

Forudsigelse af forsinkelse på Helsingørmotorvejen

Jens Møller-Pedersen, TetraPlan ApS

Vejdirektoratet har etableret et rejsetidsinformationssystem (RIS) på Helsingørmotorvejen, der permanent døgnet rundt indsamler data om forsinkelserne på motorvejsstrækningerne omkring vejarbejdet. Disse målinger benyttes til informere bilister om forventet forsinkelse gennem informationstavler langs motorvejen og gennem Københavns Radio. Problemet med et system, der direkte benyttede aktuelle forsinkelser til at informere bilisterne var, at den målte forsinkelse altid kom for sent. Bilister, der passerede oplysningskiltet oplevede en anden forsinkelse end den der målt på det tidspunkt.

TetraPlan har for Vejdirektoratet opstillet en model, der ud fra den nuværende måling kan forudsige, hvilken forsinkelse bilister, der kører ind på strækningen vil komme til at opleve. Ved afprøvning på historiske data er det fundet, at forudsigelsen i under 1% af tilfældene afveg mere end 5 minutter fra den aktuelt oplevede forsinkelse.

Det blev undersøgt, om der var et mønster, der gjorde det rimeligt at opbygge en sådan model, og den udviklede model i det da gennemførte studie er senere blevet operationaliseret til en driftssituation og benyttes i dag til meldingerne til trafikanterne.

Der er opstillet prognosemodeller for myldretidsperioderne morgen 7:00- 9:00 og eftermiddag mellem 15:30 og 17:30. Da det hovedsagligt er skiltevisningen om morgenen, der på grund af forsinkelsernes støvrelse er interessant, vil denne artikel koncentrere sig om prognosemodellen for morgenmyldretiden.

Beskrivelse af rejsetidsinformationssystemet

Rejsetidsinformationssystemet er placeret på Helsingørmotorvejen (HVV) med grene ad Lyngbyvejen og ad Motorringvejen til Herlev. Systemet er baseret på registrering af biler, der er forsynet med en elektronisk ”brik”, ved 13 målestationer. Registreringen foregår ved, at en radar sender et signal til brikken, der derefter sender sit nummer tilbage, og samtidig registreres tidspunktet. Der er uddelt 3000 brikker til frivillige bilister, der jævnlige benytter Helsingørmotorvejen.

Ved at sammenholde bilens passagetidspunkter ved forskellige målepunkter, kan rejsetiden for denne bil beregnes for hver delstrækning. Ved at tage gennemsnittet af rejsetider for alle målte biler findes rejsetiden for delstrækningen.

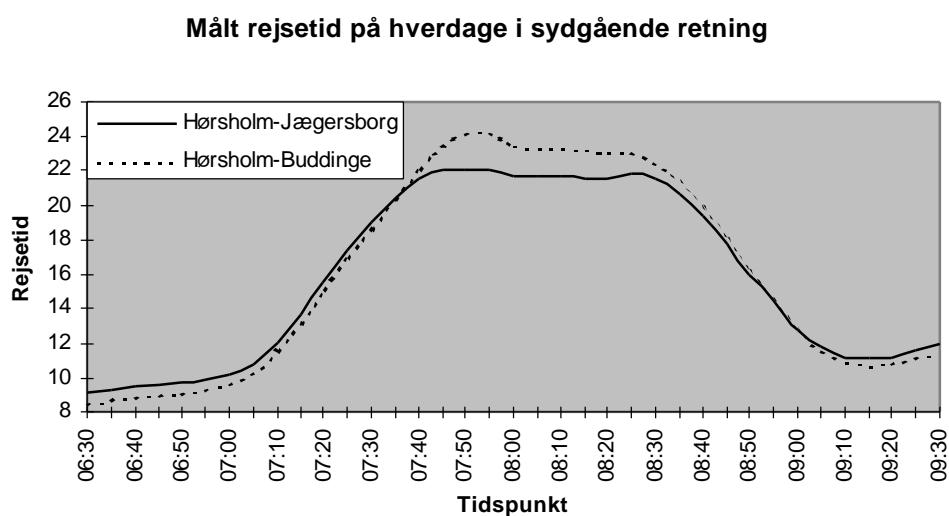
Beregningen af forsinkelsen er koblet til Rejsetidsinformationssystemet (RIS) i Storkereden. Hvert femte minut overføres data fra RIS til den udviklede korttidsmodel, således at operatøren bliver orienteret om, hvad den oplevede forsinkelse vil være sammen med en 15 minutters prognose. Operatøren benytter informationen til at sætte skiltene, der informerer bilisterne om forsinkelsen.

Trafikinformationscentralen i Vejdirektoratet (TIC) har også direkte adgang til prognosetallene for videresendelse til Københavns Radio.

Beskrivelse af rejsetiden

I figur 1 ses den gennemsnitlig målte rejsetid afbildet som funktion af tidspunktet for morgen-spidstimerne i indadgående retning. Gennemsnittet er taget over alle hverdage i en periode fra august 1996 til februar 1997. Nogle dage er udtaget af datamaterialet pga. uheld, datafejl eller ferier.

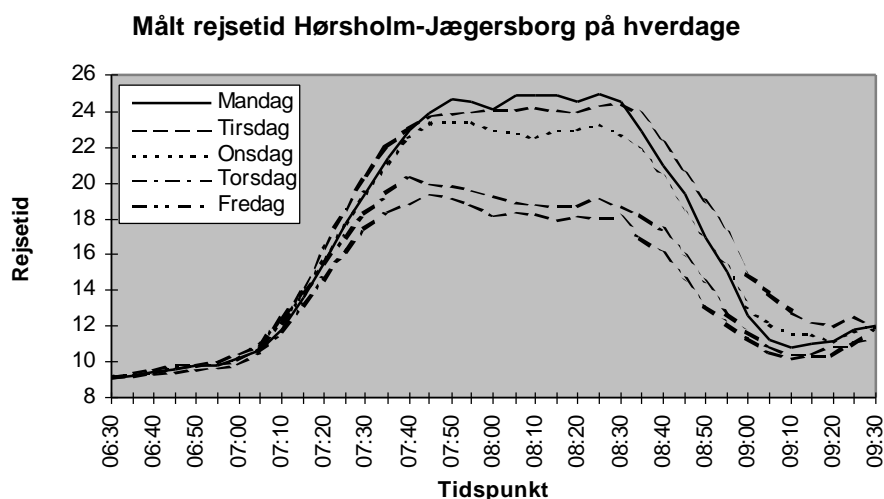
For begge ruter i sydgående retning gælder, at myldretiden strækker sig fra 7:10 til 9:00, med den største målte forsinkelse mellem 7:40 og 8:40. Der er lidt større forsinkelse ad motorringvejen mod Buddinge end ind ad Lyngbyvej mod Hans Knudsens plads. Dette skyldes, at der næsten aldrig er forsinkelser ad Lyngbyvejen fra Klampenborgvej, mens ringmotorvejen ofte er fyldt. Det ses også, at der ad ringmotorvejen er specielt store forsinkelser mellem 7:40 og 8:00.



Figur 0.1: Gennemsnitlig målte rejsetider for alle hverdage i sydgående retning i perioden fra august til februar.

Den gennemsnitlige målte forsinkelse dækker over betydelige forskelle dagene imellem. Forsinkelsen ses opgjort på ugedage for den sydgående retning i figur 2. Det ses, at forsinkelsen

er størst på mandage og tirsdage, og mindst om fredagen.



Figur 2: Målt rejsetid på hverdag, Hørsholm-Jægersborg.

I nordgående retning er der ikke nogle dage, der har markant højere forsinkelser end andre.

Skiltevisning før korttidsmodellen blev implementeret.

Det er operatøren i Storkereden, der styrer skiltevisningen ud fra RIS' målinger.

Før korttidsmodellen var implementeret, blev skiltene sat til at vise den nuværende målte forsinkelse afrundet til nærmeste 5 minutter.

Hvis RIS var nede, kunne operatøren alene forlade sig på en ITV-overvågning af strækningerne og benytte en "standardstrategi" for skiltevisning. Den kunne være baseret på de gennemsnitligt målte forsinkelser for hele ugen. De målte rejsetider ses i figur 1. Da den ideelle rejsetid på strækningen (uden forsinkelse) er ca. 9 minutter, kan strategien i tidsrummet 7:00 - 9:00 verbalt beskrives således:

- Den skilte forsinkelse er voksende i "skridt" af 5 minutter fra 0 til 15 min. i tidsrummet 7:00 - 7:45.
- Skiltet holdes konstant på 15 min. fra 7:45 til kl. 8.35.
- Herefter vises 10 min. til kl. 8:50, hvorefter skiltet sættes til 5 min.

Kun i tilfælde, hvor operatøren vha. kameraerne kan se, at forholdene er usædvanlige, fraviges denne strategi.

Problemer med benyttelse af gennemsnitlig forsinkelse

I morgenmyldretiden måles hvert 5. minut en gennemsnitlig rejsetid mellem to på hinanden følgende målestationer. Ved at sammenligne denne gennemsnitsmåling med de rejsetider, der er ideelle for hvert delstræk (kørsel efter hastighedsgrænsen) udregnes forsinkelsen for hvert delstræk herefter for den netop afsluttede 5 minutters periode. Den samlede forsinkelse fra Hørsholm til Tuborgvej udregnes herefter som summen af forsinkelserne på de enkelte delstræk.

Fremgangsmåden har en åbenlys fejl, nemlig at forsinkelsen udregnes efter målinger til *samme* tidspunkt på delstrækkene. I virkeligheden er der ingen, der oplever forsinkelsen kl. 7.20 på alle delstræk, da hele gennemkørslen altid tager længere tid end de 5 minutter, der er tidsrummet mellem to målinger. Den forsinkelse en bilist oplever afhænger derfor af forsinkelser på *forskellige* tidspunkter på delstrækkene. Det er denne forsinkelse (kaldet oplevet forsinkelse), som man ønsker at vise på de variable skilte, idet den enkelte bilist ikke er interesseret i den gennemsnitlige forsinkelse på hele vejstrækningen, men den forsinkelse som han/hun vil opleve efter passagen af skiltet.

Beregning af oplevet forsinkelse

Den forsinkelse som en bilist oplever afhænger af tidspunktet, hvor bilisten befinder sig på delstrækket, men på det tidspunkt hvor bilisten passerer informationstavlen kender operatøren kun den nuværende gennemsnitlige forsinkelse på de følgende delstræk – men ikke hvad forsinkelsen vil være på det tidspunkt, hvor bilisten passerer delstrækkene.

Som eksempel betragtes en bilist, der når målestation 1 klokken 7:20. På dette tidspunkt vil den målte forsinkelse normalt være lidt under 10 minutter, så uden korttidsmodellen vil bilisten møde en skiltning, der viser 10 min. forsinkelse. På denne dag nåede han/hun målestationerne ved slutningen af hvert delstræk på følgende tidspunkter:

Delstrækning	Idealtid	Forsinkelse	Rejsetid	Ankomst til slutning af stræk	Anvendt måling
1-2	1.2	2.61	3.81	07:23	07:25
2-3	1.4	6.36	11.57	07:31	07:35
3-4	4	6.54	22.11	07:42	07:45
4-7	2.5	0.09	24.70	07:44	07:45
Sum	9.1	15.60	24.70		

Tabel 1: Eksempel på beregning af oplevet forsinkelse

Bilisten oplevede en samlet forsinkelse på 15.6 minutter, hvilket er mere end de 10 min. skiltet viste da han/hun startede .

Populært sagt kan man sige, at mens forsinkelsen er voksende, vil den oplevede forsinkelse være større end den målte (og skiltede). Den omvendte situation opstår når forsinkelsen er faldende.

Ovenstående regneeksempel viser, at den korrekte skiltevisning afhænger af fremtidige forsinkelser på de enkelte delstræk. I det ovenstående eksempel, er det nødvendigt at forudsige forsinkelserne på de forskellige delstræk op til 25 minutter ud i fremtiden, for at kunne sætte skiltet korrekt.

Da det er den oplevede forsinkelse, der ønskes modelleret, er det vigtigt at kunne uddrage denne af rejsetidsmålingerne. Da disse er opgjort for hvert 5 minutters interval, er det ikke muligt at udregne forsinkelsen eksakt for alle biler, men det er muligt at udregne en gennemsnitlig forsinkelse for bilister, der ankommer til den sidste målestation på et givet tidspunkt.

Det gøres ved at ”regne baglæns” ud fra den målte rejsetid på delstrækket og passagetidspunktet ved slutmålestationen. Eksempelvis vil passagetidspunktet ved målestation 4, der ligger før målestation 7 kunne findes af følgende formel:

$$t_4 = t_7 - (\text{delay}_{4-7}(t_7^*) + \text{idealtime}_{4-7}).$$

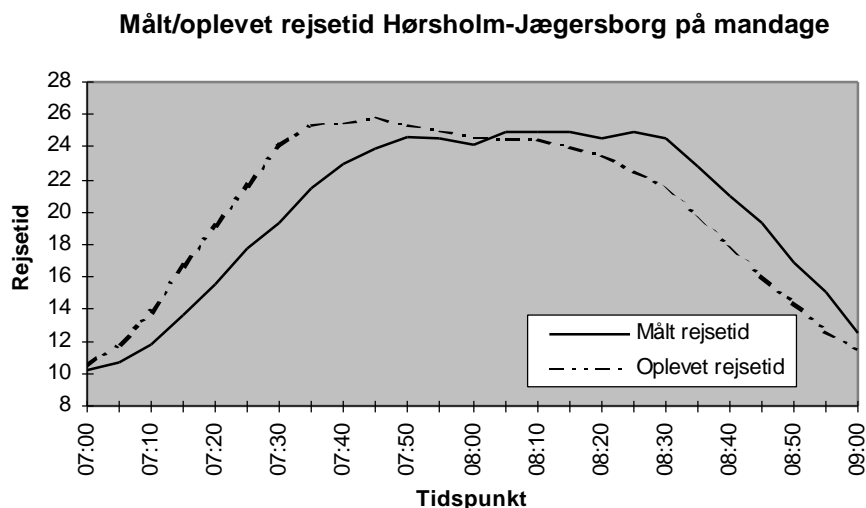
Her er $idealtime_{4,7}$ idealkøretiden mellem målestation 4 og 7, $delay_{4,7}$ er den målte forsinkelse på dette delstræk, og t_7^* er tidspunktet for nærmest følgende måling (i dette tilfælde en op-runding til nærmeste 5 minutter). t_7 er bilens faktiske ankomsttid til målestation 7; denne kan eksempelvis sættes til t_7^* eller til midten af intervallet - i dette tilfælde $t_7^* - 2.5$ minutter.

Ved at foretage denne beregning rekursivt på alle delstrækkene opnås passagetidspunktet og den tilhørende rejsetid ved informationstavlen.

Målet er nu at opbygge en model, der kan finde den rejsetid som en bilist, der passerer skiltet nu, vil opleve på baggrund af nuværende målinger på delstræk længere fremme på bilistens rute.

Sammenligning mellem oplevet og gennemsnitlig forsinkelse

I figur 3 er den gennemsnitlige målte forsinkelse og den gennemsnitlige oplevede forsinkelse sammenlignet. Det er for overskuelighedens skyld kun valgt at sammenligne den oplevede og målte forsinkelse for strækningen Hørsholm-Jægersborg om mandagen.



Figur 3: Forskel mellem målt og oplevet rejsetid i sydgående retning.

Det ses, at kurverne har omtrent samme form, men at de er forskudt med ca. 15 minutter. Figuren viser også, at man ved benyttelse af den nuværende måling altid er tidsmæssigt bagefter den korrekte skiltevisning.

Model til beregning af oplevet forsinkelse og 15 minutters prediktion af denne

I det implementerede rejsetidsinformationssystem (RIS) sker der en opdatering af de målte forsinkelser ved udførelse af et databasekald, der omregner passeringerne inden for det foregående interval til rejsetider. Der sker ikke nogen lagring af tidligere beregnede rejsetider, da disse kan genskabes ud fra de gemte passeringer.

Da der ikke sker nogen lagring af rejsetiderne, er det betydeligt nemmere at implementere en korttidsmodel, der kun baserer sig på målingen af rejsetid i det seneste 5 minutters interval og ikke de tidligere målte værdier. Da det i projektet blev vist, at en model, der benytter gennem-

snittene for målt og oplevet rejsetid samt den inden for de sidste 5 minutter målte rejsetid giver yderst tilfredsstillende resultater i morgenspidstimen, er det blevet valgt at opbygge modeller af denne type.

Modellen bygger på antagelsen, at rejsetiden kan beskrives ved formelen

$$Y_t = \mathbf{m}_{Y_t} + b_0 x_t^* + \mathbf{e},$$

hvor Y_t er den oplevede forsinkelse til tidspunkt t , \mathbf{m}_{Y_t} er den gennemsnitlige oplevede forsinkelse på den aktuelle hverdag til tidspunktet t , og x_t^* er afvigelsen mellem den målte forsinkelse og den gennemsnitlige målte forsinkelse på ugedagen til tidspunktet t . Endelig er \mathbf{e} en stokastisk komponent, der indeholder de umodelerede effekter.

Tilsvarende benyttes til 15 minutters prediktionen en model, hvor der benyttes afvigelser fra middelværdien for et givet tidspunkt til at modellere afvigelsen fra middelværdien i den oplevede forsinkelse om 15 minutter. Matematisk kan prediktionsmodellen beskrives ved:

$$Y_{t+15} = \mathbf{m}_{Y(t+15)} + b_0 x_t^* + \mathbf{e},$$

hvor $\mathbf{m}_{Y(t+15)}$ er den gennemsnitlige oplevede forsinkelse på den aktuelle hverdag til tidspunktet $t+15$, og x_t^* er afvigelsen mellem den målte forsinkelse og den gennemsnitlige målte forsinkelse på ugedagen til tidspunktet t . Verbalt kan modellen beskrives ved, at når der måles en anderledes forsinkelse end normalt på et givet tidspunkt, justeres prediktionen af den oplevede forsinkelse også. Hvis målingen stemmer overens med gennemsnittet for denne dag, forventes den oplevede forsinkelse om 15 minutter også at ligge på middelværdien.

Evaluering af modeller til bestemmelse af skiltevisning

De udviklede modellers egenskaber er sammenlignet med 3 andre modeltyper. De 4 modeller i sammenligningen er

- Ugesnit målt: Her sættes skiltet til ugegennemsnittet for målt forsinkelse på det nuværende tidspunkt, svarende til en aflæsning af grafen i figur 1.
- Oplevet snit: Skiltet sættes til den gennemsnitlige *oplevede* forsinkelse på det nuværende tidspunkt. Gennemsnittene er opgjort på ugedage, hvorved effekten af forskellene mellem dage medtages. Denne model kan anvendes til skiltevisning på dage, hvor RIS ikke fungerer.
- Måling alene: Skiltet sættes til målingen af rejsetid i sidste 5 minutters interval. Denne model svarer til proceduren, der blev anvendt inden korttidsmodellen blev implementeret.
- Korttidsmodel: Den opstillede korttidsmodel.

Modellerne sammenlignes med hensyn til kvadratfejl, korrekt skiltevisning i procent (performance) og antal fejl større end 5 minutter (store fejl).

Resultatet af sammenligningen for morgenmyldretiden ses i tabel 2.

Modelnavn	Hørsholm-Jægersborg		
	Kvadrat fejl	Performance	Store fejl
Ugesnit målt	47943	37.5%	12.2%
Oplevet snit	31239	52.3%	6.1%
Måling alene	13679	61.2%	1.4%
Korttidsmodel	4816	78.6%	0.2%

Tabel 2: Sammenligning af modeller for morgenmyldretiden.

Det ses, at den udviklede korttidsmodel for morgenmyldretidstrafikken er betydeligt bedre end de øvrige modeller med hensyn til alle tre evalueringsstrategier.

Der opnås altså en betydelig forbedring i skiltevisningen ved at gå over til benyttelsen af korttidsmodellen i forhold til den tidligere anvendte praksis, hvor skiltene sættes efter den nuværende måling.

Evaluering af modeller til 15 minutters prediktion

Ud over modeller til beregning af den bedste skiltevisning, er der udviklet modeller, der beregner det bedste gæt på skiltevisningen om 15 minutter. I nedenstående tabel sammenlignes den udviklede model med de samme 3 modeller, der blev benyttet i forrige afsnit. Det skal bemærkes, at nøgletallene for de to modeller, der ikke benytter den målte rejsetid vil være identiske med tallene fra forrige afsnit, da det er samme tidsperiode, der modelleres.

Modelnavn	Kvadrat fejl	Hørsholm-Jægersborg	
		Performance	Store fejl
Ugesnit målt	47943	37.5%	12.2%
Oplevet snit	31239	52.3%	6.1%
Måling alene	69272	34.9%	21.8%
Korttidsmodel	12503	66.8%	1.4%

Tabel 3: Evaluering af modeller til 15 minutters prognose af forsinkelse i morgenmyldretiden.

Ved sammenligning med tabel 2, ses det, at det som forventet er vanskeligere at lave en 15 minutters prognose. Korttidsmodellen rammer stadig rigtigt i 2/3 af tilfældene og antallet af store fejl er acceptabelt. Derimod er det meget dårligt at benytte den nuværende måling som en prognose på den oplevede forsinkelse om 15 minutter. Dette skyldes, at der i prognosesituationen går ca. 30-35 minutter før der eksisterer målinger for de biler, der kører ind på strækningen om 15 minutter. På en gennemsnitsdag betyder det, at når der først måles store forsinkelser fra kl. 7:40, så vil der ikke blive forudset forsinkelser før kl. 8:00, men som vist i figur 2, er den oplevede forsinkelse allerede på sit højeste kl. 7:25. Tilsvarende vil en prognose, der kun benytter målingen blive ved med at forudsige forsinkelser i perioden efter at morgenmyldretiden er afsluttet.

Det ses altså, at i morgenmyldretiden er benyttelse af den nuværende måling som 15 minutters prognose den dårligste strategi af dem alle.

Anvendelser af rejsetidsforudsigelser

Korttidsmodellens prediktioner sendes idag også til Trafikinformationscenteret (TIC), der rådgiver bilister, der ringer ind.

TIC har implementeret systemet HOT-DOG, der kommunikerer alle informationer på skiltene ved Helsingørmotorvejen til Københavns Radio. Med indførelsen af korttidsmodellen er dette system blevet udvidet, så Københavns Radio også har mulighed for at informere lytterne om 15 minutters prognosen for forsinkelsen.

Der findes allerede i dag en Tekst-TV side, der omhandler Helsingørmotorvejen. De oplysninger, der kan formidles via Internettet kan også gøres tilgængelige via denne side. Man skal her være klar over, at Tekst-TV ikke kan rumme så detaljerede oplysninger som Internettet, da der kan være en ret begrænset informationsmængde pr. Tekst-TV side.

Mulige udbygninger af systemet

Automatisk skiltevisning på baggrund af rejsetidsmålinger

I øjeblikket styres skiltevisningen delvist manuelt, ved at operatøren på en terminal kan angive, hvad skiltene skal vise. Der er altså ikke en direkte kobling mellem rejsetidsmålingerne og skiltevisningen, hvorfor skiltevisningens korrekthed i høj grad beror på operatørens tolkning af rejsetidsmålingerne. Det vil være oplagt at give mulighed for at systemet kan køre uden direkte operatør-indgriben, dog bør der i modellen være en advarselsfunktion, der indikerer at den modellerede stræknings tilstand ikke stemmer overens med den sædvanlige situation. Dette kan eksempelvis implementeres ved at systemet sammenligner de tidligere predikterede værdier med de senere målte, og hvis der er stor uoverensstemmelse, bør der enten skiftes model eller skiftes til manuel skiltevisning. Modellen checker altså, om den sætter skiltene korrekt.

Forudsigelser af fremtidige forsinkelser gøres tilgængelige via Internettet.

Ved at koble 15 minutters prediktionen af forsinkelse til en internet-side, vil bilisterne have mulighed for at få et skøn over den forventede rejsetid inden de forlader hjemmet. I denne forbindelse er det den fremtidige værdi, der har størst interesse, da der oftest vil gå et vist tidsrum fra bilisten ser informationen til han/hun når frem til den beskrevne strækning. Denne web-side vil som oplagte kunder kunne have TIC, Københavns Radio, HT og evt. taxa og vognmandsforretninger.

Udvidelse af det modellerede område

Et stort problem ved skiltevisningen er, at der er tale om en prediktion af fremtidige værdier. Ved at inddrage trafiktællinger fra strækninger, der leder til Helsingørmotorvejen, kan man få et skøn over, hvor mange biler, der vil nå frem til den modellerede strækning et kort stykke ud i fremtiden. Eksempelvis må det forventes, at et uheld giver anledning til større forsinkelser, hvis målinger viser, at der er mange biler på vej frem mod ulykkesstedet, end hvis målingen viser, at der ikke er så mange biler på vej.

I København arbejder man også på at udbygge det stormaskede net, der ved hjælp af nedgravede spoler registrerer hastigheder og trafiktætheder på de vigtigste veje i Hovedstadsområdet. Ved at kombinere data fra spoler med data fra rejsetidsmålingssystemet vil det være mu-

ligt at validere modeller, der kun baserer sig på data fra spolerne, og sådanne modeller vil kunne benyttes til at forudsige rejsetider i hele det stormaskede net i København.

På længere sigt vil man altså kunne anvende korttidsmodeller til at give et billede af forventede rejsetider på hele det københavnske hovedvejnet.