtidsfil("data/afg_tider.dat");
73     danc(); // indlæs og beregn afstandsomkostninger
74     u /= (60/TAU_LEN); // omregn timeløn til korrekte intervaller

```

```
75 kip_pris /= 1275.0; // afskriv over 5 år (=1275 arb.dage)
76 hest_pris /= 1275.0; // samme
77 baand_pris /= 1275.0; // samme
78
79 // indlæs pakkemængder
80 for(j=0;j<J;j++) p[j]=0;
81 inddata=fopen("data/pakker.dat","r");
82 if(inddata==NULL)
83     printf("Filen data/pakker.dat eksisterer ikke!");
84 else
85     while(!feof(inddata)){
86         fscanf(inddata,"%d %d\n", &n1, &n2);
87         p[postplads(n1)]=n2;
88     }
89 fclose(inddata);
90
91 // læs initiel løsning
92 for(i=0;i<I;i++){
93     ny_sol.x[i]=-1;
94     ny_sol.pi[i]=0;
95     for(k=0;k<ETA;k++) ny_sol.gamma[i][k]=-1;
96 }
97 char *indfil;
98 if(argc<2) indfil = "data/initlosning.dat";
99 else indfil = argv[1];
100 inddata=fopen(indfil,"r");
101 if(inddata==NULL){
102     uddata=fopen("resultater/top10.dat","w");
103     fprintf(uddata,"Filen %s eksisterer ikke!",indfil);
104     fclose(uddata);
105 }
106 else
107     while(!feof(inddata)){
108         fscanf(inddata,"%d %d %d", &n1, &n2, &n3);
109         ny_sol.x[n1]=n2-1;
110         ny_sol.pi[n1]=n3;
111         for(j=0;j<n3;j++){
112             fscanf(inddata,"%d", &n4);
113             ny_sol.y[postplads(n4)]=n1;
114         }
115     }
116 fclose(inddata);
117 ny_sol.w = 0;
118 // finder alle postnr der sorteres på hvert sted
119 for(i=0;i<I;i++){
120     for(j=0,ind=0;j<J;j++)
121         if(ny_sol.y[j]==i) ny_sol.gamma[i][ind++]=j;
122     find_rho(i, &ny_sol);
123 }
124
125 // tjek brugbarhed af initiel løsning
126 if(!brugbar()){
127     printf("Den angivne initielle løsning er ikke brugbar.\n");
128     uddata=fopen("resultater/top10.dat","w");
```

```
129     fprintf(uddata,"Der kunne ikke findes nogen løsninger.\n");
130     fprintf(uddata,"Den angivne initielle løsning er ikke brugbar.\n");
131     fclose(uddata);
132     return 1;
133 }
134 printf("Tryk ctrl-c for at afbryde.\nRegner...\n");
135 findobj();
136 init_obj = ny_sol.obj;
137 for(k=0;k<11;k++) top10[k].obj=500000;
138 gem_i_top10();
139 copy(ny_sol, &aktuel_sol);
140 copy(ny_sol, &init_sol);
141 SA_param();
142
143 // starter SA
144 int it_count=0,t_count,tid,random;
145 float T=T_start,diff;
146 time_t starttid,sluttid,difftid;
147 time(&starttid);
148 while(T>T_slut){
149     findnabo();
150     if(!brugbar()) continue; // for at undgå løkken
151     findobj(&ny_sol);
152     if(floor(ny_sol.obj)<floor(top10[9].obj)) gem_i_top10();
153     diff=ny_sol.obj-aktuel_sol.obj;
154     if(diff<0 || rand()/32767.0 < exp(-diff/T))
155         copy(ny_sol,&aktuel_sol);
156     if(t_count>t_steps){
157         T *= T_faktor; // temperaturreduktion
158         t_count=0;
159     }
160     else t_count++;
161     it_count++;
162 }
163 time(&sluttid);
164
165 difftid=sluttid-starttid;
166 // skriv_test(it_count,difftid);
167 skriv_bedste();
168 skriv_top10();
169 printf("Afsl. obj: %f", aktuel_sol.obj);
170 }
171
172 void print_sol(Sol *sol){
173     int i,j,k,t;
174     printf("obj: %f\nny: ",sol->obj);
175     for(j=0;j<J;j++) printf("%d ",sol->y[j]);
176     printf("\nx: ");
177     for(i=0;i<I;i++) printf("%d ",sol->x[i]);
178     printf("\ngamma:\n");
179     for(i=0;i<I;i++){
180         for(k=0;k<ETA;k++) printf("%d ",sol->gamma[i][k]);
181         printf("\n");
182     }
```

```
183     printf("pi: ");
184     for(i=0;i<I;i++) printf("%d ",sol->pi[i]);
185     printf("\nrho:\n");
186     for(i=0;i<I;i++){
187         for(t=0;t<TAU;t++) printf("%d ",sol->rho[i][t]);
188         printf("\n");
189     }
190 }
191
192 int brugbar(){
193     int i, j, k, n, t, ind, rest_pakker, mand, tmp_w=0, next_i=0, cont=0;
194     float loft;
195
196     for(i=0;i<I;i++){
197         if(min_areal[ny_sol.x[i]]>areal[i]
198            || max_postnr[ny_sol.x[i]]<ny_sol.pi[i])
199             return 0;
200     }
201
202     sort1();
203     ny_sol.w=0;
204     for(i=0;i<I;i++){
205         // init
206         ind=ny_sol.pi[i];
207         if(ind==0) continue;
208
209         // undersøg om tidsplanen kan overholdes
210         for(k=0;k<ETA_FACT;k++){
211             t = ank_tid[ny_sol.gamma[i][rkfl[k][0]]];
212             tmp_w = (int)(p[ny_sol.gamma[i][rkfl[k][0]]]/2.0)/eff[ny_sol.x[i]];
213             for(n=0;n<ETA;n++){
214                 if(rkfl[k][n]>=ind){
215                     if(n==ETA-1){
216                         ny_sol.w += tmp_w;
217                         break;
218                     }
219                     continue;
220                 }
221
222                 // find det antal pakker der mangler at blive sorteret fra postnumret
223                 // (kun halvdelen hvis det er dagens første)
224                 rest_pakker=p[ny_sol.gamma[i][rkfl[k][n]]]*(n==0?1/2.0:1.0);
225                 while(rest_pakker>0 && t<TAU){
226                     if(t<ank_tid[ny_sol.gamma[i][rkfl[k][n]]])
227                         t=ank_tid[ny_sol.gamma[i][rkfl[k][n]]];
228                     mand = ny_sol.rho[i][t];
229                     rest_pakker = rest_pakker - mand*eff[ny_sol.x[i]];
230                     tmp_w += mand;
231                     t++;
232                 }
233
234                 // denne rækkefølge fører ingen steder, prøv den næste
235                 if(t>afg_tid[rkfl[k][n]][0] || t>TAU || rest_pakker>0){cont=1;break;}
236                 tmp_w -= (int)(-rest_pakker/eff[ny_sol.x[i]]);
```

```
237
238     // alle postnumre er ok sorteret med denne metode, gå til næste sted
239     if(n==ETA-1){
240         ny_sol.w += tmp_w;
241         next_i=1;
242         break;
243     }
244 }
245 if(cont && k<ETA_FACT-1){ cont=0; continue; }
246 if(next_i) break;
247 if(k==ETA_FACT-1) return 0;
248 }
249 if(next_i){ next_i=0; continue;}
250 }
251 return 1;
252 }
253
254 void sort1(){
255     int i,k,cnt,k_max;
256     for(i=0;i<I;i++){
257         if(ny_sol.pi[i]==0) continue;
258         for(k=1;k<ETA;k++){
259             k_max=ETA-1;
260             if(ny_sol.gamma[i][k]==-1){ k_max=k-1; break;}
261             if(p[ny_sol.gamma[i][k]]>p[ny_sol.gamma[i][0]])
262                 swap(&ny_sol.gamma[i][k],&ny_sol.gamma[i][0]);
263         }
264         for(cnt=1;cnt<k_max;cnt++)
265             for(k=1;k<k_max;k++)
266                 if(afg_tid[ny_sol.gamma[i][k]]>afg_tid[ny_sol.gamma[i][k+1]])
267                     swap(&ny_sol.gamma[i][k],&ny_sol.gamma[i][k+1]);
268     }
269 }
270
271 void swap(int *ptr1, int *ptr2){
272     int tmp = *ptr1;
273     *ptr1 = *ptr2;
274     *ptr2 = tmp;
275 }
276
277 void findnabo(){
278     int r=rand()%100+1, r1, r2, i1, i2, rh, ri, gli, rj, k, k1, k2, tmp_1;
279     copy(aktuel_sol, &ny_sol);
280
281     //bytte to postnumre
282     if(r<=45){
283         r1=rand()%J;
284         i1 = ny_sol.y[r1];
285         do{
286             r2=rand()%(J-1);
287             if(r2==r1) r2=J-1;
288             i2 = ny_sol.y[r2];
289         }while(i1==i2);
290         swap(&ny_sol.y[r1],&ny_sol.y[r2]);

```



```
291 // opdater gamma
292 for(k=0;k<ETA;k++) if(ny_sol.gamma[i1][k]==r1) k1=k;
293 for(k=0;k<ETA;k++) if(ny_sol.gamma[i2][k]==r2) k2=k;
294 swap(&ny_sol.gamma[i2][k2],&ny_sol.gamma[i1][k1]);
295 find_rho(i1, &ny_sol);
296 find_rho(i2, &ny_sol);
297 }
298
299 //flytte et postnummer
300 else if(r<=90){
301     rj=rand()%J;
302     while(1){
303         ri=rand()%(I-1);
304         if(ri==aktuel_sol.y[rj]) ri=I-1;
305         if(ny_sol.gamma[ri][ETA-1]==-1) break; // der er ikke mere plads på i
306     }
307     gli=ny_sol.y[rj]; // husk hvilket i j kom fra
308     ny_sol.y[rj]=ri;
309     if(ny_sol.x[ri]==-1) ny_sol.x[ri]=rand()%H; // hvis det nye sted ikke
310                                     // var brugt i forvejen: giv det en metode
311
312     // fjern rj fra dens gamle i
313     if(ny_sol.pi[gli]==1){
314         ny_sol.x[gli]=-1;
315         ny_sol.gamma[gli][0]=-1;
316     }
317     else{
318         for(k=0;k<ny_sol.pi[gli];k++) if(ny_sol.gamma[gli][k]==rj) break;
319         ny_sol.gamma[gli][k]=ny_sol.gamma[gli][ny_sol.pi[gli]-1];
320         ny_sol.gamma[gli][ny_sol.pi[gli]-1]=-1;
321     }
322
323     // indsæt rj i det nye i
324     ny_sol.gamma[ri][ny_sol.pi[ri]]=rj;
325     ny_sol.pi[gli]--;
326     ny_sol.pi[ri]++;
327     find_rho(ri, &ny_sol);
328     find_rho(gli, &ny_sol);
329 }
330
331 //ændre en metode
332 else{
333     do{ ri=rand()%(I); } while(ny_sol.x[ri]==-1);
334     rh=rand()%(H-1);
335     if(rh==aktuel_sol.x[ri]) rh=H-1;
336     ny_sol.x[ri]=rh;
337     find_rho(ri, &ny_sol);
338 }
339 }
340
341 void findobj(){
342     int i,j,k,t,kippe=kip_antal,heste=hest_antal,baand=baand_antal;
343     float tmp_obj=0;
344     for(j=0;j<J;j++) tmp_obj += c[ny_sol.y[j]][j]; // afstande
```

```

345     for(j=0;j<J;j++) for(t=0;t<TAU;t++) tmp_obj += ny_sol.w*u; //løn
346     for(i=0;i<I;i++)
347         if(ny_sol.x[i]!=-1){
348             tmp_obj += min_areal[ny_sol.x[i]]*g[i] + f[i]; // m2pris + fast
349             for(k=0;k<ny_sol.pi[i];k++)
350                 tmp_obj += l[ny_sol.x[i]] * b[ny_sol.gamma[i][k]]; // met.afh. omk.
351             switch(ny_sol.x[i]){ // optælling af udstyrsomk. (til afskrivning)
352                 case 0: kippe--; heste--; break;
353                 case 1: kippe--; baand--; break;
354             }
355         }
356     if(kippe<0) tmp_obj += -kippe*kipe_pris;
357     if(heste<0) tmp_obj += -heste*hest_pris;
358     if(baand<0) tmp_obj += -baand*baand_pris;
359     for(k=0;k<7;k++)
360         if(ny_sol.x[11+2*k]!=-1 && ny_sol.x[12+2*k]!=-1)
361             tmp_obj -= f[11+2*k];
362     ny_sol.obj=tmp_obj;
363 }
364
365 void copy(Sol fra, Sol *til){
366     int i,j,k,t;
367     til->obj=fra.obj; // obj
368     for(j=0;j<J;j++){
369         til->y[j]=fra.y[j]; // y
370         for(t=0;t<TAU;t++) til->w=fra.w; // w
371     }
372     for(i=0;i<I;i++){
373         til->pi[i]=fra.pi[i]; // pi
374         til->x[i]=fra.x[i]; // x
375         for(k=0;k<ETA;k++) til->gamma[i][k]=fra.gamma[i][k]; // gamma
376         for(k=0;k<MAX_BUDE;k++) til->rho[i][k] = fra.rho[i][k];
377     }
378 }
379
380 void gem_i_top10(){
381     int n;
382     if(ny_sol.obj>top10[9].obj) return;
383     for(n=0;n<10;n++) if(floor(ny_sol.obj)==floor(top10[n].obj)) return;
384     n=8;
385     while(n>=0 && ny_sol.obj<top10[n].obj){
386         copy(top10[n],&top10[n+1]);
387         n--;
388     }
389     copy(ny_sol,&top10[n+1]);
390 }
391
392 void find_rho(int i, Sol *sol){
393     int j, k, k1, t, tmp;
394     for(t=0;t<TAU;t++) sol->rho[i][t]=0;
395     for(k1=0;k1<sol->pi[i];k1++){
396         j=sol->gamma[i][k1];
397         for(t=0;t<TAU;t++) sol->rho[i][t] += b[j];
398         for(k=0;k<b[j];k++){

```

```

399         tmp=(afg_tid[j][k]-d[i][j]*hast/60.0)/TAU_LEN-TAU_START;
400         for(;tmp<TAU;tmp++) sol->rho[i][tmp]--;
401     }
402 }
403 for(t=0;t<TAU;t++)
404     if(sol->rho[i][t]>max_men[sol->x[i]])
405         sol->rho[i][t]=max_men[sol->x[i]];
406 }
407
408 void skriv_bedste(){
409     int i,n;
410     uddata=fopen("resultater/final.dat","w");
411     for(i=0;i<I;i++){
412         if(top10[0].x[i]!=-1){
413             fprintf(uddata,"%d\t%d\t%d",i,top10[0].x[i]+1,top10[0].pi[i]);
414             for(n=0;n<top10[0].pi[i];n++)
415                 fprintf(uddata,"\t%d",postnumre[top10[0].gamma[i][n]]);
416             fprintf(uddata,"\n");
417         }
418     }
419     fclose(uddata);
420 }
421
422 void skriv_top10(){
423     int i,k,n,cc;
424     char tmp[100],adresser[I][100];
425     inddata=fopen("data/adresser.dat","r");
426     if(inddata==NULL) printf("Filen data/adresser.dat eksisterer ikke!");
427     else for(i=0;i<I;i++){
428         fgets(tmp,100,indata);
429         strcpy(adresser[i],tmp);
430     }
431     fclose(indata);
432
433     uddata=fopen("resultater/top10.dat","w");
434     fprintf(uddata,"Objektværdi af initiel løsning: %.2f\n\n",init_obj);
435     for(n=0;n<10;n++){
436         fprintf(uddata,"Løsning %d:\n-----\n",n+1);
437         fprintf(uddata,"Objekt: %.2f",top10[n].obj);
438         for(i=0;i<I;i++){
439             if(top10[n].x[i]!=-1){
440                 fprintf(uddata,"\nCenter: %s",adresser[i]);
441                 fprintf(uddata,"Metode: %d\n",top10[n].x[i]+1);
442                 fprintf(uddata,"Postnumre:");
443                 for(k=0;k<top10[n].pi[i];k++)
444                     fprintf(uddata,"\t%d",postnumre[top10[n].gamma[i][k]]);
445                 fprintf(uddata,"\n");
446             }
447         }
448         fprintf(uddata,"\n\n");
449     }
450     fclose(uddata);
451 }
452

```

```
453 void skriv_test(int it_count, time_t tid){
454     int n;
455     uddata=fopen("resultater/tests.dat","a");
456     fprintf(uddata, "%.0f\t%.2f\t%.2f\t%d\t%d\t%d", \
457             T_start, T_slut, T_faktor, it_count, t_steps, tid);
458     for(n=0;n<3;n++) fprintf(uddata, "\t%.2f", top10[n].obj);
459     fprintf(uddata, "\n");
460     fclose(uddata);
461 }
462
463 void SA_param(){
464     char skrald[100];
465     inddata=fopen("data/SA/SA_param.dat", "r");
466     if(inddata==NULL) printf("SA_param.dat eksisterer ikke!");
467     else{
468         fscanf(inddata, "%f %[\n] \n", &T_start, &skrald);
469         fscanf(inddata, "%f %[\n] \n", &T_slut, &skrald);
470         fscanf(inddata, "%f %[\n] \n", &T_faktor, &skrald);
471         fscanf(inddata, "%d %[\n] \n", &t_steps, &skrald);
472     }
473     fclose(inddata);
474 }
475
476 void danc(){
477     int o, i, j;
478     float m;
479     char skrald[100];
480     inddata=fopen("data/param.dat", "r");
481
482     // læs skalar-parametre
483     if(inddata==NULL) printf("Filen data/param.dat eksisterer ikke!");
484     else{
485         fscanf(inddata, "%d %[\n] \n ", &u, &skrald);
486         fscanf(inddata, "%d %[\n] \n ", &o, &skrald);
487         fscanf(inddata, "%d %[\n] \n ", &hast, &skrald);
488         fscanf(inddata, "%d %[\n] \n ", &kip_antal, &skrald);
489         fscanf(inddata, "%d %[\n] \n ", &hest_antal, &skrald);
490         fscanf(inddata, "%d %[\n] \n ", &baand_antal, &skrald);
491         fscanf(inddata, "%d %[\n] \n ", &kip_pris, &skrald);
492         fscanf(inddata, "%d %[\n] \n ", &hest_pris, &skrald);
493         fscanf(inddata, "%d %[\n] \n ", &baand_pris, &skrald);
494     }
495     fclose(inddata);
496     printf("%d", baand_antal);
497
498     // læs center->rute-afstande
499     inddata=fopen("data/dist.dat", "r");
500     if(inddata==NULL) printf("Filen data/dist.dat eksisterer ikke!");
501     else
502     {
503         fscanf(inddata, "%[\n] \n", &skrald);
504         for(i=0; i<I; i++){
505             fscanf(inddata, "%s", &skrald);
506             for(j=0; j<J; j++)
```

```
507         fscanf(inddata,"%f", &d[i][j]);
508         fscanf(inddata,"\n");
509     }
510 }
511
512 fclose(inddata);
513 for(i=0;i<I;i++)
514     for(j=0;j<J;j++)
515         c[i][j] = 2 * d[i][j] * b[j] * o;
516 }
517
518 void laesfloatfil(float a[], char fn[]){
519     int cc=0;
520     inddata=fopen(fn,"r");
521     if(inddata=NULL) printf("Filen %s eksisterer ikke!",fn);
522     else while(!feof(inddata)) fscanf(inddata,"%f\n",&a[cc++]);
523     fclose(inddata);
524 }
525
526 void laesintfil(int a[], char fn[]){
527     int cc=0;
528     inddata=fopen(fn,"r");
529     if(inddata=NULL) printf("Filen %s eksisterer ikke!",fn);
530     else while(!feof(inddata)) fscanf(inddata,"%d\n",&a[cc++]);
531     fclose(inddata);
532 }
533
534 void laestidsfil(int a[], char fn[]){
535     int n1, n2, cc=0;
536     inddata=fopen(fn,"r");
537     if(inddata=NULL) printf("Filen %s eksisterer ikke!",fn);
538     else
539         while(!feof(inddata)){
540             fscanf(inddata,"%d.%d\n",&n1,&n2);
541             a[cc++] = (n1*60 + n2)/TAU_LEN-TAU_START;
542         }
543     fclose(inddata);
544 }
545
546 void laesafgtidsfil(char fn[]){
547     int j,t,k, n1, n2, n3, n4, cc=0;
548     inddata=fopen(fn,"r");
549     for(j=0;j<J;j++) for(k=0;k<MAX_BUDE;k++) afg_tid[j][k]=0;
550     if(inddata=NULL) printf("Filen %s eksisterer ikke!",fn);
551     else
552         while(!feof(inddata)){
553             fscanf(inddata,"%d %d",&n3,&n4);
554             n3 = postplads(n3);
555             b[n3]=n4;
556             for(k=0;k<n4;k++){
557                 fscanf(inddata,"%d.%d\n",&n1,&n2);
558                 afg_tid[n3][k] = n1*60 + n2;
559             }
560         }
```

---

```
561     fclose(inndata);
562 }
563
564 int postplads(int a){
565     int j;
566     for(j=0;j<J;j++) if(postnumre[j]==a) return j;
567     return -1;
568 }
```

---

## Bilag N

# Programudskrifter

I dette bilag findes output fra det udarbejdede program centre.exe. For omtale heraf, se afsnit 5.4.1.

*[Dette bilag er udeladt efter ønske fra Post Danmark]*

### N.1 Anvendelighed af SA-proceduren

#### N.1.1 Løsning for *quenching*

#### N.1.2 Løsning for SA-procedure, indledende parametre

#### N.1.3 Løsning for SA-procedure, bedste parametre

### N.2 Modellens robusthed overfor parametre

#### N.2.1 Løsning for SA-procedure, 10% længere afstande

#### N.2.2 Løsning for SA-procedure, 10% kortere afstande

#### N.2.3 Løsning for SA-procedure, 10% flere pakker

#### N.2.4 Løsning for SA-procedure, 10% færre pakker

### N.3 Udskrift af de ti bedste løsninger

# Bilag O

## CD

Vedlagte cd indeholder en række filer der er udarbejdet i forbindelse med projektet.



Ved anvendelse af PC'er med en nyere Windows-installation vil cd'en automatisk starte ved isættelsen, og vise en oversigt over cd'ens indhold. For øvrige systemer kan denne oversigt nås ved at åbne filen index.html i mappen html i en webbrowser.

Hovedpartens af cd'ens indhold kan nås gennem oversigtssiderne, det øvrige gennem den sædvanlige mappestruktur, som beskrevet nedenfor.

<b>Oversigt over cd'ens indhold:</b>	
figurer/ html/	udvalgte figurer fra rapporten i eps-format oversigtssider med adgang til de fleste af cd'ens filer
kildekode/	kildekode udarbejdet i forbindelse med projek- tet, opdelt i C, GAMS, MATLAB og Excel- regneark
lydfiler/	lydfilerne fra afholdelsen af workshoppen, kritik- og virkelighedsgørelsesfasen
program/ videoklip/	det udarbejdede program samt brugervejledning videoklip fra besøgene på nogle af distributions- centrene

Tabel O.1: Fylliste

## Bilag P

### Ordliste

Her præsenteres en liste over nogle anvendte ord og begreber, og, om relevant, deres engelske oversættelse.

**ABC-analyse** - *Activity Based Costing*-analyse.

**Ankomstsortering** - det at en del af pakkerne til et postnummer er opsor- teret på ruter fra BRC.

**Anmeldte pakker** - pakker som ikke kan afleveres til modtageren, typisk privatpersoner som ikke er hjemme når budet kommer. Disse afleveres herefter på posthuset, hvor modtageren kan afhente dem.

**CVM (Central varemottagelse)** - i forbindelse med at Post Danmark i visse virksomheder varetager den interne postgang, modtages pakker fra andre pakkedistributører og godsleverandører, som derefter omdeles internt i virksomheden.

**Depotsække** - sække med post som placeres på postruterne, således at budene ikke skal tilbage til postkontoret for at hente flere. Disse køres ofte ud af pakkebudene og placeres i aflåste skabe langs ruterne, indtil budene kommer forbi.

**Erhvervskunder** - modtagere som skal have omdelt pakker senest kl. 10, fx fabrikations- og engrosvirksomheder, offentlige kontorer, pengeinsti- tutter, forsikringsselskaber og dagblade. [31]

**Filial** - ind- og udleveringssted for pakker, mm.

**FS-opgaver (Facility services)** - andre opgaver der varetages af Post Dan- mark hos virksomhederne, eksempelvis CVM

**Klodser** - små pakker der behandles som breve og omdeles af postbudene. I visse tilfælde er disse dog for store at have med på cykel, og disse kan da evt. overtages af pakkebuddet.

**Liberale erhverv** - modtagere som skal have omdelt pakker senest kl. 13, fx læger, advokater, revisorer, arkitekter, ingeniører, m.fl. [31]

**Opsamlingsortering** - behandling af indsamlet post fra kunder, posthuse og postkasser således, at forsendelserne kan videresendes til sprednings-

sortering.

**Slæde** - anordning i bunden af bilen, som gør at pakkerne kan køres frem og tilbage.

**Spredesortering** - behandling af opsamlingssorteret post således, at forsendelserne kan videresendes til omdeling ved distributionscentrene.

**Særaftaler** - Aftaler som enkelte virksomheder har med Post Danmark vedrørende leveringstidspunkt af breve og evt. pakker. Typisk betaler en stor virksomhed for at være sikker på at få sin post om morgenen, eksempelvis kl. 8 istedet for kl. 10.

**Varsling** - det at BRC på forhånd udsender nogle tal for hvor mange pakker der kan ventes den følgende dag.

# Litteratur

- [1] Clausen, S. (2002): Matematisk Modellering; IMM, DTU
- [2] Daellenbach, H.G. (2001): Hard OR, Soft OR, Problem Structuring Methods, Critical Systems Thinking: A Primer; <http://www.esc.auckland.ac.nz/Organisations/ORSNZ/conf36/papers/Daellenbach.pdf>
- [3] Hillier, F.S. og Lieberman, G.J. (1995): Introduction to Operations Research; McGraw-Hill
- [4] Horn, F. og Sørensen, J.S. (1987): Fremtidsværksteder i Danmark - Teori og praksis; Politisk Revy, 1987
- [5] Jacobsen, J.K. (1993): Interview - Kunsten at lytte og spørge; Hans Reitzels Forlag
- [6] Kensing, F., Simonsen, J. og Bødker, K. (1996): MUST - a Method for Participatory Design; Datalogiske skrifter, RUC
- [7] Klose, A. og Drexl, A. (2004): Facility location models for distribution system design; European Journal of Operations Research, *article in press*
- [8] Love, R.F., Morris, J.G. og Wesolowsky, G. O. (1988): Facilities Location - Models & Methods; Elsevier Science Publishing Co., Inc.
- [9] Michalewicz, Z. og Fogel, D.B. (2000): How to Solve It: Modern Heuristics; Springer
- [10] Midgley, G. (2003): Systems thinking, bind 1-4; Sage Publications
- [11] Mingers, J. og Brocklesby, J. (1997): Multimethodology: Towards a Framework for Mixing Methodologies; International Journal of Management Science, vol. 25, no.5
- [12] Mingers, J. og Gill, A. (1997): Multimethodology - The Theory and Practice of Combining Management Science Methodologies; Wiley
- [13] Ottesen, B. og Tranberg, L. (2004): Planlægning og optimering af logistiske problemstillinger i et kulturelt divergent miljø; Kandidatafhandling, IMM, DTU
- [14] Pidd, M. (1996): Tools for Thinking - Modelling in Management Science; John Wiley & Sons Ltd
- [15] Rosenhead, J. (2001): Rational Analysis for a Problematic World Revisited; John Wiley & Sons Ltd
- [16] Simonsen, J. (1996): Involving Customer Reactions in Contextual Design

- a Case Study; Datalogiske skrifter, RUC
- [17] Simonsen, J. og Kensing, F. (1997): Using Ethnography in Contextual Design; Datalogiske skrifter, RUC
- [18] Sørensen, L. og Vidal, V. (1999): Strategi og planlægning som læreproces - Seks bløde fremgangsmåder; Handelshøjskolens Forlag
- [19] Vidal, R.V.V. (1997): Technical vs. Practical OR; noter fra kursus 04331 *Offentlig Planlægning*, DTU
- [20] Vidal, R.V.V. (2002): The vision conference - Facilitating creative processes; IFORS Conference, Edinburgh
- [21] Vidal, R.V.V. (2003): Dealing with problematic situations; Kompendium - kursusmateriale til brugerorienteret planlægning, 2003, IPL, DTU
- [22] Vidal, R.V.V. (2004): The Art and Science of Problem Solving; slides fra kursus 02727 *Tele-information: Strategi - kreativitet*, DTU
- [23] Wilson, B. (2001): Soft Systems Methodology - Conceptual Model Building and its Contribution; John Wiley & Sons Ltd
- [24] Wolsey, L.A. (1998): Integer programming; John Wiley & Sons Ltd
- [25] (2003): Kompendium - Kursusmateriale til brugerorienteret planlægning; IMM/IPL, DTU
- [26] [http://www.thinking.net/Systems\\_Thinking/OverviewSTarticle.pdf](http://www.thinking.net/Systems_Thinking/OverviewSTarticle.pdf)
- [27] <http://www.sgzz.ch/home/links/stp/sysbasis.htm>
- [28] <http://www.systems-thinking.org>
- [29] <http://www.deg.ist.utl.pt/cegist/proj.html>
- [30] <http://www.kent.ac.uk/CBS/staff-information/jm204.htm>
- [31] <http://www.postdanmark.dk/>
- [32] <http://www.krak.dk/>
- [33] <http://www.banxia.com/>
- [34] <http://www.itu.dk/courses/I/E2001/noter/010926%20Etnografiske%20metoder.doc>
- [35] <http://www.kms.dk/>