

# **INFATI** **Mapmatching**

Intelligent farttilpasning



**INFATI.dk**

Notat 3

Jens Juhl, Aalborg Universitet

**TRG**

Trafikforskningsgruppen  
AALBORG UNIVERSITET

***INFATI***

***Mapmatching***

**Aalborg Universitet  
Trafikforskningsgruppen  
Oktober 2001**

**Udgiver/bestilles hos**

Trafikforskningsgruppen  
Institut for Samfundsudvikling og Planlægning  
Aalborg Universitet  
Fibigerstræde 11  
9220 Aalborg Øst  
Tlf. 96 35 83 75  
Fax. 98 15 35 37  
[www.i4.auc.dk/TRG](http://www.i4.auc.dk/TRG)

**Titel**

INFATI – Mapmatching

**Tekst af**

Jens Juhl,  
Laboratoriet for Geoinformatik, Aalborg Universitet

**Tryk**

Uniprint

**ISP skriftserie**

268

**ISSN**

1397-3169

**ISBN**

87-90893-21-2



## 1 Forord

Dette notat er en del af afrapporteringen af forskningsprojektet Intelligent Farttilpasning. En liste over øvrige rapporter og notater fra forskningsprojektet findes bagerst i notatet.

Forskningsprojektet Intelligent Farttilpasning tager sit udgangspunkt i udvikling af trafikinformatik med sigte på at bidrage til et bæredygtigt transportsystem og med særlig henblik på en forbedring af trafiksikkerheden.

I projektet er udviklet en On Board Unit (bilcomputer) til hastighedsstøtte og OBU'en er installeret og afprøvet hos 20 privatbilister i Aalborg.

Projektet er gennemført som et samarbejde mellem:

1. Aalborg Universitet, Trafikforskningsgruppen
2. Aalborg Universitet, Laboratoriet for Geoinformatik
3. Elektronikfirmaet M-tec i Hune
4. Konsulentfirmaet Sven Allan Jensen A/S

Projektet er finansieret af Aalborg Universitet og Mål 2 midler fra Erhvervsfremmestyrelsen

Projektets kortgrundlag er DAV, som er stillet til rådighed af Kampsax Geoplan.

Projektet er gennemført af følgende gruppe:

Lektor Harry Lahrmann, Trafikforskningsgruppen, Aalborg Universitet,  
(projektleder)

Lektor Jens Juhl, Laboratoriet for Geoinformatik, Aalborg Universitet

Adjunkt Peter Cederholm, Laboratoriet for Geoinformatik, Aalborg Universitet

Forskningsassistent Teresa Boroch, Trafikforskningsgruppen, Aalborg Universitet

Forskningsassistent Malene Kofod Nielsen, Trafikforskningsgruppen, Aalborg Universitet

Sekretær Lilli Glad, Trafikforskningsgruppen, Aalborg Universitet

Stud. Geom. Ole Runge Madsen, Aalborg Universitet

Stud. Geom. Martin Brandi, Aalborg Universitet

Stud. Geom. Nikolaj Møller Nielsen, Aalborg Universitet

Civilingeniør Poul Heide, M-tec

Civilingeniør Jesper Runge Madsen, Sven Allan Jensen A/S

Civilingeniør Jørgen Raguse, Sven Allan Jensen A/S

Herudover har lektorerne Erik Kjems, Lars Bodum og Anker Lohmann-Hansen – alle Aalborg Universitet - ydet værdifulde bidrag til projektet

Projektet har været fulgt af en gruppe med følgende medlemmer:

Lars Klit Hansen - Danmarks Transport Forskning - indtil ultimo 2000, herefter Hans Lund

Michael Grouleff Jensen - Teknologisk Institut

Jan Kildebogaard - Center for Trafik og Transport, Danmarks Tekniske Universitet

Claus Just Madsen - Færdselsstyrelsen

Ole Thomsen - Nordjyllands Amt

Wulf D. Wätjen - Carl Bro

Grete Helledi - COWI

Bent Alsted - Aalborg Kommune

Poul Greibe - Vejdirektoratet - indtil medio 2000, herefter Henrik Værøe

*Harry Lahrmann*

*Oktober 2001*

## 2 Teknikken bag mapmatching (v. Jens Juhl)

### 2.1 Hvorfor mapmatching?

Jeg vil i denne artikel ikke komme ind på hvorfor det er interessant at beskæftige sig med Intelligent Farttilpasning, men springe nogle kapitler videre og beskrive en mindre del af den tekniske side af sagen - nemlig mapmatchingen.

I sin enkelthed vil jeg beskrive den metode, som benyttes til at få fat i ganske få oplysninger om det vejstykke man kører på. I første omgang er to oplysninger interessante. Nemlig den skilte hastighed og prisen for at køre en kilometer. Hastigheden skal bruges til at 'fortælle' føreren af bilen, om en aktuel hastighed overskrider en skiltet hastighed. Prisen skal benyttes til at regulere trafikmængden på forskellige veje/områder, så overordnede trafikpolitiske formål tilgodeses.

Nu kan man forestille sig flere måder at overføre disse oplysninger til de biler, der kører på en bestemt vejstrækning. Fx. ved at 'sætte noget elektronik' op langs alle veje, så elektronikken kan videregive oplysningerne til forbikørende biler. Men det vil nok blive rasende dyrt. Specielt hvis det sammenlignes med en GPS (Global Positioning System) baseret løsning. Her er 'noget elektronik', ikke opsat langs vejene, men placeret i luftrummet (20.000 km oppe) over os. GPS-satellitterne videregiver informationer om deres egen position, så en lille GPS-modtager til få hundrede kroner er i stand til at fortælle, hvor den (modtageren) befinder sig med få meters nøjagtighed.

Ved man, hvor man befinder sig, må man derefter opsøge den vejstrækning, som ligger nærmest (mapmatching). Lagres der så på alle vejstrækninger de oplysninger, man har brug for, har man en billig løsning på problemet.

### 2.2 Overordnede problemer

Umiddelbart ser løsningen jo enkel og ligetil ud. Men man opdager hurtigt, at man står med fire overordnede problemer:

1. Hvor finder man et vejtema dækkende alle Danmarks veje?
2. Hvordan finder man ud af, hvilken vejstrækning man kører på?
3. Hvor finder man den skilte hastighed for en vejstrækning?
4. Hvordan fastsættes prisen pr. km for en vejstrækning?

*Punkt 1* skulle man tro nemt kunne klares. Kort og Matrikelstyrelsen må da ligge inde med et dagligt ajourført vejtema. Men nej, så nemt er det ikke. Kort om dette problem senere i artiklen.

*Punkt 2*, mapmatchingen, burde ved en hurtig betragtning ikke give nogen problemer. Find bare den nærmeste vej i forhold til den koordinat, som GPS modtageren afleverer. Men ved nærmere eftertanke holder det ikke. Det er de problemer, denne artikel vil handle om.

*Punkt 3* er i sig selv et større problem, end man umiddelbart kan forestille sig. Der findes nemlig i dagens Danmark ikke en landsdækkende database over skilte hastigheder. Og hvis man endelig skulle få den opbygget ved et større eller mindre manuelt registreringsarbejde, står der endnu et problem tilbage, nemlig ajourføring af registreringerne. Disse problemer vil jeg slet ikke komme ind på her.

*Punkt 4* har jeg en mening om, men her må vi nok lade politikerne overtage.

### 2.3 Klargøring af vejmidtetema

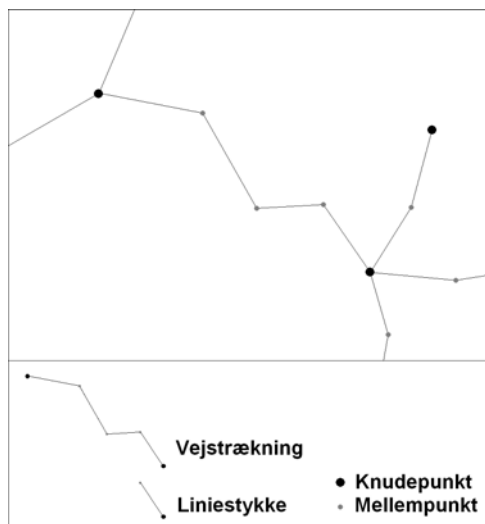
Testområdet i forbindelse med INFATI-projektet er Aalborg Kommune. Som vejkort er valgt DAV (Dansk Adresse- & Vejdatabase). Kriterierne for dette valg vil jeg ikke komme ind på. Derimod vil jeg prøve at beskrive de problemer/udfordringer, der skal løses, før DAV's data kan benyttes i forbindelse med mapmatching. Denne proces kan deles op i to deludfordringer:

1. minimer/check/opdater data
2. tilføj skiltet hastigheder/pris pr. kilometer

*Punkt 1* kan umiddelbart synes overflødig. Men virkelighedens verden er ofte anderledes end teoriens. Hvert sekund kommer der en koordinat fra GPS'en. Koordinaten skal omregnes til kortets projektion (omregningen er beskrevet i afsnit 2), og der skal foretages en mapmatching. Minimering af datamængden kan speede mapmatchingen op, samtidig med at lagerforbruget for vejmidtetemaet minimeres.

Minimering af data er foretaget efter en modificeret Douglas & Peucker metode. Datamængden er reduceret til godt halvdelen af den originale mængde. Pilhøjden ved datareduktionen er sat til 2 meter. Sammenlignes dette med, hvor på vejen man kører og med GPS'ens nøjagtighed, får datareduktionen ingen indflydelse på den samlede nøjagtighed. Ingen knudepunkter i vejtemaet er berørt af datareduktionen. Således er fuldstændigheden også bevaret.

Derudover er liniestykker, der ligger dobbelt, slettet fra data. Ikke så få af denne type linier er fundet (over 500). Vejtemaet for hele Aalborg Kommune er herefter på ca. 41.500 punkter med ca. 13.000 vejstrækninger. Et linie-stykke er her defineret som en ret linie fra et punkt i en vejstrækning til det næste punkt i vejstrækningen. En vejstrækning er defineret som gående fra knudepunkt til knudepunkt. Et knudepunkt er enten et endepunkt af en vejstrækning (blind vej) eller et punkt, hvorfra der udgår flere end to vejstrækninger.



**Definition af knudepunkter mm.**

Oprindeligt i DAV var der ca. 67.000 punkter til at beskrive vejmidterne. Et godt gæt vil herefter være, at alle Danmarks vejmidter kan beskrives ved hjælp af ca. 1.500.000 punkter. Altså en forholdsvis lille datamængde. Denne minimering og check af data foregår helautomatisk på ganske få minutter. Vejmidtetemaet er herefter manuelt opdateret, således at fejl og mangler for de mest benyttede vejstrækninger er elimineret. Derudover er vejmidtetemaet udbygget med et rundkørselstema, som indeholder alle rundkørsler i kommunen.

Da den skiltede hastighed ikke er registreret i DAV (eller i nogen anden landsdækkende database), har der været et ganske stort registreringsarbejde at få den skiltede hastighed tilknyttet til hvert eneste liniestykke i vejdatabase (punkt 2). Dette er foregået helt 'manuelt' ved at begive sig rundt på alle veje i kommunen. Og nu, et år efter denne registrering er foretaget, kan det konstateres, at en stor del af de skiltede hastigheder er ændret. Dette er ikke et problem, jeg vil komme ind på her, men jeg vil dog påpege, at der ligger et stort udrednings-/forskningsarbejde forude før en landsdækkende registrering af den skiltede hastighed kan sættes i system.

Databasen for Aalborg Kommune består nu af:

1. Plane koordinater til alle vejmidter. Til hvert liniestykke er tilknyttet en skiltet hastighed, en vejkode (fra DAV) og en pris pr. kørt kilometer.
2. Plane koordinater til alle rundkørsler (centerkoordinater). Til hver rundkørsel er knyttet en radius, en skiltet hastighed og en pris pr. kørt kilometer. 36 rundkørsler er registreret i Aalborg Kommune.

Den samlede datamængde fylder ca. 400 KB for hele Aalborg - eller ca. 15 MB for hele landet. Altså en datamængde, der uden problemer kan gemmes på en memory stick til få hundrede kroner.



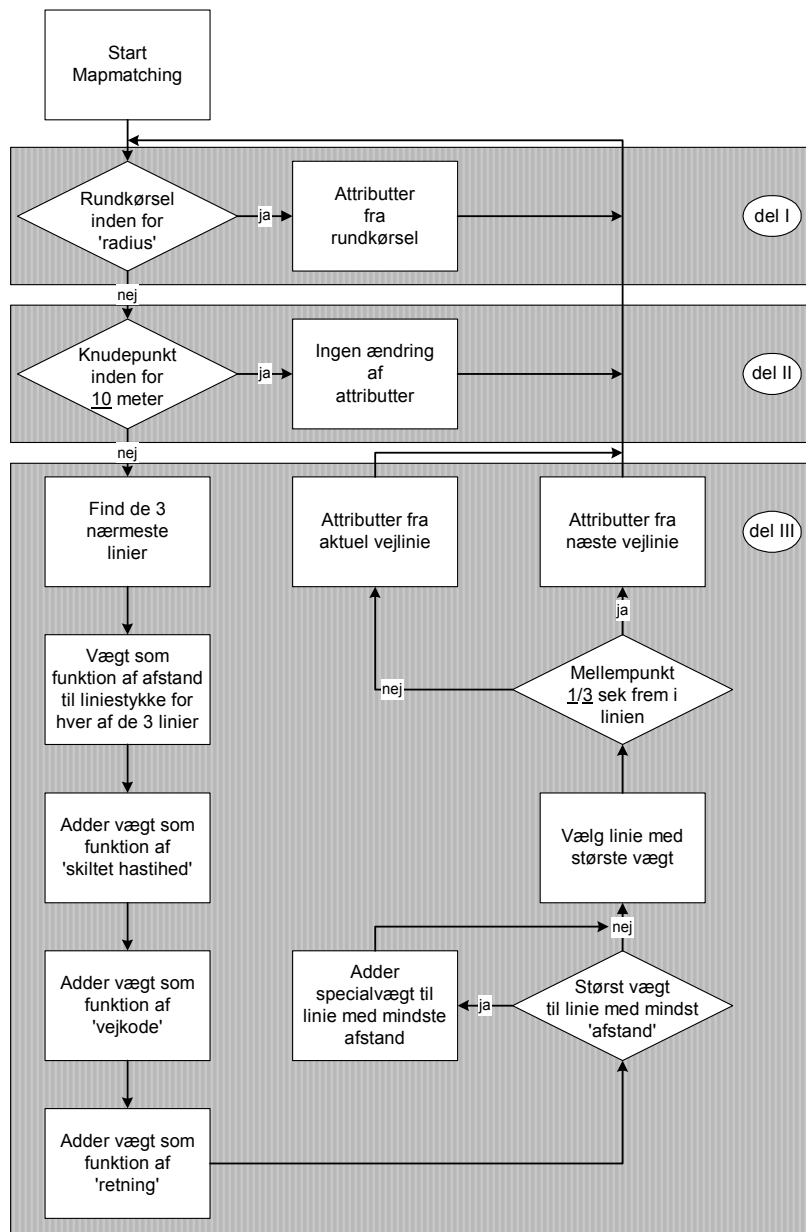
## 2.4 Mapmatchingen

Vejmidtetemaet er nu klar til mapmatchingen. Man må dog gøre sig klart, at vejmidtetemaet ikke er fejlfrit. Samtidig kan de koordinater, der kommer fra GPS'en også være fejlbehæftede. Specielt i den indre by, hvor frit sigte til minimum 3 satellitter ofte kan være problematisk. Den rutine, der skal bygges op, må derfor være robust overfor grove fejl i både kortet og GPS-positionerne. Grove fejl er ikke et nyt begreb i landmålingen, og jeg har faktisk, for 20 år siden med stor succes brugt forskellige vægtningsrutiner til at eliminere indflydelsen af grove fejl. Jeg kunne derfor ikke få den tanke ud af hovedet, at vægtning også, godt nok i en modificeret form, måtte kunne benyttes i forbindelse med mapmatching. Og så er metoden ganske simpel og ligetil at programmere.

Som allerede nævnt er idéen med mapmatchingen ud fra GPS-positionen at finde det liniestykke, som man med størst sandsynlighed kører på. Søgningen deles op i 3 dele:

1. Er man i nærheden af en rundkørsel
2. Er man i nærheden af et knudepunkt
3. Alle andre tilfælde

I de følgende afsnit benyttes tal, der står med understregning. Disse tal er parametre til mapmatchingprogrammet. Parametrene er ikke endelig fastsat, idet der stadig eksperimenteres med forskellige værdier for at opnå de bedste resultater.



### Flow diagram for mapmatchingen

Del I er forholdsvis hurtigt overset. Temaet med rundkørsler indeholder bl.a. en centerkoordinat og en radius for rundkørslen. Er afstanden fra GPS-koordinaten til center-koordinaten mindre end radius, er man i nærheden af rundkørslen. Dog benyttes rundkørselens radius ikke direkte, men den indgår i en funktion, hvor radius multipliceres med en faktor (1.2) og dertil adderes en konstant (10 meter). Altså: 'ny radius' =  $1.2 * \text{'gl radius'} + 10$ . Den nye radius benyttes for at sikre, at man får fat i rundkørslen, selv om der skulle være mindre fejl i centerkoordinaten, radius og/eller GPS-koordinaten. Godt nok vil man ofte 'få fat i' rundkørslen, lidt før man når den, og samtidig vil man ofte 'blive i' rundkørslen lidt længere, end man reelt er der. Men i praksis har det vist sig, at det ikke giver problemer. De to værdier (attributter),

der er tilknyttet rundkørslen, kan nu benyttes af systemet. Det vil sige skiltet hastighed og pris pr. kørt kilometer.

*Del 2* er endnu hurtigere overset. Her testes det, om afstanden fra GPS-koordinaten til et knudepunkt er mindre end en konstant (10 meter). Er det tilfældet, er man tæt på et knudepunkt, og attributterne fra den foregående matchede linie/rundkørsel beholdes. Ideen med punkt 2 er, at det, pga. fejl i GPS-koordinaten og vejmidtetemaet, ikke kan afgøres, hvilken af vejene der benyttes efter et knudepunkt.

*Del 3* er noget mere kompleks, men dog overskuelig. De tre liniestykker, som har de korteste afstande til GPS-positionerne, findes. Dog skal liniestykkerne ligge på tre forskellige vejstrækninger. Den korteste afstand er den vinkelrette afstand fra GPS-positionen til liniestykket. Falder punktet (nedfældningen) uden for liniestykket, men ikke længere end afstanden til linien, indgår afstanden i beregningen af de tre korteste afstande.

Blandt de tre liniestykker, der er fundet, skal det liniestykke (vejmidte), man kører på, findes. Dette gøres ved at tildele de tre liniestykker vægte efter forskellige kriterier. Liniestykket med den højeste vægt vælges som det liniestykke, man kører på.

Nu mangler jeg bare at opstille kriterierne for, hvordan vægtene tildeles. Det skal dog lige tilføjes, at findes der ikke liniestykker inden for ca. 100 meter fra GPS-positionen, meddeles systemet, at der ikke kan findes nogle veje nær GPS-positionen.


De tildelte vægte afhænger af 4 forhold:

- 1: Afstand til liniestykke
- 2: Skiltet hastighed i forhold til skiltet hastighed for foregående liniestykke
- 3: Vejkode i forhold til vejkoden for foregående liniestykke
- 4: GPS-retning i forhold til liniestykkets retning

Vægtene, som tildeles under punkt 1 til 4, adderes.

*Punkt 1:* Vægten afhænger lineært (trinvist) af GPS-positions afstanden til liniestykket. Er afstanden mellem 0 og 10 meter, udregnes vægten som:  $\underline{150} + \frac{1}{2} * (\underline{10} \text{ meter} - \text{afstand})$ . Er afstanden mellem 10 meter og 80 meter, varierer vægten fra 150 til 0. At det første stykke er næsten vandret, skyldes den usikkerhed, der er på positionen og vejmidtetemaet.

*Punkt 2:* Vægten er 30, hvis den skilte hastighed for det aktuelle liniestykke er det samme som for det foregående liniestykke. Ændres den skilte hastighed, er vægten 0. Idéen er, at der ved et knudepunkt er størst sandsynlighed for, at man fortsætter ad den vej, som har samme skilte hastighed, som den man kom fra.



*Punkt 3:* Vægten er 100, hvis vejkode for det aktuelle liniestykke er det samme som for det foregående liniestykke. Ændres vejkode, er vægten 60, hvis afstanden til linien er under 30 meter. Ændres vejkode, er vægten 30, hvis afstanden til linien er over 30 meter. Idéen er, at der er størst sandsynlighed for, at man i et knudepunkt fortsætter ad samme vej (samme vejkode).

*Punkt 4:* GPS-modtageren kan - ud over positionen - også fravristes en retning. Denne retning sammenlignes med vejliniens retning. Differencen mellem de to retninger benyttes til beregning af vægten. Følgende formel benyttes:  $Vægt = 1.0 * (100 \text{ gon} - \text{abs}(\text{differens}))$ . Differencen udregnes i intervallet  $-100$  gon til  $+100$  gon. Er de to retninger ens, gives vægten 100. Er de to retninger vinkelret på hinanden (fx. hvis der snappes til en sidevej), er vægten 0. Herved undgås, at der snappes til sideveje, selvom GPS-positionen reelt ligger tættest på disse veje.

Derudover er der indbygget en lille finesse, som skal muliggøre et spring til en parallelvej. Man kan forestille sig, at man bevæger sig ind på en parallelvej med en anden vejkode og med en anden skiltet hastighed. Godt nok kommer GPS-positionen til at ligge tættere på parallelvejen, men på grund af *punkt 2 og 3*, vil der aldrig skiftes til sidevejen. Der er derfor en regel der siger, at der adderes en vægt på  $n * 10$  hvis:

1: Den største vægt (for de tre vejsider) ikke har den mindste afstand, og

2: Vejkode til den mindste afstand er den samme som vejkode til den mindste afstand i forrige punkt (hvis 1 gælder i forrige punkt, tælles  $n$  op med 1, ellers nulstilles  $n$ .  $n$  nulstilles også ved kryds og rundkørsler).

Som det ses, bliver vægten, som adderes til sidevejen, større og større. Og efter 3-4 sekunder (epoker) springes over på sidevejen.

En anden lille finesse er ved skiltet hastighedsskift mellem liniestykker (i mellempunkter). For at føreren af bilen skal opleve det, som om det sker lige ud for skiltet, søges der altid frem i linien for at se om der sker et hastighedsskift. Er det tilfældet, undersøges det om den nye skiltede hastighed er mindre eller større end den aktuelle hastighed. Er den mindre gives besked 1 sekund før den beregnede hastighed siger, at man er ved skiltet. Er den større, gives besked 3 sekunder før den beregnede hastighed siger, at man er ved skiltet. Det ene sekund er begrundet i forsinkelsen i hele systemet. De 2 sekunder ( $3 - 1$ ) er begrundet i, at de fleste nok vil anse det for irriterende, hvis man ikke kan begynde en acceleration få sekunder før en hastighedsforøgelse (fx. hvis der benyttes en aktiv speeder).

Det var faktisk hvad der var at fortælle om mapmatching ved hjælp af vægte. Det skal dog tilføjes, at der er kørt mange testkilometer med systemet og al erfaring siger, at det fungerer 'skide godt'. Se dog lige herunder.

## 2.5 Problemer ved mapmatching, der ikke er løst

Der er faktisk ikke mange. Og slet ikke nogle, der synes uoverskuelige.

Lad mig lige nævne et par stykker:

Alle vejlinier bør have en skiltet hastighed for hver retning. Der eksisterer flere steder hvor hastigheden er forskellig i de to retninger.

Mapmatchingen bør udbygges med yderligere en vægt, der adderes, hvis det i vejnetværket er muligt at komme til den nye vejlinie indenfor fx. 100 meter.

Der bør registreres ensretning på vejlinierne. Herved kan det undgås, at der fx. ved motorveje skiftes til den modsatte kørebane (er registreret dobbelt) hvor der kan være en anden skiltet hastighed. Nøjagtigheden for GPS'en og for vejtemaet gør, at det ofte kan ses.

## 2.6 Hvad kan fremtiden bringe

Det vil være helt naturligt at INFATI-systemet sammenbygges med de navigeringssystemer, der allerede findes på markedet.

Men af mere visionære betragtninger kan man forestille sig, at vejmidtemaet automatisk opdateres med nye veje. Åbnes en ny vej, vil disse positioner kunne danne baggrund for generering af den nye vej. Det vil kræve, at bilerne positioner automatisk sendes til et centralt 'registreringskontor'. Et afgangprojekt på AAU arbejder allerede med problematikken [Brandt].

Biler, der kører i det modgående spor på motorveje, vil kunne få advarsler. Evt. kunne omdrejningstallet på motoren begrænses til 1000 for sådanne modkørende bilister.

Der kan gives advarsler ved kødannelse forude, således at hamonikasammenstød undgås.

Den reelle hastighed på de forskellige vejstrækninger kunne beregnes af 'registreringskontoret' og videregives til navigationssystemerne, som derved kan foreslå den optimale rute.

'Registreringskontoret' kan også beregne trafikmængden på de forskellige vejstrækninger og derved ændre fartgrænserne, så kapaciteten for de enkelte vejstrækninger øges.

Dette er kun nogle få fremtidsperspektiver, så om 15 år vil man nok sige: Hvordan kunne man leve uden INFATI?

### 3 Koordinatomregning i INFATI (v. Peter Cederholm)

GPS modtageren angiver antennens position og dermed også bilens position i geografiske WGS84(UEREF89) koordinater. Inden positionen kan map-matches, omregnes denne til UTM(ED50) zone 32. For hver position gennemføres følgende beregninger:

1. Geografiske WGS84(UEREF89) koordinater omregnes til kartesiske WGS84(UEREF89) koordinater. Denne omregning gennemføres som beskrevet i [Jensen og Engsager] side 138.
2. Kartesiske WGS84(UEREF89) koordinater omregnes til kartesiske ED50 koordinater. Denne omregning gennemføres som beskrevet i [Jensen og Engsager] side 138.
3. Kartesiske ED50 koordinater omregnes til geografiske ED50 koordinater. Denne omregning gennemføres som beskrevet i [Jensen og Engsager] side 138-139.
4. Geografiske ED50 koordinater omregnes til UTM(ED50) zone 32. Denne omregning gennemføres som beskrevet i [Mead].

### 4 Litteratur

[Brandi] Martin Brandi, Ole Runge Madsen og Nikolaj Møller Nielsen,  
"Ad nye veje – en prototype til forbedring af vejdata-baser ved hjælp af tilfældigt loggede GPS-positioner fra biler"  
AAU afgangprojekt, landinspektørstudiet, juni 2001

[Jensen og Engsager] Anna B.O. Jensen og Karsten Engsager,  
"GPS og koordinattransformationer II"  
Landinspektøren, 40. bind, 110. årgang, februar 2001, pp 136-140

[Mead] B.K. Mead,  
"Program for computing universal transverse mercator (UTM) coordinates for latitude north or south and longitudes east or west"  
Surveying and Mapping, marts 1987, pp 37-49

Nr.	Titel	Forfatter	Skriftserienr.	ISBN
	Intelligent Farttilpasning – Udvikling af teknologi og Brugertest	Harry Lahrmann	276	87-90893-36-0
1	INFATI – Projektbeskrivelse og projektorganisation	Harry Lahrmann	266	87-90893-19-0
2	INFATI – Hardware og software	Poul Heide	267	87-90893-20-4
3	INFATI – Mapmatching	Jens Juhl	268	87-90893-21-2
4	INFATI - Test af GPS-nøjagtighed og digitale kort med hastighedsgrænser	Jesper Runge Madsen Ole Runge Madsen Martin Brandi Nikolaj Møller Nielsen	269	87-90893-22-0
5	INFATI.DK – En hjemmeside og et webbaseret spørgeskema	Harry Lahrmann Malene Kofod Nielsen Jørgen Raguse Erik Jensen	270	87-90893-23-9
6	INFATI – Brugertest – effekt og accept	Malene Kofod Nielsen Teresa Boroch	271	87-90893-24-7
7	INFATI – Brugertest – adfærdsændringer	Jesper Runge Madsen Ole Runge Madsen	272	87-90893-25-5