



# SINTEF RAPPORT

## SINTEF IKT

Postadresse: Boks 124, Blindern  
0314 Oslo

Besøksadresse: Forskningsveien 1  
0373 Oslo

Telefon: 22 06 73 00

Telefaks: 22 06 73 50

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

TITTEL

**International Workshop on Vehicle Routing in Practice (VIP'08) - Oppsummering**

FORFATTER(E)

Geir Hasle

OPPDRAGSGIVER(E)

Norges forskningsråd / Smartrans

RAPPORTNR. SINTEF A8457	GRADERING Åpen	OPPDRAGSGIVERS REF. Øystein Strandli	
GRADER. DENNE SIDE Åpen	ISBN 978-82-14-04407-02	PROSJEKTNR. 90A10132	ANTALL SIDER OG BILAG 13
ELEKTRONISK ARKIVKODE SINTEF RAPPORT VIP08.doc	PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Geir Hasle	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Martin Stølevik	
ARKIVKODE	DATO 2008-11-03	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Roger Bjørgan, Forsknings sjef	

### SAMMENDRAG

Den internasjonale konferansen *Vehicle Routing in Practice 2008* (VIP'08) ble gjennomført på en meget vellykket måte 12.-14. juni 2008 på Soria Moria konferansehotell i Oslo. Workshopen hadde 28 deltakere, hvorav 15 meget anerkjente forskere fra utlandet og 13 fra de tre norske VRP-forskningsgruppene ved NTNU, Høgskolen i Molde og SINTEF. VIP'08 samlet erfarne forskere fra utlandet og Norge samt norske PhD og postdoktorstipendiater. Det var 25 foredrag inndelt i 8 sesjoner etter fagtema (en strøm), samt åpningssesjon og avsluttende paneldebatt. Tilbakemeldingene fra deltakerne var meget positive, både når det gjelder faglig utbytte, sted og det arrangementstekniske. Flere deltakere oppfordret til å følge opp med en fast serie av VIP-workshops. Foredragene ved VIP'08 viste følgende trender innen VRP-forskning: 1) rikere, mer anvendelsestro modeller og tilhørende algoritmer studeres. 2) metodenes beregningsmessige ytelse blir stadig bedre, eksperimentelle undersøkelser benytter større, mer realistiske instanser. 3) VRP-forskningen er aktiv som aldri før, det er fremdeles store utfordringer. VIP'08 ble avsluttet med en interessant paneldebatt. Hovedkonklusjonene var: A) VRP-forskningen i academia er industrielt relevant, men mye er basert på idealiserte modeller. B) i løpet av få år forventes det metoder som vil gi høykvalitets løsninger for VRP opp til 2000-5000 ordre. C) Det er en lang rekke viktige områder for VRP-forskning fremover, bl. a. utvikling av parallelle og samarbeidende optimeringsalgoritmer og hybride metoder. Det er stor interesse blant deltakerne for å arrangere nye VIP workshops. Det norske forskningsmiljøet var godt representert, både ved yngre forskere og seniorer. Miljøet fremstår som meget godt. Enkeltmiljøene i Norge er relativt små, men det er etablert gode samarbeidsakser. VIP'08 bidro godt til videre internasjonal nettverksbygging.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Transport	Transportation
GRUPPE 2	Optimalisering	Optimization
EGENVALGTE	Ruteplanlegging	Vehicle Routing
	Workshop	Workshop
	Vehicle Routing in Practice VIP08	Vehicle Routing in Practice VIP08

## INNHALDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>Oppsummering og konklusjoner .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Bakgrunn .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Motivasjon, mål og innkalling .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Deltakelse, struktur, program .....</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Gjennomføring og økonomi .....</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>Hovedinntrykk fra sesjonene og paneldiskusjon .....</b>	<b>6</b>
6.1	Sesjon "New VRP variants" .....	6
6.2	Sesjonen "Applications" .....	7
6.3	Sesjonen "Vessel Routing" .....	8
6.4	Sesjonen "Rich VRP" .....	8
6.5	Sesjonen "Fleet Composition" .....	9
6.6	Sesjonen "Aggregation and Decomposition" .....	10
6.7	Sesjonen "Supporting Methods" .....	10
6.8	Paneldiskusjon .....	11
6.8.1	"How industrially relevant is the research conducted in the scientific community?" .....	11
6.8.2	"How far can we go?" .....	12
6.8.3	"What are the promising research avenues?" .....	12
6.8.4	"Should we arrange more VIP workshops?" .....	12
	<b>Vedlegg: Program, deltakerliste og dokumentasjon av foredrag.....</b>	<b>13</b>

## 1 Oppsummering og konklusjoner

- Den internasjonale konferansen *Vehicle Routing in Practice 2008* (VIP'08) ble gjennomført på en meget vellykket måte 12.-14. juni 2008 på Soria Moria konferansehotell i Oslo.
- Workshopen hadde 28 deltakere, hvorav 15 meget anerkjente forskere fra utlandet og 13 fra de tre norske VRP-forskningsgruppene ved NTNU, Høgskolen i Molde og SINTEF
- VIP'08 samlet erfarne forskere fra utlandet og Norge samt norske PhD og postdoktorstipendiater.
- Det var 25 foredrag inndelt i 8 sesjoner etter fagtema (en strøm), samt åpnings sesjon og avsluttende paneldebatt.
- Tilbakemeldingene fra deltakerne var meget positive, både når det gjelder faglig utbytte, sted og det arrangementstekniske. Flere deltakere oppfordret til å følge opp med en fast serie av VIP-workshops.
- Foredragene ved VIP'08 viste følgende trender innen VRP-forskning:
  - også i academia studeres nå rikere, mer anvendelsestro modeller og tilhørende algoritmer
  - miljøaspekter tillegges større vekt, modeller som eksplisitt tar med miljøhensyn blir nå utviklet
  - metodenes beregningsmessige ytelse blir stadig bedre, eksperimentelle undersøkelser benytter større, mer realistiske instanser
  - VRP-forskningen er aktiv som aldri før, det er fremdeles store utfordringer
- VIP'08 ble avsluttet med en interessant paneldebatt, hovedkonklusjonene var:
  - VRP-forskningen i academia er industrielt relevant, men mye er basert på idealiserte modeller
  - i løpet av få år forventes det metoder som vil gi høykvalitets løsninger for VRP opp til 2000-5000 ordre
  - Det er en lang rekke viktige områder for VRP-forskning fremover (se 6.8.3), bl. a. utvikling av parallelle og samarbeidende optimeringsalgoritmer og hybride metoder
  - Det er stor interesse blant deltakerne for å arrangere nye VIP workshops
- Det norske forskningsmiljøet var godt representert, både ved yngre forskere og seniorer. Miljøet fremstår som meget godt. Enkeltmiljøene i Norge er relativt små, men det er etablert gode samarbeidsakser.
- VIP'08 bidro sterkt til videre internasjonal nettverksbygging blant VRP-forskningsmiljø

## 2 Bakgrunn

Vehicle Routing Problemet (VRP) og dets varianter er det mest sentrale optimeringsproblem for et vidt spekter av anvendelser innen transportlogistikk. Eksempler er flåtestyring i maritim og landbasert godstransport. VRP er et meget beregningshardt diskret optimeringsproblem som har vært mye studert siden problemet ble introdusert på 50-tallet. For de fleste realistiske anvendelser kan problemet ikke løses eksakt, slik at en i praksis må ty til approksimasjonsmetoder. Tusenvis av vitenskapelige artikler er skrevet om varianter av VRP. Mye arbeid i academia er basert på idealiserte modeller, men i de siste år er fokus rettet mot rike, anvendelsesnære modeller og løsning av instanser med realistisk størrelse. Aldri har VRP-forskningen vært så aktiv som nå.

VRP-forskningen er i høy grad industrielt og samfunnsmessig relevant. Resultatene gjennom 40 års forskning er grunnlaget for en verktøyindustri innen beslutningsstøtte for transport. Bruk av denne type verktøy til å koordinere transport bedre kan gi meget store økonomiske og miljømessige besparelser. Leverandører hevder at typisk besparelse er 5-20%.

I Norge er det tre fagmiljøer som er aktive på internasjonalt nivå innen VRP-forskning:

- Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse ved NTNU i Trondheim
- Informatikk- og logistikkmiljøene ved Høgskolen i Molde
- Gruppe for optimering, Anvendt matematikk ved SINTEF IKT i Oslo

De norske VRP-forskningsmiljøene er alle relativt små, men utgjør samlet en betydelig faggruppe internasjonalt. Gruppene er alle godt synlige, har et stort nettverk og er anerkjent internasjonalt. I de senere år har de tre faggruppene samarbeidet tett, blant annet gjennom prosjekter (delvis) finansiert av Norges forskningsråd.

Ved Gruppe for optimering ved SINTEF Anvendt matematikk (i dag 9 forskere) har anvendt forskning innen VRP og relaterte optimeringsproblemer stått for en stor del av aktiviteten siden 1995. Den har omfattet anvendelser innen veibasert og maritim godstransport. Forskningen har resultert i en lang rekke publikasjoner, generisk programvare som har fått kommersiell spredning gjennom flere kanaler, samt knoppsskyting av en ny verktøyleverandør innen transportoptimering.

### 3 Motivasjon, mål og innkalling

SINTEF Anvendt matematikk har jevnlig (minst en gang i året) gjennomført vitenskapelige arbeidsmøter med hovedtema VRP, som en del av pågående prosjekter. Arbeidsmøtene har hatt begrenset ekstern deltakelse, men meget anerkjente, utenlandske VRP-forskere har deltatt. Professor Michel Gendreau ved Universitetet i Montreal og direktør for det verdensledende forskningssenteret CRT/CIRRELT samt professor Olli Bräysy ved Universitetet i Jyväskylä har deltatt i alle arbeidsmøtene innen VRP.

SINTEF er anerkjent internasjonalt som en ledende forskningsgruppe innen rike VRP-modeller. Samlet er det norske miljøet ledende internasjonalt innen maritim VRP. Det var på tide å invitere ledende VRP-forskere internasjonalt til en fokusert workshop i Norge. For det norske miljøet står anvendelser sentralt, det var derfor naturlig å innrette mot VRP i praksis (Vehicle Routing in Practice), mer presist: forskning som retter seg mot å løse VRP i industrielle anvendelser. For å sikre faglig kvalitet, og fremme kreativt samvær ønsket vi en workshop der:

- deltakelse kun var etter invitasjon
- formatet var begrenset, med god tid til presentasjoner i en strøm slik at alle var samlet hele tiden
- det var en uformell atmosfære som inviterte til diskusjon og idégenerering
- alle bodde samme sted, med tanke på sosialt samvær og nettverksbygging

Vi ønsket en god blanding av meget erfarne og anerkjente seniorforskere og yngre, lovende forskere. Videre ønsket vi at VIP'08 skulle ha god deltakelse fra det norske miljøet, stipendiater inklusive.

Målet med Vehicle routing In Practice 2008 ble i Call for participation uttrykt som følger: *"The goal of VIP '08 is to present recent results as well as exchange and create ideas for research on the VRP and related problems. Participation will be by invitation only. There will be 30 minute talks in a single stream. Discussions are invited, also based on provocative statements and speculative ideas. Possibly, there will be a panel discussion.*

*Among the main themes are:*

- *real-life problems*
- *decision-support aspects*
- *new VRP variants*
- *generic models and solution methods*
- *large-size instances*
- *stochastic and dynamic problems*
- *hybrid methods*
- *adaptable methods and hyperheuristics*

- *search limitation*
- *parallel methods*
- *multi-level search*
- *collaborative search*

*We would like to address the following questions:*

- *how industrially relevant is the research conducted in the scientific community?*
- *what are the important research directions?*
- *how far can we go?"*

Invitasjon ble i februar 2008 sendt til rundt 50 anerkjente forskere verden rundt, med 30 som en øvre grense for antall deltakere. Oppslutningen var svært god, med 15 utenlandske og 13 norske deltakere etter et par kanselleringer i siste liten. Det ble i alt 26 foredrag og 1 paneldiskusjon. Vi viser til vedlegg for detaljer.

#### **4 Deltakelse, struktur, program**

VIP'08 samlet 28 deltakere, med fordeling på nasjonalitet som følger:

- Norge (13)
- Frankrike(5)
- Belgia (2), Canada (2), Tyskland (2)
- Danmark (1), Storbritannia (1), Japan (1), USA (1)

21 deltakere var fra akademien, 5 fra forskningsinstitutt og 2 fra verktøyindustri. Det var en god blanding av seniorforskere og unge forskere / stipendiater.

Ifølge målene nevnt over ble de 26 foredragene samlet tematisk i følgende sesjoner (en strøm). Hver sesjon hadde 3-4 foredrag, hvert på 30 minutter:

- Opening Session (Introduction: Geir Hasle)
- New VRP Variants I (Chair: Mikael Rönnquist)
- New VRP Variants II (Chair: Frederic Semet)
- Applications (Chair: Kenneth Sörensen)
- Vessel Routing (Chair: Lars Magnus Hvattum)
- Rich VRP (Chair: Andreas Reinholz)
- Fleet Composition (Chair: Wout Dullaert)
- Aggregation and Decomposition (Chair: Christian Prins)
- Supporting Methods (Chair: Arne Løkketangen)
- Panel and Closure (Moderator: Geir Hasle)

For detaljert program, se vedlegg.

#### **5 Gjennomføring og økonomi**

VIP'08 ble organisert av SINTEF IKT. Vi fikk støtte gjennom konferansearrangøren Hotel-Link AS og valgte Soria Moria som konferansehotell. VIP'08 ble gjennomført i perioden 12.-14 juni 2008. Deltakerne var meget fornøyd med opplegg, valg av sted, gjennomføring og faglig utbytte av VIP'08. Flere deltakere spurte om vi hadde planer om flere VIP-workshops. Under den avsluttende paneldiskusjonen fremkom det idéer til kommende workshops. Vi var godt fornøyd med Soria Moria som konferansested, bortsett fra manglende håndtering av betaling for deltakere som valgte å bli igjen etter avslutning. Saken ble ordnet av hotellet på en god måte i etterkant.

Ut fra kostnadsbudsjett og tilsagn om støtte på inntil kr. 50.000,- fra Norges forskningsråd ble deltakeravgift satt til kr. 2.000,-. Soria Moria sa seg villig til å innkreve avgiften slik at vi

slapp å etablere en betalingsordning. Antall betalende deltakere var 22. Direktekostnadene til VIP'08 ble kr. 99.305.

## 6 Hovedinntrykk fra sesjonene og paneldiskusjon

### 6.1 Sesjon "New VRP variants"

I de to sesjonene med denne tittel var det i alt sju foredrag. Fire omhandlet arbeid inspirert fra reelle anvendelser der nye VRP-modeller, og til dels tilhørende løsningsmetoder, ble presentert. Der resterende tre foredrag presenterte mer akademisk arbeid der standard, idealiserte VRP-modeller var utgangspunkt for industrielt relevante utvidelser.

*The Consistent Vehicle Routing Problem* ble presentert av **Bruce Golden, University of Maryland, USA**, en nestor med 35 års arbeid innen VRP. Arbeidet tok utgangspunkt i distribusjon av småpakker i UPS, et av verdens største logistikselskap. Relativt til standard VRP har UPS krav/ønsker fra enkelte av sine kunder om besøk av fast sjåfør til fast tid. Goldens foredrag presenterte det industrielle problem i UPS, definerte en ny VRP-variant kalt *the Consistent VRP (ConVRP)*, presenterte en matematisk formulering av *ConVRP* og en metaheuristisk algoritme for å løse det. I en eksperimentell undersøkelse er små instanser løst til optimum med en kommersiell MIP-løser. Syntetiske og reelle instanser med fra 1000 til 3700 ordre er løst med den metaheuristiske metode, med gode resultater. Foredraget er et godt eksempel på at academia nå studerer rikere modeller og mer industrielt relevante problemstørrelser.

*Vehicle Routing and the Green Agenda* presentert av **Richard Eglese, Lancaster University Management School, England** tok utgangspunkt i at hittil har VRP-forskningen i stor grad tolket kostnadsminimering i ren økonomisk forstand. Trender i industri og samfunn motiverer en dreining mot å ta inn miljøpåvirkning som en del av kostnadsfunksjonen. Som en del av et større forskningsprogram innen grønn logistikk <http://www.greenlogistics.org/> i Storbritannia har Eglese gruppe studert i hvilken grad VRP-forskning kan bidra til miljømessige mål. Det er klart at verktøy basert på VRP-forskning kan gi et viktig bidrag, selv om godstransport kun står for 6 % av CO<sub>2</sub>-utslippene i Storbritannia. I foredraget argumenterte Eglese for at ruteplanleggingsverktøy må ta høyde for at hastigheter varierer i veinettet. Han presenterte pågående VRP-forskning der det utvikles en prototyp av et verktøy for tids- og ruteplanlegging i godstransport. SINTEF søker å etablere konkret samarbeid med Lancaster University Management School. De to miljøene vil samarbeide om billigste vei-beregninger i veinett med tidsvarierende hastigheter, der SINTEF har oppnådd gode resultater i TOP, DOiT- og EDGE-prosjektene.

*Synchronized vehicle routing* ble presentert av **Mikael Rönnquist, NHH**. Han fremholdt viktigheten av tidsmessig synkronisering og presedensføringer i mange reelle anvendelser, for eksempel at kjøretøy må møtes eller gods må overføres mellom kjøretøy. For enkle varianter fins mye forskningslitteratur, mens for mer kompliserte anvendelser er det foretatt lite relevant forskning. Foredraget ble illustrert med praktiske anvendelser, blant annet innen transportplanlegging for kommunale hjemmehjelpstjenester.

**Michel Gendreau, Universitetet i Montreal, Canada** og tidligere direktør for forskningssentrene CRT og CIRRELT ga foredraget *A Hybrid Monte Carlo Local Branching Algorithm for the Single Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands (foredrag ikke identisk med innsendt abstract)*. Det presenterte teoretisk arbeid innen planlegging under usikkerhet. Mer presist er problemet å lage en optimal plan for ett kjøretøy som skal betjene oppdrag der størrelsen på godset er beheftet med usikkerhet. Forfatterne har utviklet en matematisk modell og en løsningsmetode basert på Monte-Carlo simulering og Local Branching. Resultater fra syntetiske testeksempler ble presentert.

**Oli Madsen, DTU, Danmark: The Double TSP with Multiple Stacks - Heuristic Solution Approaches**. Problemet har anvendelser f.eks. i container-transport der godset i en container plukkes opp i et lokalt henteområde før det transporteres langt (f. eks. med skip/tog) til et lokalt

distribusjonsområde. Det er ikke mulig / praktisk å pakke om containeren, slik at henterekkefølgen gir sterke føringer på mulige leveringsrekkefølger. Etter motivasjon med praktiske anvendelser ble en matematisk modell presentert, 5 andre modeller er utviklet. Kun meget små testinstanser med mindre enn 12 pakker (2 rader a 5 pakker, 3 rader a 4 pakker) kan løses til optimum innen 1 times beregningstid med en kommersiell løser. Ulike metaheuristiske metoder er utviklet og sammenlignet. En sammenlignende eksperimentell undersøkelse ble presentert, den viste at en LNS-basert metode var den beste. Den ga også optimal løsning på alle instanser der optimum er kjent.

**Dominique Feillet, Laboratoire d'Informatique d'Avignon, Frankrike: Vehicle routing problems with alternative paths.** I klassisk VRP antas at tider, avstander og kostnader mellom kunder/depot baseres på en apriori bestemt "beste rute". I foredraget ble det argumentert for at, dersom det er snakk om å optimere transportplaner etter flere kriterier (f. eks. tid og kjørekostnad) er det lite hensiktsmessig å velge beste rute a priori. Det vil være bedre å betrakte et sett med ikke-dominerte ruter. Imidlertid vil dette medføre økt beregningstid, det å velge et sett av ikke-dominerte ruter er beregningshard. Ideer og foreløpige metoder for å løse det utvidete problemet ble presentert, sammen med en eksperimentell studie som demonstrerte fordelene med å ta flere, alternative ruter med i beregningen.

**Frederic Semet, LAMIH, University of Valenciennes, Frankrike: New hybrid approaches for a location-routing problem.** Foredraget omhandler et teoretisk studium av Location Routing problemer med kapasitet, der man i tillegg til å bestemme optimale ruteplaner for en flåte med kjøretøy også skal bestemme hvor kjøretøyenes depoter skal ligge ut fra et sett alternative depotlokasjoner. En ny dekomposisjonsmetode som deler opp problemet i et Multi-Depot VRP (MDVRP) og et Capacitated Plant Location Problem (CPLP) ble presentert. CPLP løses eksakt, mens tabusøk benyttes for å finne approksimerte løsninger på MDVRP. Beregningseksperimenter på standard testproblemer viser at metoden er konkurransedyktig.

## 6.2 Sesjonen "Applications"

To av foredragene i sesjonen er basert på arbeid med konkrete, praktiske anvendelser av VRP. Det tredje er mer generelt og peker på at VRP-metoder kan være svært nyttige i kostnadsanalyser og prissetting.

**Johan Oppen, Høgskolen i Molde: Livestock Collection.** Anvendelsen er inntransport av dyr til slakterier. Transporten foregår med en inhomogen flåte av spesialbiler som har konfigurerbare plan. Kompliserte "stuasjeføringer" begrenser lastingen, f. eks skal ikke dyr med horn lastes sammen med dyr uten horn. Smitte og andre forhold gir sekvensføringer for lasting. Det er begrenset lagerkapasitet for dyr i slakteriet, og det skal alltid være nok dyr for slakting. Oppen har definert "the Livestock Collection Problem" (LCP) som en rik variant av VRP. En matematisk formulering er utviklet. Den kan kun løses til optimum for meget små instanser med kommersielle verktøy. En Tabusøk-basert heuristisk metode er utviklet, samt en eksakt metode basert på kolonnegenerering som kun løser små instanser. Arbeidet videreføres nå mot et verktøy for praktisk bruk i SMARTRANS-prosjektet "Transport av levende dyr - operasjonalisering og videre utvikling."

**Wout Dullaert, IMMT, Univ. Antwerpen, Belgia: Vehicle routing methodologies to support costing and pricing decisions.**

Det har vært begrenset anvendelse av VRP-metoder for kostnadsanalyser og prissetting. Foredraget tar for seg den begrensede litteratur på området. En metode for å kalkulere inkrementelle kostnader beskrives.

**Kenneth Sörensen, Univ. Leuven, Belgia: A multiobjective distribution problem for parcel delivery at TNT.**

TNT er et av de største budsselskap i verden. Foredraget omhandler bruk av OR, og VRP-metoder spesielt, i TNTs operasjoner. TNT har et hierarki av optimeringsproblemer på distribusjonssiden:

1. Geografisk inndeling, bestemmelse av distribusjonsregioner
2. Tilordning av kjøretøy til regioner

3. Besøksrekkefølge for regioner
4. Design av "melkerute" for regionene.

Problem 1 kalles 'districting', og er et strategisk/taktisk problem. Foredraget tok særlig for seg problemene 2 og 3 og hvordan de kan integreres til ett problem. 3 målfunksjonskomponenter er ifølge TNT viktige: total distribusjonskostnad, balansering av ruter, og endringer av rutene over tid (skal begrenses). Et verktøy basert på flerkriterieoptimering er utviklet.

### 6.3 Sesjonen "Vessel Routing"

Sesjonen besto av 4 foredrag innen maritim ruteplanlegging, betegnende nok var alle talerne fra norske institusjoner.

***Truls Flatberg, SINTEF IKT, Oslo: Routing problems in maritime logistics.***

Flatberg tok først for seg forskjellene mellom maritim ruteplanlegging og klassiske VRP modeller. Den siste delen av foredraget beskrev et generisk programvarebibliotek for maritim ruteplanlegging (kalt Invent) som i den senere tid er utviklet av SINTEF IKT. Det støtter en rik modell, bl. a. med lagerføringer, stuasje, tankrensing og kontraktsføringer. Løsningsalgoritmen er en parametrisert, konstruktiv heuristikk som itereres. Den overliggende variasjon av parametre styres av en genetisk algoritme.

***Henrik Andersson, NTNU: The LNG Inventory Routing Problem with Pick-up Contracts.***

Andersson beskriver et lagerstyrt ruteplanleggingsproblem i distribusjon av LNG. Det skiller seg fra en grunnleggende definisjon ved at det er kontrakter som begrenser hvor mye som kan lastes, samt begrenser hvilke mottaksterminaler lasten kan gå til. Det er lagerføringer kun på mottakssiden. En sti-basert modell og en løsningsmetode basert på branch and price diskuteres.

***Frank Hennig, NTNU: Optimizing a Maritime Split Pickup and Split Delivery Problem.*** Foredraget tar for seg en del av Hennigs PhD-arbeid. Typisk anvendelse er sjøveis transport av et økonomisk viktig flytende bulkprodukt med flere produktkvaliteter. Det antas at en har en inhomogen flåte av skip med flere tanker, slik at ulike kvaliteter kan fraktes samtidig på samme skip. Lastene kan være mindre eller større enn skipenes kapasitet. Derfor tillates derfor splittede laster. Det er ingen forhåndskobling mellom laster på hente- og leveringssteder. Foredraget tok for seg ulike formuleringer av problemet.

***Lars M. Hvattum, NTNU: When feasibility of routes is difficult to determine: an example from maritime bulk shipping.*** I skipsruting som i landbasert ruteplanlegging av godstransport er kjernen tradisjonelt å bestemme allokering av oppdragene til skip samt sekvensering av stopp. Hvattums foredrag har et annet fokus: det å bestemme om en gitt plan er tillatt (gjennomførbar) når det gjelder stuasje. Ulike praktiske aspekter gjør dette til et viktig og krevende delproblem, særlig innen skipsfart. Eksempler er tankkapasiteter og -egenskaper, hazmat-føringer samt stabilitet. Foredraget presenterte en MIP-formulering av problemet, og det ble fastslått at det er NP-hardt, selv for relakserte versjoner. Problemet må potensielt løses svært mange ganger under løsning av det overliggende VRP. Et spørsmål er om kommersielle løpere er brukbare for å løse delproblemet. En eksperimentell undersøkelse på instanser av realistisk størrelse indikerer at de fleste lar seg løse innen 1 sekund, mens noen instanser er harde og lar seg ikke løse innen 10 minutter. Det er derfor behov for å utvikle tilpassete, antakelig heuristiske metoder.

### 6.4 Sesjonen "Rich VRP"

"Rich VRP" brukes ofte som betegnelse på forskning innen generiske, rike VRP-modeller som kan dekke et bredt spekter av anvendelser, og der det utvikles robuste algoritmer som skal virke godt på enhver instans. SINTEF er spesielt anerkjent innen dette delområdet. Sesjonen omfattet tre foredrag, hvorav ett ble holdt av en representant fra verktøyindustri (SAP).



**Pierre Dejax, Ecole des Mines de Nantes / IRCCyN, Nantes, Frankrike: Multiperiodic VRP models and hybrid solution techniques for closed loops-reverse logistics.** Foredraget til Dejax tar for seg returlogistikk. Mer spesifikt behandles periodisk ruteplanlegging med lagerføringer for anvendelser i vareproduserende industri med returgoods. Totrinns distribusjonsnettverk med et sentralt lager og flere detaljbutikker studeres. Varene transporteres med paller til butikkene, og tomme paller returneres. En annen type retur utgjøres av usolgte varer og varer som kundene returnerer. Dejax et al. har utviklet heuristiske metoder samt en eksakt metode basert på kolonnegenerering. De ulike metodene er undersøkt og sammenlignet på basis av en benchmark bestående av 1848 probleminstanser. Instansene er igjen basert på Solomons VRPTW-instanser med 25 kunder.

**Jens Gottlieb, SAP AG, Walldorf, Tyskland: Solving Real-World Vehicle Scheduling and Routing Problems.** SAP har, som en del av sitt produkt innen Supply-Chain Management en komponent for ruteplanlegging. Gottlieb er ansvarlig for dette produktet. I foredraget presenterte han den generiske, rike VRP-modellen og løsningsalgoritmen. Videre ble eksempler på virkelige, industrielle anvendelser beskrevet.

**Andreas Reinholz, Technical University of Dortmund, Tyskland: A Process Oriented Modelling Concept for Rich Vehicle Routing Problems.** Reinholz arbeider med generiske, rike VRP-modeller og tilhørende løsningsalgoritmer, med tanke på industrielle anvendelser. Foredraget presenterer modell og algoritmer og et programvarebibliotek for rask prototyping. Eksperimentelle undersøkelser viser god ytelse for mange idealiserte varianter av VRP.

## 6.5 Sesjonen "Fleet Composition"

I klassisk VRP, og i de fleste utvidelser som behandles i litteraturen, antas at flåten er homogen. Den forutsetningen er sjelden oppfylt i reelle anvendelser. Kostnadsfunksjonen er i de fleste varianter enten kun total kjørekostnad, eller hierarkisk: først minimere flåtekostnader, så minimere kjørekostnader. Dersom flåtestørrelse er en del av en hierarkisk målfunksjon når flåten antas homogen, reduseres problemet til å bestemme minimalt antall kjøretøy. I den senere tid har det blitt økt fokus på å undersøke VRP med heterogen flåte i forskningsmiljøene. I sesjonen ble det presentert en oversiktsartikkel samt tre tekniske arbeider innen ulike varianter av flåtesammensetting.

**Arild Hoff, Høgskolen i Molde: Industrial Aspects and Literature Survey: Fleet Composition and Routing.** Hoff presenterte en oversiktsartikkel som tar for seg industrielle aspekter og faglitteratur innen kombinert ruteplanlegging og flåtesammensetting. Artikkelen er utarbeidet i samarbeid mellom VRP-miljøene i NTNU, SINTEF IKT og Høgskolen i Molde gjennom forskerprosjektet DOMinant. Artikkelen viser at det er et gap mellom industrielle aspekter og det vitenskapelige arbeid, som til nå er dokumentert gjennom rundt 120 publiserte fagartikler. Oversiktsartikkelen er publisert som SINTEF-rapport (SINTEF A 7029), men er også innsendt for publisering i et nivå 2 fagtidsskrift.

**Yuichi Nagata, JAIST, Japan: A Powerful Route Minimization Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows.** Foredraget beskriver en meget kompetitiv metode for å minimere antall biler i det idealiserte problem 'VRP med tidsvinduer' (VRPTW), der flåten antas homogen. Metoden er undersøkt på standard testproblemer fra litteraturen (Gehring & Homberger) og en rekke nye bestenoteringer er oppnådd. Resultatene er fremkommet i samarbeid mellom gruppen til Nagata i Japan og gruppen til Olli Bräysy ved Univ. Jyväskylä, Finland.

**Morten Smedsrud, SINTEF IKT, Oslo: A Route Minimization Heuristic for Rich Vehicle Routing Problems.** Smedsrudd foredrag omhandler arbeid innen rike VRP for industrielle anvendelser. Gjennom EDGE- og Effekt-prosjektene finansiert av Smartrans har SINTEF utviklet mer effektive metoder for optimal flåtesammensetting og ruteplanlegging.

Metodene har gitt meget gode resultater ved eksperimenter på idealiserte testinstanser (Gehring & Homberger, se Nagatas foredrag). Resultatene er bare marginalt dårligere enn de beste publiserte Gehring & Homberger-resultater, selv om metoden er tilpasset en rik VRP-modell og ikke er skreddersydd for et idealisert problem. Arbeidet vil videreføres i Effekt-prosjektet.

***Wout Dullaert, IMMT, Univ. Antwerpen, Belgia: Adaptive Diversification Metaheuristic for the Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows.***

Foredraget skulle egentlig vært holdt av Olli Bräysy ved Univ. Jyväskylä. Han var forhindret fra å delta. Foruten en lokal kollega er Dullaert og Nagata (JAIST) medforfattere. Arbeidet er fokusert på en variant av VRP kalt FSMVRPTW der flåten er heterogen og kundene har tidsvinduer. Målet er å minimere summen av flåte- og kjørekostnader. Forfatterne har forbedret egne tidligere metoder og har oppnådd nye bestenoteringer på standard testinstanser.

## 6.6 Sesjonen "Aggregation and Decomposition"

I mange anvendelser, eksempelvis renovasjon og distribusjon av medieprodukter, omfatter ruteplanleggingsoppgavene et meget stort antall (flere tusen) punkter som skal besøkes. De beste optimeringsmetodene for VRP i dag viser en skarp degradering i ytelse når antall punkter øker ut over 1.000. To strategier for å forbedre ytelse for storskala VRP er aggregering og dekomponering. Aggregering betyr å samle punkter som antakelig skal bli besøkt sammen i såkalte mini-clusters. Derved kan man lage en ny VRP med langt færre punkter og løse den i stedet. Forskning ved SINTEF indikerer en reduksjonsfaktor 5-10 i urbane områder. Den "motsatte" strategien kalles dekomponering: å dele opp problemet i flere deler, finne løsning for hver av delene, for så å lage en løsning på det opprinnelige problemet ut fra del-løsningene.

***Eivind Nilssen, SINTEF IKT, Oslo: Aggregation based on road topologies for large scale VRPs.*** Gjennom prosjektene EDGE og Effekt støttet av Forskningsrådet har SINTEF IKT og samarbeidende forskningsgrupper arbeidet med aggregeringsstrategier for å løse storskala VRP. SINTEF har utviklet et rammeverk for flernivå aggregering, dvs. at et storskala VRP kan gis formuleringer på ulike abstraksjonsnivåer gjennom flere trinn med aggregering. En heuristikk basert på veinettverkets egenskaper er utviklet for aggregering på første trinn. Heuristikken er utprøvd på reelle data fra Aftenposten Distribusjon i Oslo. En reduksjon av problemstørrelse med faktor 6 er oppnådd. I Effekt-prosjektet arbeides det videre med heuristikker for aggregering og dekomponering.

***Christian Prins, University of Troyes (UTT), Frankrike: The route-first cluster-second principle in vehicle routing.*** "Route-first-cluster-second" (RFCS) er en dekomponeringsmetode som går ut på å dele VRP i to: først sekvensering av alle stopp (ser bort fra kapasitets- og tidsføringer), så allokering til turer. Enhver TSP-metode kan benyttes i første delproblem. Gitt en TSP-løsning er delproblem 2 å splitte opp TSP-turen i et antall turer som tilfredsstillende føringer. Metoden ble introdusert av Beasley i 1983, men har vært lite brukt. Prins et al. har utviklet en beregningseffektiv splitte-prosedyre som er optimal, gitt TSP-sekvensen. I del 1 av foredraget beskrives splitte-prosedyren. I del 2 tar Prins for seg eksempler på bruk av RFCS, mens i del 3 behandles bruk av splitteprosedyren i metaheuristikker. Avslutningsvis beskrives to avanserte anvendelser.

## 6.7 Sesjonen "Supporting Methods"

I løsning av VRP er det behov for støttefunksjoner. Det er eksempelvis behov for å finne beste vei mellom to punkter og tilhørende tid/avstand/kjørekostnad (Shortest Path Problem). Under løsning av et VRP av industriell størrelse er det typisk behov for å finne hundretusener av korteste veier. Se også foredragene til Eglese og Feillet. Et annet eksempel er behovet for et avstandsmål mellom ulike VRP-løsninger, både for å kunne presentere en bruker for kvalitativt forskjellige løsninger, for å støtte diversifisering, og for ytelsesforbedring.

***Oddvar Kloster, SINTEF IKT, Oslo: Calculating time-dependent travel times for VRPs.***

I VRP-forskning i academia brukes Euklidske avstander og konstant hastighet mellom punktene. Tid og kostnad settes lik avstand. I praksis må utarbeidelse av transportplaner bygges på en realistisk modell, gjerne ved at beregninger gjøres på et elektronisk veinett. Konstant hastighet over tid blir ofte en for grov idealisering, særlig i byområder. Ved SINTEF er det gjennom de Forskningsrådsstøttede prosjektene TOP, DOI-T, EDGE og Effekt utviklet nye metoder for høyeffektiv beregning av beste vei mellom punkter i et transportnettverk der hastigheten kan variere over tid. Hastighetsprofilene kan være forskjellige for de enkelte veilenker. Metodene kan også støtte fergestrekninger og flermodal transport. Metodene er tilpasset løsning av VRP, der et meget stort antall beste veier skal beregnes. Metodene er implementert i Spider. De er testet på store, reelle veinettverk for konstante hastigheter, også med fergestrekninger. Eksperimenter er også gjennomført på syntetiske data når det gjelder tidsvarierende hastigheter. Videre FoU vil utføres i Effekt-prosjektet.

***Arne Løkketangen, Høgskolen i Molde: The use of distance measures in routing problems.*** Klassisk VRP er et deterministisk optimeringsproblem med et presist definert objektiv. Industrielle anvendelser er ikke så veldefinerte, med mye usikkerhet og flere, ikke-sammenlignbare og til dels ikke kvantifiserbare målkriterier. Virkelige beslutningstakere vil ofte være interessert i å bli presentert for en liten mengde gode, og innbyrdes forskjellige løsninger. For dette formål trengs avstandsmål mellom løsninger. Slike avstandsmål kan også brukes til å begrense endringer i dynamisk planlegging, i metoder for diversifisering, og til reduksjon av søk i løsningsprosessen. Løkketangen beskriver et avstandsmål for VRP. Det er utprøvd på landbaserte og maritime industrielle VRP og viser seg å gi verdifull fleksibilitet i beslutningsstøtte.

## 6.8 Paneldiskusjon

Den siste sesjonen under VIP'08 var viet en paneldiskusjon. Panelet samlet 4 av de mest kjente VRP-forskere i verden, inklusive en representant fra verktøyindustrien:

- Professor Michel Gendreau, CIRRELT og Univ. of Montreal, Canada
- Professor Bruce Golden, University of Maryland, USA
- Dr. Jens Gottlieb, SAP AG, Tyskland
- Professor Frederic Semet, Univ. Valenciennes, Frankrike

Paneldiskusjonen ble ledet av sjefsforsker Geir Hasle, SINTEF IKT.

Etter en kort innledning av Hasle ble følgende spørsmål stilt til panelet:

1. *How industrially relevant is the research conducted in the scientific community?*
2. *How far can we go?*
3. *What are the promising research avenues?*
4. *Should we arrange more VIP workshops?*

For hvert spørsmål ga hver av panelistene et 5 minutters svar før det ble åpnet opp for diskusjon.

### 6.8.1 "How industrially relevant is the research conducted in the scientific community?"

Det var enighet om følgende hovedpunkter:

- forskningen i academia er klart relevant for reelle anvendelser, men den neglisjerer i stor grad viktige industrielle aspekter
- den vitenskapelige forskningen har kanskje vel mye fokus på optimeringsaspektet ved reelle anvendelser, flerkriterieformuleringer og formuleringer med myke føringer er viktig
- VRP-forskerne studerer i økende grad rike modeller og probleminstanser som har industriell størrelse
- viktige aspekter som ennå ikke er tilstrekkelig behandlet i forskningen i academia er:

- usikkerhet og dynamikk, robusthet
- realistiske tids-, avstands- og kjørekostnadsberegninger
- sosiale og organisatoriske føringer
- kombinasjonen ruteplanlegging og tidsplanlegging

### 6.8.2 "How far can we go?"

Spørsmålet var med vilje formulert upresist, men det fremkom gode svar.

- Det var liten tro på at eksakte VRP-metoder vil kunne løse store (mange hundre, noen tusen punkter) instanser til optimalitet innen rimelig tid, selv om en har sett betydelig fremgang i de siste årene.
- Forskerne vil konsentrere seg om å forske på større VRP-instanser fremover (2.000-5.000 punkter). Heuristiske og hybride metoder (heuristikker kombinert med eksakte metoder) forventes i løpet av få år å kunne gi løsninger av høy kvalitet for instanser av denne størrelsen innen rimelig tid.
- Dekomponering og aggregering vil kunne øke ytelsen ytterligere.
- Parallelle og samarbeidende optimeringsmetoder er svært viktige for den videre ytelsesøkningen, sekvensielle algoritmer vil ikke nyte godt av generell utvikling av regnekraft

### 6.8.3 "What are the promising research avenues?"

Det fremkom et tydelig bilde av viktige forskningstema innen VRP fremover:

- Stokastiske VRP, robusthet
- Dynamiske og sanntids VRP
- Eksakte metoder, særlig rettet mot hybridisering med heuristiske metoder
- Beslutningsstøtteaspekter
- Sosiale og organisatoriske føringer, eksempelvis kundepreferanser og balansering av sjåførbelastning
- Miljøaspekter
- Realistiske tids- avstands- og kostnadsmodeller
- Pickup and Delivery-problemer
- Trailer-problematikk og splittede laster
- Pakkeproblemer i lasting
- Dekomponering og aggregeringsteknikker
- Metoder som gir høykvalitetsløsninger svært raskt
- Hybridisering av eksakte og heuristiske metoder, "matheuristics"
- Parallelle og samarbeidende algoritmer, flernivå algoritmer
- Selv-adapterende metoder

### 6.8.4 "Should we arrange more VIP workshops?"

Det var stor enighet om at VIP'08 var meget vellykket, særlig på grunn av formatet med et begrenset antall, inviterte deltakere, en uformell atmosfære, og blandingen av erfarne og unge forskere. Interessen er stor for tilsvarende workshops. Med tanke på øvrige konferanser og workshops (den viktige konferansen TRISTAN VII vil arrangeres i Tromsø 2010), vil SINTEF IKT vurdere å avholde et tilsvarende arrangement i 2011.

Uavhengig av VIP hadde Bruce Golden konkrete forslag til en annen type workshop der en samler representanter fra industri med viktige utfordringer, dyktige PhD-studenter og erfarne forskere. Målet er at en i løpet av workshopen formulerer viktige utfordringer i industrien og finner svar på hvordan de skal løses.

**Vedlegg: Program, deltakerliste og dokumentasjon av foredrag**

Vi henviser VIP'08s hjemmeside <http://www.sintef.no/vip08> .

Her finnes program med deltakerliste, abstracts samt kopi av de aller fleste foredrag.