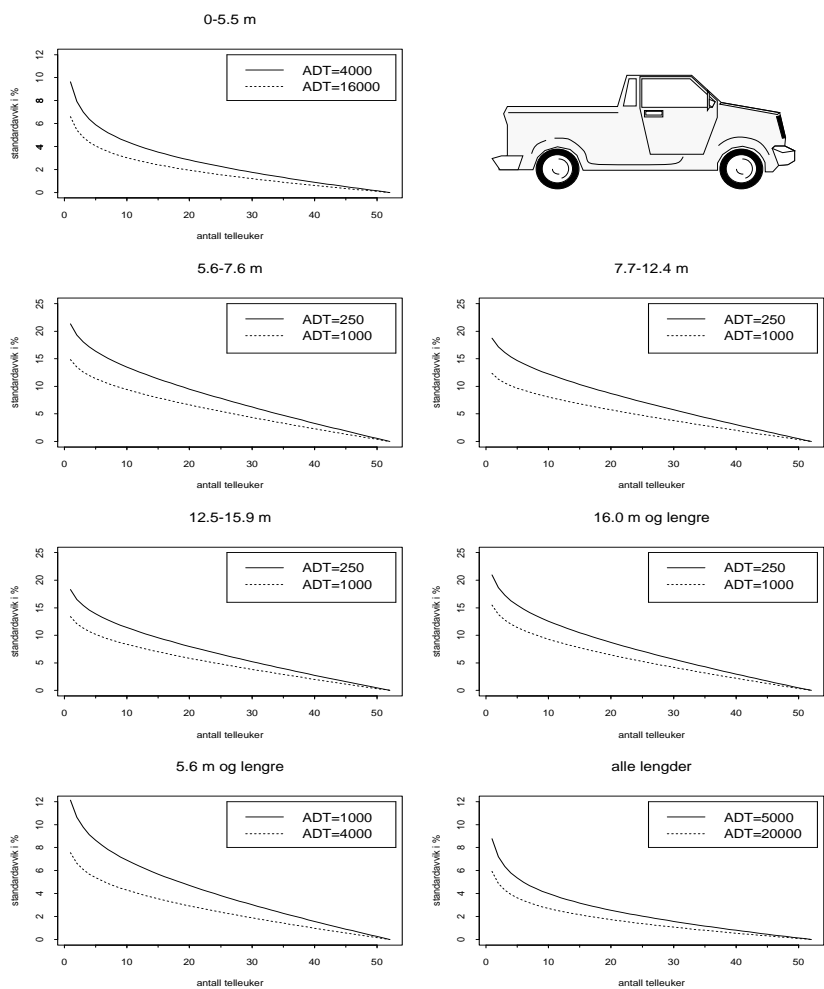


Basiskurve metoden for ÅDT-beregninger - Kalibrert for de største byområdene i Norge



SAMBA/25/98

Magne Aldrin
Ola Haug

Oslo
Desember 1998

Tittel/Title: Basiskurve metoden for ÅDT-beregninger - Kalibrert for de største byområdene i Norge

Dato/Date: Desember
År/Year: 1998

Notatnr: SAMBA/25/98

Noteno:

Forfatter/Author: Magne Aldrin og Ola Haug

Sammendrag/Abstract: Basiskurve metoden er en metode for å beregne trafikkmengden på en vei der det er utført tellinger. Trafikkmengden estimeres for hver enkelt time i året. Ut fra timesestimater beregnes ÅDT-estimer (årsdøgntrafikk) med usikkerhetsanslag. Beregningene kan gjøres på biler inndelt i lengdeklasser eller på totalt antall biler. Metoden kan også brukes til å estimere trafikkarbeid i et område, med et tilhørende usikkerhetsanslag.

Den foreliggende rapporten er en videreføring av tidligere arbeid. Metoden er nå kalibrert til bruk i de største byområdene i Norge, og trafikk tellingene kan nå være av vilkårlig lengde. Bilene kan enten være inndelt fem lengdeklasser, i to (tunge og lette), eller kun totalt antall biler kan være registrert.

Emneord/Indexing terms: Trafikk-beregninger

Målgruppe/Target group: Åpen

Tilgjengelighet/Availability:

Prosjektdata/Project data:

Prosjektnr/Project no:

Antall sider/No of pages:41

Satningsfelt:

Research field:

Innhold

Del 1: Overordnet beskrivelse	1
1 Innledning	1
2 Basiskurve metoden - trafikkberegninger basert på kombinasjon av basiskurver... 3	3
2.1 Beregning av trafikkmengde ut fra tellinger.....	4
2.2 Usikkerhet i ÅDT-estimat.....	14
2.3 Beregning av trafikkarbeid med usikkerhet	16
Del 2: Detaljert framstilling	17
3 Beskrivelse av metoden basert på kombinasjon av basiskurver	17
3.1 Etablering av basiskurver	17
3.2 ÅDT-beregninger basert på et gitt antall basiskurver	18
3.3 Valg av antall basiskurver.....	21
3.4 Usikkerhet i ÅDT-estimat.....	24
3.5 Beregning av trafikkarbeid i et område, med usikkerhetsanslag.....	24
4 Datagrunnlag	26
4.1 Oversikt over data.....	26
4.2 Prosedyre for kontroll og korrigering av data	28
5 Beregninger basert på et simuleringseksperiment	29
5.1 Prediksjon basert på basiskurver.....	30
5.2 Etablering av ligninger for valg av antall basiskurver	30
5.3 Etablering av ligninger for beregning av usikkerhet	31
5.4 Beregning av korrelasjoner	32
6 Mulige forbedringer	32
Referanser:	34
Appendix A: Prosedyre for trekking av telletidspunkter	35
Appendix B: Tabeller med regresjonskoeffisienter	37

Del 1: Overordnet beskrivelse

Basiskurve-metoden er en metode for trafikkberegninger, og beskrives i denne rapporten. Rapporten er delt i to hoveddeler. Del 1 (kapittel 1 og kapittel 2) gir en oversikt over bruk av og egenskaper til metoden. I Del 2 (kapittel 3 - kapittel 6) beskrives metoden mer grundig. Denne beskrivelsen er ment å være såpass detaljert at den kan danne grunnlag for en implementering av metoden, og vi har derfor funnet det fornuftig å gi en relativt dyptgående og teknisk framstilling. Del 2 inneholder også en oversikt over datagrunnlaget, og hvordan feil i dataene er korrigert.

1 Innledning

På veinettet i Norge foregår det en rekke trafikktellinger. For endel av tellepunktene er tellingene i prinsippet kontinuerlige (nivå 1 punkter), men kan ha manglende data. For andre tellepunkter telles det kun i korte perioder. Ut fra trafikktellingene gjøres det ulike typer beregninger. En av de viktigste er ÅDT (trafikk pr. døgn i gjennomsnitt over et år) på det enkelte tellepunkt.

For å beregne ÅDT brukes pr. i dag de målte dataene sammen med et sett såkalte variasjonskurver, som angir trafikkvariasjon over året. Hovedprinsippene variasjonskurve-metoden er beskrevet i "Håndbok 146 - Trafikkberegninger" (1988). Metoden baserer seg på bruk av variasjonskurver for trafikk over et år, en uke og et døgn, samt en eventuell justering for spesielle dager. En begrensende faktor ved denne metoden er at det blant et sett av mulige variasjonskurver må velges kun *en* variasjonskurve for år, *en* for uke og *en* for døgn. Kurvene kan velges manuelt eller ved tilpasning til data. I Aldrin og Follestad (1993) er det beregnet nye variasjonskurver for Oslo, til bruk for totalt antall biler. I Follestad og Aldrin (1997) er det beregnet variasjonskurver for Norge, til bruk for tunge kjøretøy (5.6 meter og lengre).

Norsk Regnesentral har over noen år utviklet en alternativ metode som er ment å gi mer presise ÅDT-estimer enn variasjonskurve-metoden. Den nye metoden er kalt basiskurve-metoden, og er blant annet dokumentert i Aldrin og Follestad (1997), og Aldrin (1998). Denne tidligere versjonen av basiskurve-metoden er implementert i et prototyp Excel-program, dokumentert i Aamodt og Aldrin (1997). Utvikling av metoden har vært finansiert av Statens forurensningstilsyn, Norges forskningsråd og av Norsk Regnesentral.

På oppdrag fra Vegdirektoratet har Norsk Regnesentral videreutviklet basiskurve-metoden ved vekt på tre punkter:

- 1) Metoden kan nå brukes på telldata av vilkårlig lengde, mens den tidligere kun kunne brukes på kortidstellinger.

2) Metoden er nå kalibrert på trafikkdata fra de største byområdene i Norge i Norge (Oslo/Akershus, Bergen, Bodø, Drammen, Porsgrunn/Skien, Kristiansand, Moss/Sarpsborg/Fredrikstad, Stavanger, Tromsø, Trondheim, Tønsberg), mot før kun på data fra Oslo.

3) Metoden er nå kalibrert slik at den også kan brukes uten at tellingene er foratt med inndeling av bilene i 5 lengdeklasser (se nedafor) , dvs. om enten kun totalt antall biler er registrert, eller om bilene kun er inndelt i lette og tunge kjøretøy.

Kalibreringsdataene består av trafikktegninger for 64 nivå 1 punkter (128 veilenker, se definisjon nedafor), med to kjøreretninger pr. punkt, for årene 1995, 1996 og 1997, dog er dataene ikke komplette. Bilene er inndelt i fem lengdeklasser. Disse er nummerert fra 1 til 5 med følgende inndeling målt i meter: [0-5.5], [5.6-7.6], [7.7-12.4], [12.5-15.9] og [16.0 og lengre]. Basiskurvemetoden vil kunne erstatte metoden basert på variasjonskurver, og kan brukes til å

- estimere trafikk på timesbasis et helt år
- beregne ÅDT med usikkerhetsanslag som avhenger av veistørrelse, antall tellesteder og tellemønster
- beregne HDT (helgedøgnstrafikk) og YDT (yrkesdøgntrafikk), pr. i dag uten usikkerhetsanslag
- beregne trafikkarbeid med usikkerhetsanslag
- optimalisere telleopplegget før tellinger gjøres
- utføre alle beregninger for biler i 5 lengdeklasser, samt for tunge biler (sum over de 4 lengste klassene) og for totalt antall biler
- gi en forståelse av trafikkmønsteret
- brukes til å detektere feil i datagrunnlag

Basiskurvemetoden er tilstrekkelig utvikla til å kunne implementeres og tas i bruk, men det er fortsatt muligheter både for forbedringer og utvidelser, deriblant

- implementering
- rekalkibrering av metoden for andre områder i Norge (småby, landdistrikt)
- endel ulike forbedringer av detaljer i eksisterende metodikk
- usikkerhetsanslag for HDT- og YDT-estimerer
- utvidelser til å omfatte bl.a. beregning av dimensjonerende time

Disse omhandles litt mer detaljert i kapittel 6.

Før vi går videre vil vi presisere hva vi mener med enkelte begreper:

a) Med usikkerhet mener vi her estimeringsusikkerhet som skyldes at vi ikke har observert trafikken hele året, mens usikkerhet som skyldes målefeil (feilregistre-

ringer) vil komme i tillegg.

b) En veilenke er en retningsbestemt forbindelse mellom to knutepunkt, og to parallelle veilenker i motsatt retning utgjør et veilenkepar. Trafikktellinger kan kun foretas i et punkt på veilenka, men ved beregning av trafikkarbeid anser vi punktet som representativt for trafikken på hele veilenka. Vi vil derfor ofte bruke betegnelsen veilenke i stedet for punkt.

c) I dette arbeidet vil minste tidsenhet for tellinger og estimer være en time, og med begrepet antall telletimer vil vi mene antall timer med tellinger.

2 Basiskurve metoden - trafikkberegninger basert på kombinasjon av basiskurver

Basiskurve metoden tar i bruk såkalte basiskurver, som har en lignende fortolkning som variasjonskurver. Men mens variasjonskurve metoden bruker *en* kurve for år, *en* for uke og *en* for døgn, er basiskurve metoden basert på kombinasjon av flere kurver. Det har den fordelen at kompleksiteten av beregningene kan tilpasses hvor mye data som er tilgjengelig. Hvis det er få telldata tilgjengelig brukes en enkel modell, mens en mer detaljert modell brukes hvis man har mange telletimer. Videre er modellen tilpasset hver lengdeklasse (men dette kan i prinsippet også gjøres for variasjonskurve-metoden).

Metoden er basert på at det foreligger mange telletimer for endel veilenker, og få telletimer for andre veilenker. Hovedideen i metoden er følgende: Først brukes dataene fra nivå 1 punktene til å etablere et sett med basiskurver over en tidsperiode, for eksempel fra starten av 1995 til slutten av 1997. Tidsenhet er en time. Den første basiskurven er en gjennomsnittskurve for alle nivå 1 punkter. Den er essensielt satt sammen av variasjonskurver for år, uke og døgn og tar også hensyn til en tidstrend og til spesielle dager. De neste basiskurvene er å betrakte som justeringer av den første kurven, og kurvene er ordna med synkende grad av viktighet.

Trafikken på en enkelt veilenke kan betraktes som en kombinasjon av slike basiskurver pluss et feilledd. Jo flere basiskurver som inngår, jo mindre blir feilleddet. Men for å bruke mange basiskurver trengs mye data. For en veilenke med tellinger noen få timer vil det lønne seg å bruke få kurver, kanskje en, to eller tre. For veilenker med tellinger noen uker (nivå 2 punkter) vil det lønne seg å bruke noen flere kurver. Antall kurver som bør brukes kan modelleres som en funksjon av antall tilgjengelige telletimer, av veistørrelse og av hvilken lengdeklasse det er snakk om.

ÅDT-estimatene vil selvsagt være usikre, og usikkerheten avhenger av antall telletimer, veistørrelse og lengdeklasse. De enkelte ÅDT-estimatene kan slås sammen til et estimat for trafikkarbeid i et geografisk område. Også usikkerheten i disse

estimatene vil avhenge av antall telletimer, veistørrelse og lengdeklasse, og en kan benytte dette til å optimalisere telleopplegget ved å avveie hvor mye det bør telles på store veier og hvor mye på små veier.

Metoden kan deles i følgende tre hoveddeler:

- Trafikkberegninger (kapittel 2.1), som består av a) etablering av basiskurver (detaljer i kapittel 3.1), b) ÅDT-beregninger basert på et gitt antall basiskurver (detaljer i kapittel 3.2) og c) valg av antall basiskurver (detaljer i kapittel 3.3)
- Usikkerhet i ÅDT-estimat (kapittel 2.2, detaljer i kapittel 3.4)
- Beregning av trafikkarbeid i et område, med usikkerhetsanslag (kapittel 2.3, detaljer i kapittel 3.5)

2.1 Beregning av trafikkmengde ut fra tellinger

Når det foreligger tellinger på en veilenke beregnes antall biler pr. time ved å kombinere k basiskurver. Basiskurvene har en gitt verdi for hver time t , og de k verdiene i time t angis som b_{1t} til b_{kt} . Antall biler beregnes v.h.j. a. formelen

$$\text{estimert antall biler i time } t = c \cdot \exp(\alpha_1 b_{1t} + \alpha_2 b_{2t} + \dots + \alpha_k b_{kt}), \quad (1)$$

hvor koeffisientene c og α -ene beregnes ut fra de tilgjengelige tellingene. ÅDT beregnes ved å ta sum av timesestimaterne over et år og dele på antall døgn. YDT og HDT beregnes tilsvarende ved å ta med henholdsvis kun yrkesdøgn og kun helgedøgn i summen. Om det foreligger tellinger for hver av de fem lengdeklassene, vil beregningene gjøres separat for hver lengdeklasse, og total ÅDT beregnes da ved å summere over alle lengdeklassene. Om bilene kun er registrert som lette (lengdeklasse 1) og tunge (summen over lengdeklasse 2 til 5) biler, vil beregningene gjøres separat for disse to grupper av biler, og total ÅDT vil igjen beregnes som summen av ÅDT for hver gruppe. Om kun totalt antall biler er registret beregnes total ÅDT ved å bruke basiskurvene for totalt antall biler. Uten å ha nevnt det eksplisitt, har vi antatt at alle tellinger er gjort når det er normal trafikk, og ikke når veien er stengt f.eks. p.g.a. veiarbeid. Om veien har vært stengt i kjente perioder kan timesestimaterne for disse periodene settes til 0.

Basiskurvene er beregna på forhånd ut fra nivå 1 punkter. De bør oppdateres jevnlig, f.eks. en gang i året. Basiskurvene er ordna med minkende grad av viktighet. Beregning av basiskurver og bruk av dem er nærmere beskrevet i kapittel 3.

Figur 1 viser de to første basiskurvene for hver av lengdeklassene, for tyngre kjøretøy og for totalt antall biler. Hver basiskurve er her dekomponert i fire deler: i) trend, ii) sesongvariasjon, iii) spesielle dager (slik de falt i 1997) og iv) ukedag- og døgn-variasjon. Basiskurven framkommer altså som summen av disse. Kurvene er i log-skala. Da kan en differanse på for eksempel 0.1 tolkes som omtrent 10%

forskjell i original skala, mens en differanse på 0.20 kan tolkes som 20% forskjell osv. Dette er fordi en differanse d i logskala blir e^d i original skala, som er tilnærma lik $100d\%$.

La oss betrakte dekomposisjonen av den første basiskurven for lengdeklasse 0-5.5m. Trendkurven viser en svak økning på omtrent 3% pr. år. Sesongkurven viser at trafikken typisk er lav midt på sommeren og i vintermånedene. Kurven for spesielle dager viser at det typisk er lavere trafikk i jula, påska og omkring helligdagene i mai. Døgnvariasjonen er tydelig, med lav trafikk om natta. Morgen- og ettermiddags-rushet fra mandag til fredag sees også tydelig. Døgnvariasjonen er ganske lik fra mandag til fredag, og fra lørdag til søndag. Noe forskjell er det dog, og det er viktig å modellere inn all systematisk variasjon som kan tilskrives eksakt informasjon slik som ukedag.

Den andre basiskurven er ikke så tolkbar, men kan anses som en justering av den første. Om den andre basiskurven *legges til* (dvs. α_2 er positiv) den første vil det blant annet gi mindre trafikk i timene før morgenrushet og til en viss grad under morgenrushet, mens trafikken om ettermiddagen vil øke. Om en i stedet *trekker fra* (dvs. α_2 er negativ) den andre basiskurven, vil effekten være motsatt. Den tredje basiskurven utgjør en ytterligere justering osv.

Kurvene for de andre og større lengdeklassene har mange fellestrekk med kurvene for lengdeklasse 1. En vesentlig forskjell er at det ikke sees noe morgen- og ettermiddagsrush i første basiskurve, noe som er svært rimelig.

For hver lengdeklasse, samt for tyngre biler og for totalt antall biler, har vi beregna 8 basiskurver, slik at antall basiskurver k i ligning (1) vil være mellom 1 og 8. Men antall basiskurver som bør brukes avhenger av antall telletimer som er tilgjengelig, siden koeffisientene i ligninga bestemmes fra telldataene. Om det er talt få timer velges k liten, om det er talt mange timer velges k stor. Vi har laget en beregningsregel som velger k ut fra telleomfang, antatt trafikkmengde og lengdeklasse. Denne beregningsregelen er beskrevet nærmere i kapittel 3.3.

Telleomfang omfatter både antall telletimer og hvilke tidspunkter, og karakteriseres ut fra hvor mange timer som er talt i ulike tidsperioder som angitt i Tabell 1. Timene i et døgn er nummerert fra 1 til 24, slik at time 1 er fra kl. 0.00 til kl. 1.00 osv. Med timene 8-9 menes f.eks. tidsperioden fra kl. 7.00 til kl. 9.00.

Tabell 1 Karakterisering av telldata.

hverdag 8-9

hverdag 10-15

hverdag 16-17

hverdag 7,18-24

hverdag 1-6

lørdag 10-24

lørdag 1-9

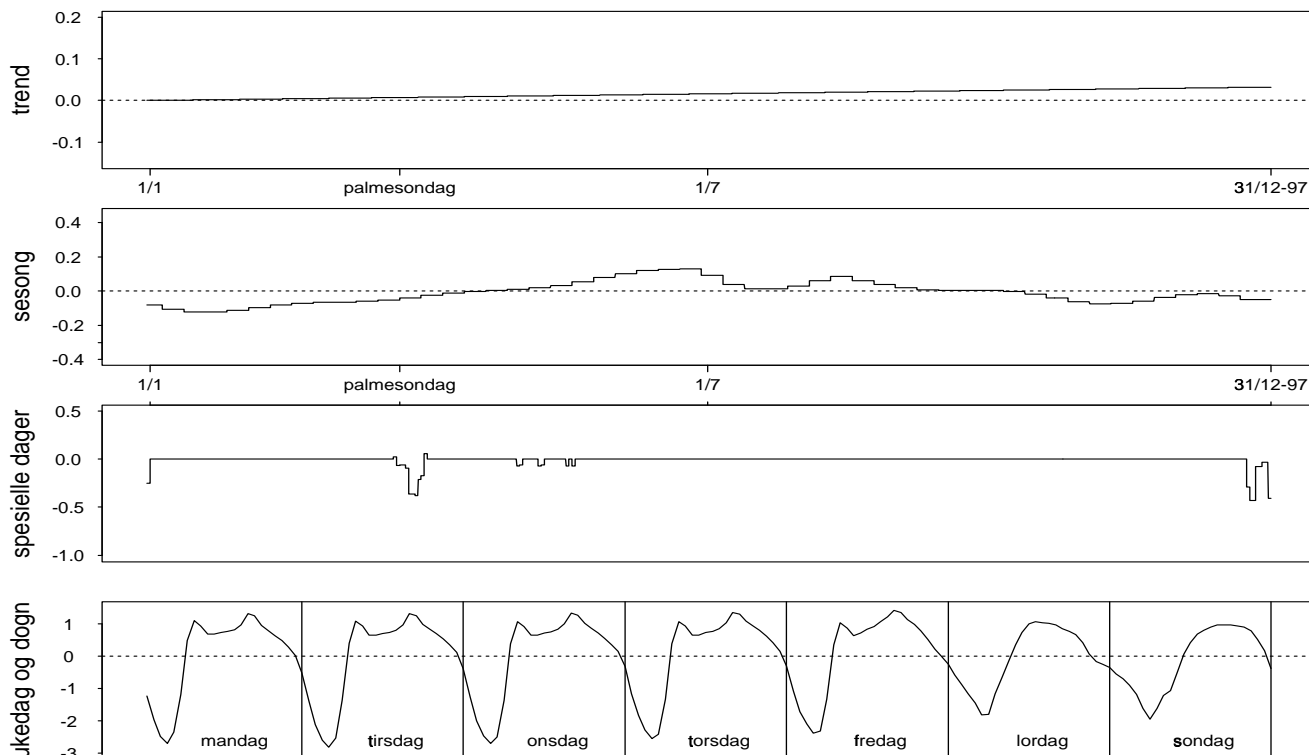
søndag 10-24

søndag 1-9

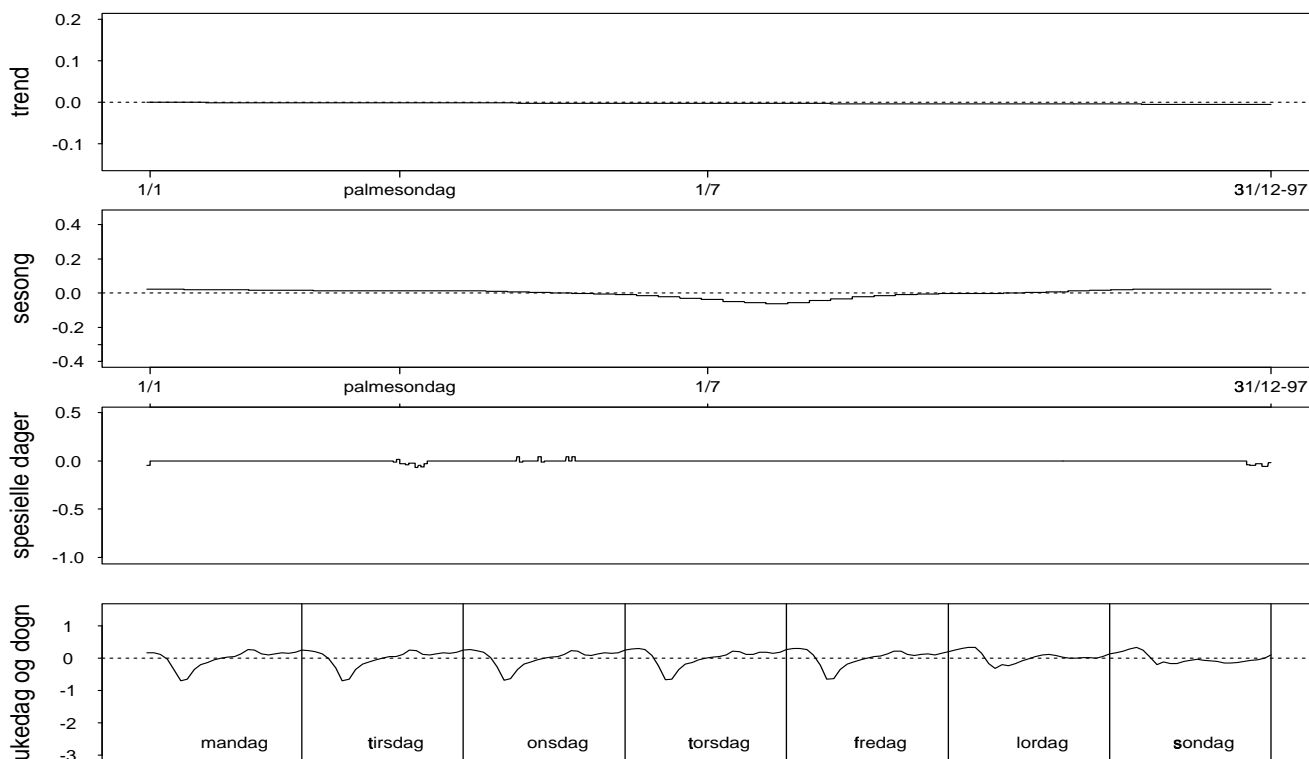
Figur 1 2 dekomponerte basiskurver for hver av lengdeklassene.
a)

2 dekomponerte basiskurver for lengde 0-5.5 m

1. basiskurve, dekomponert



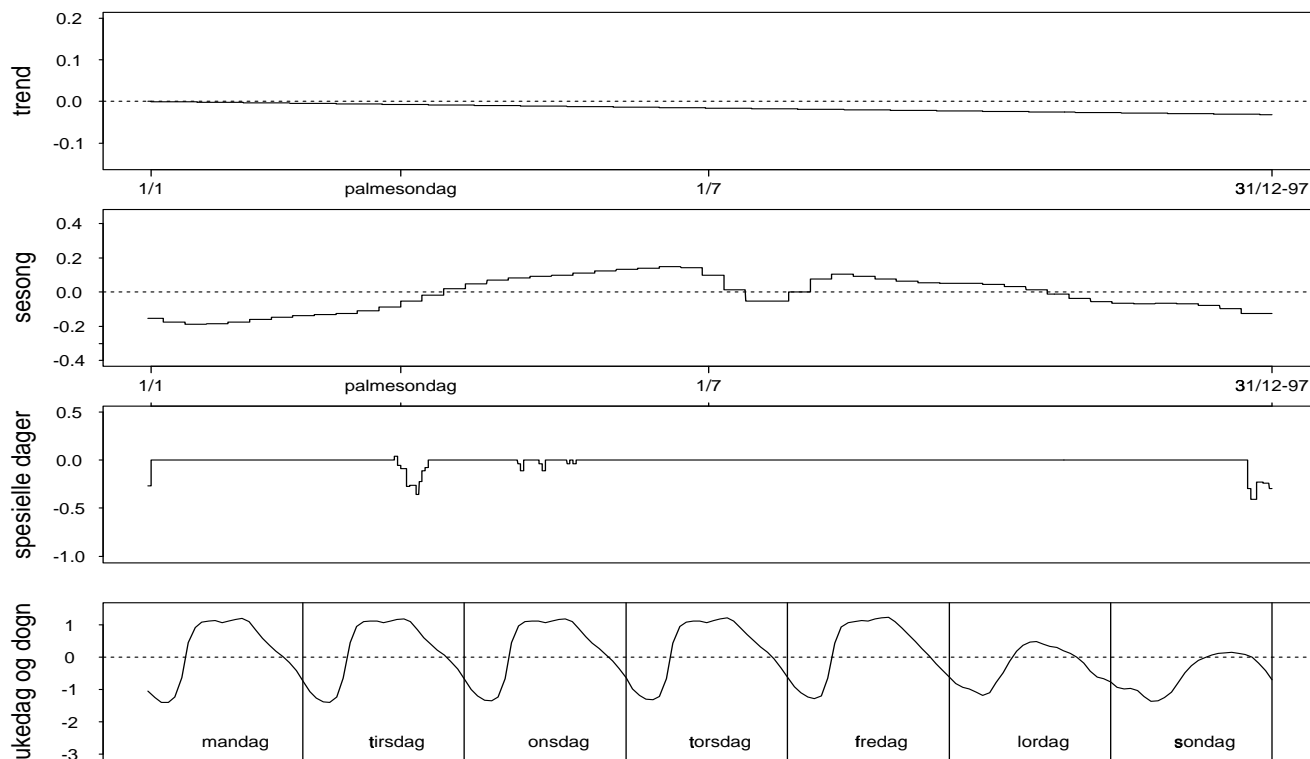
2. basiskurve, dekomponert



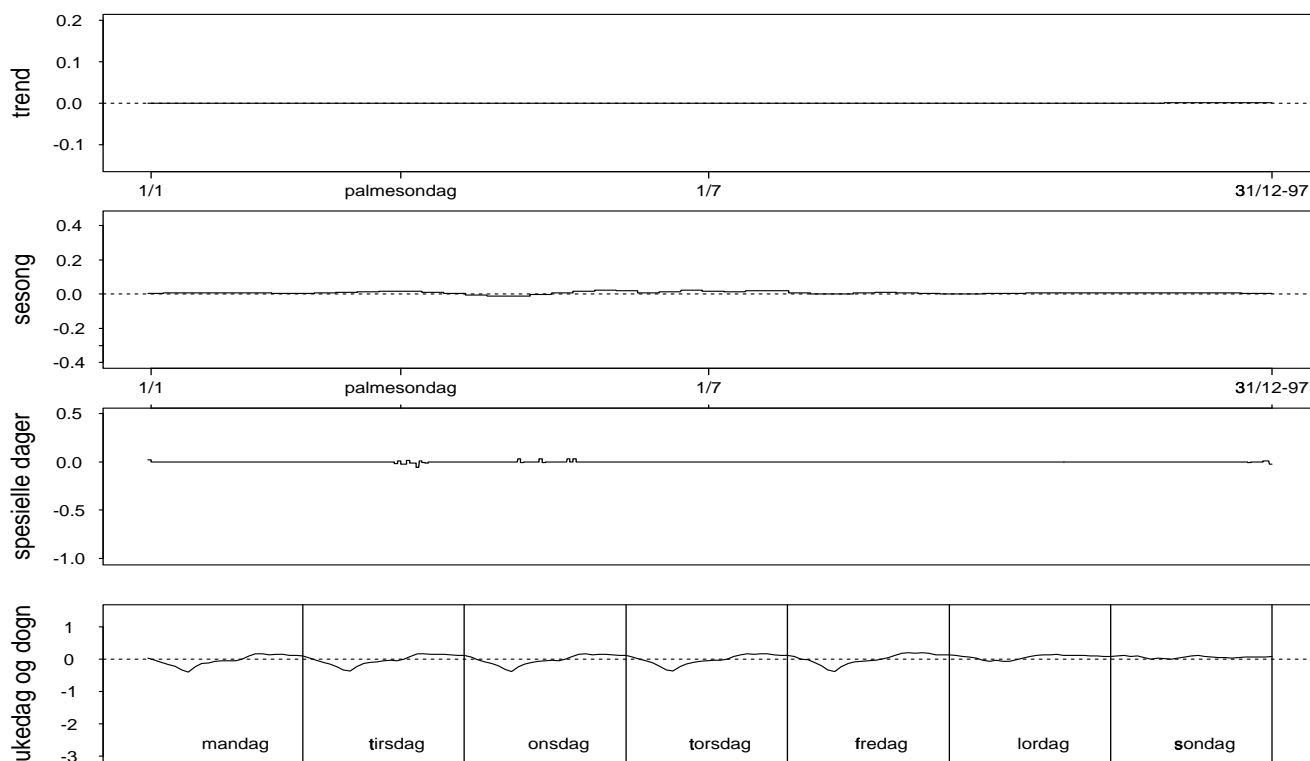
b)

2 dekomponerte basiskurver for lengde 5.6-7.6 m

1. basiskurve, dekomponert



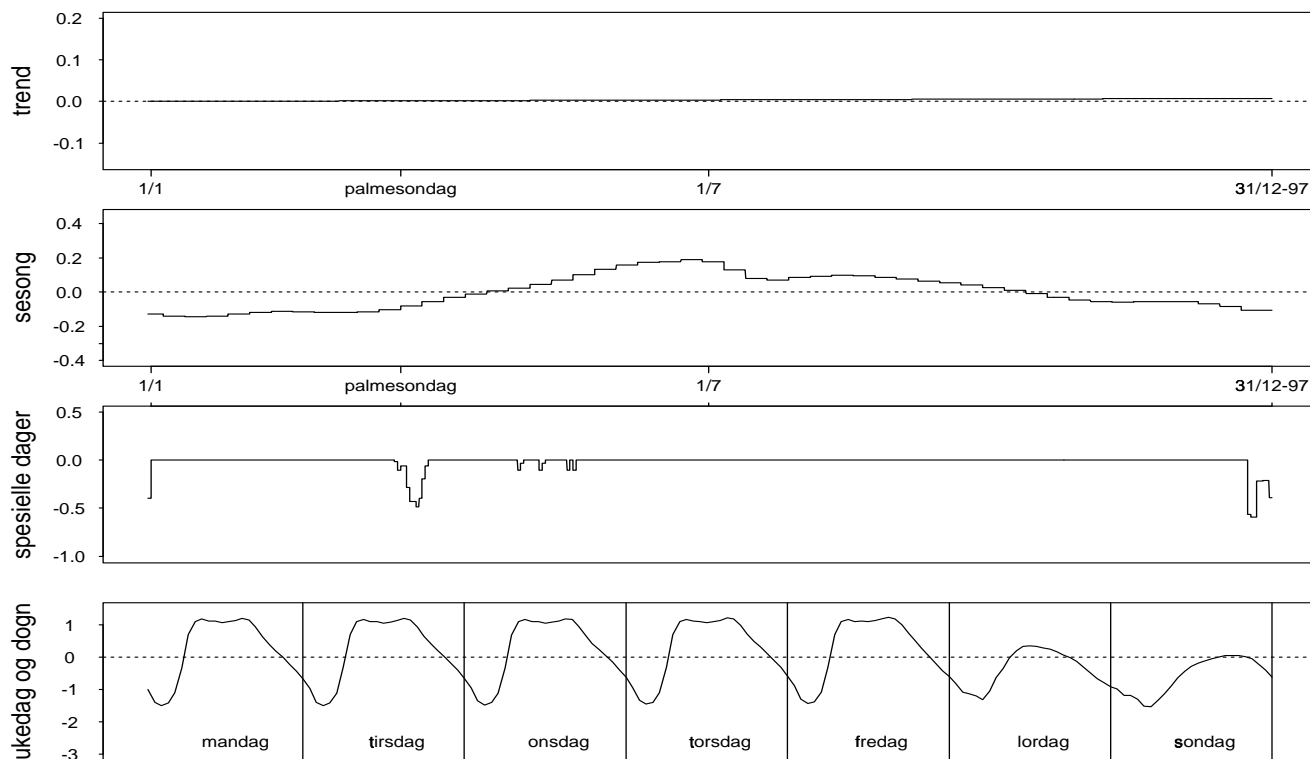
2. basiskurve, dekomponert



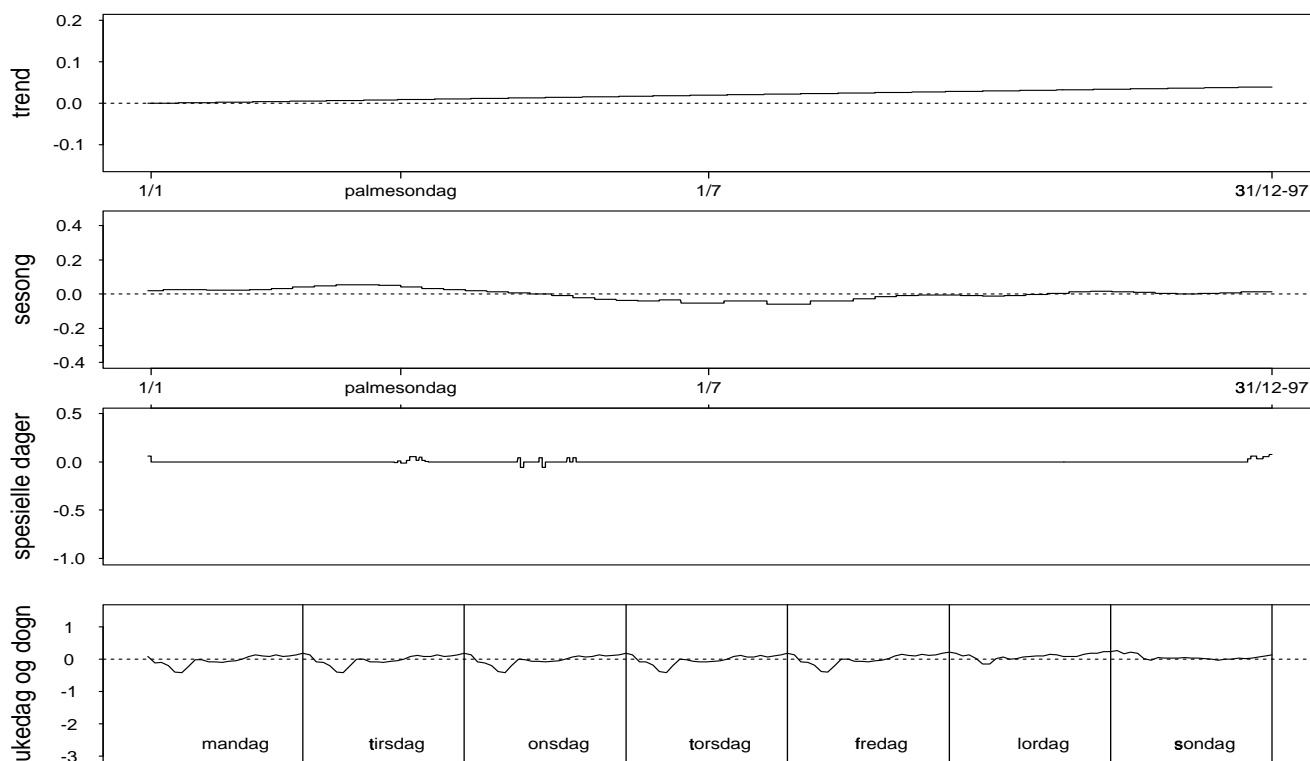
c)

2 dekomponerte basiskurver for lengde 7.7-12.4 m

1. basiskurve, dekomponert



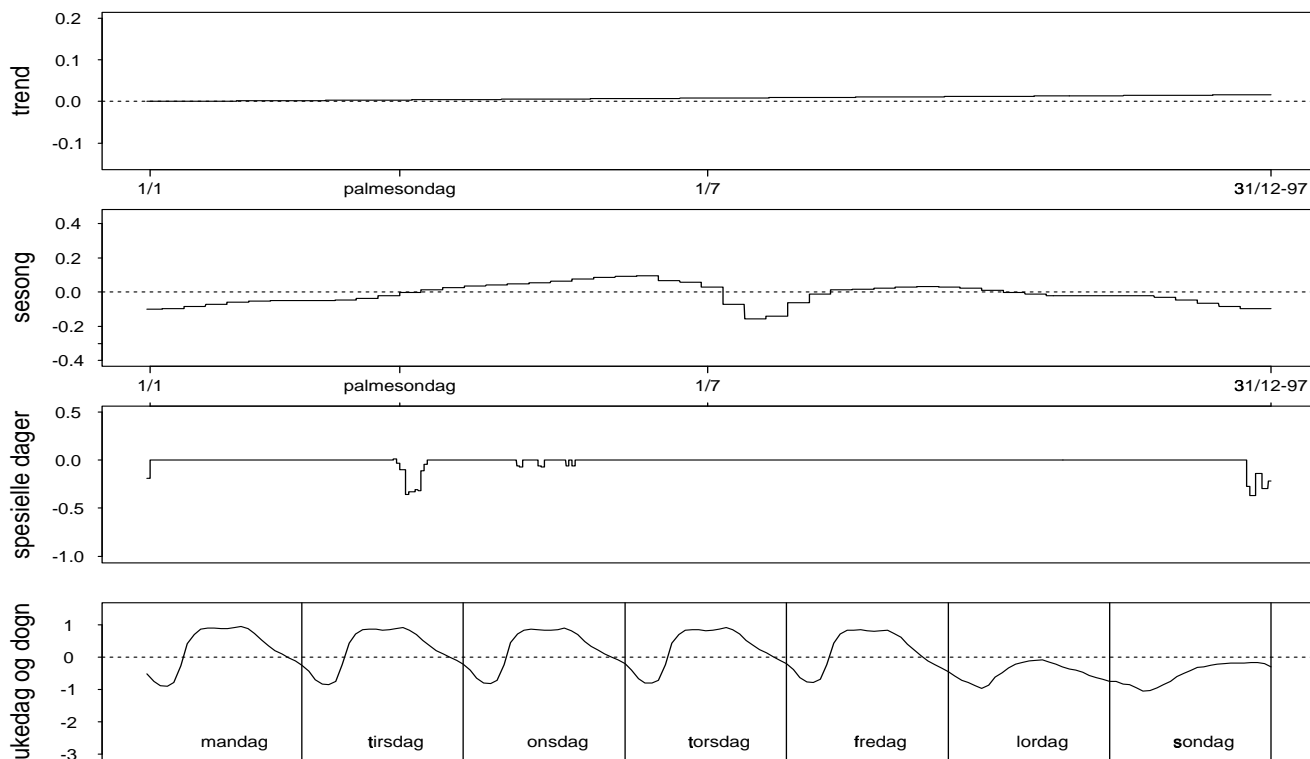
2. basiskurve, dekomponert



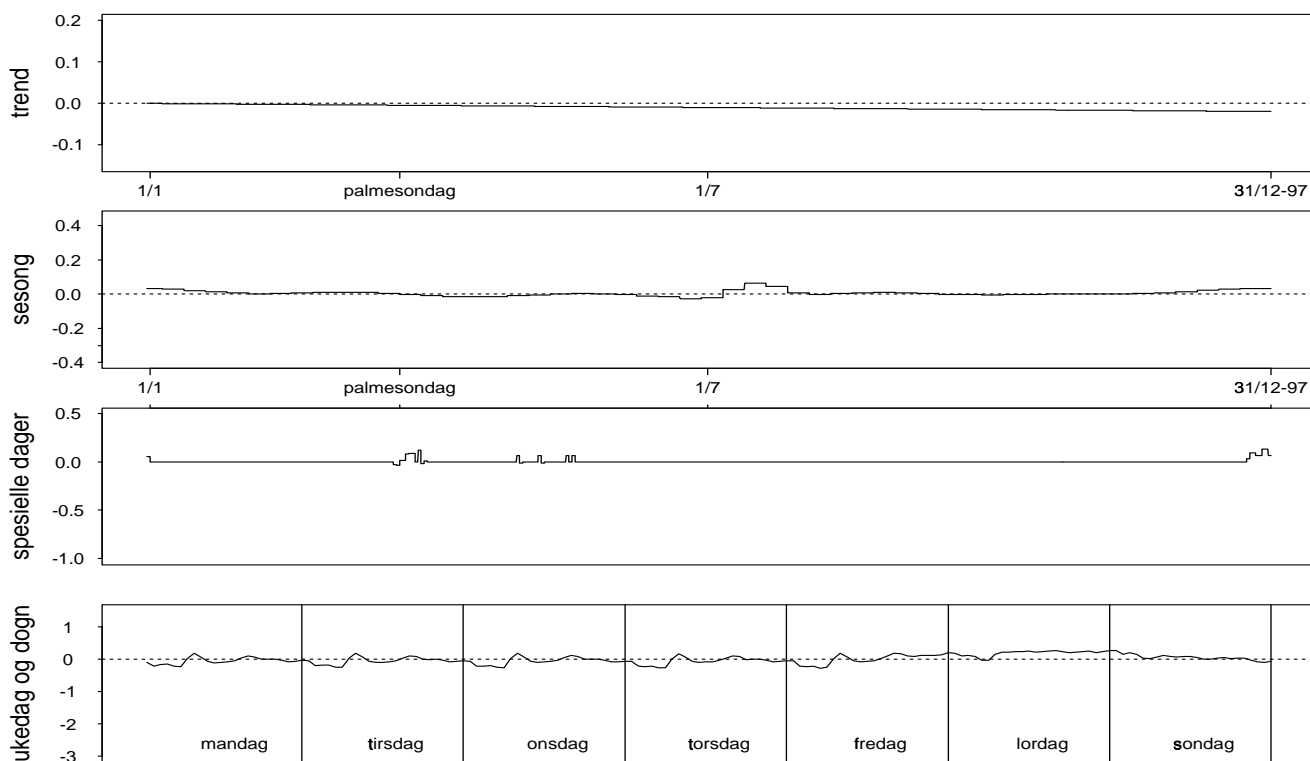
d)

2 dekomponerte basiskurver for lengde 12.5-15.9 m

1. basiskurve, dekomponert



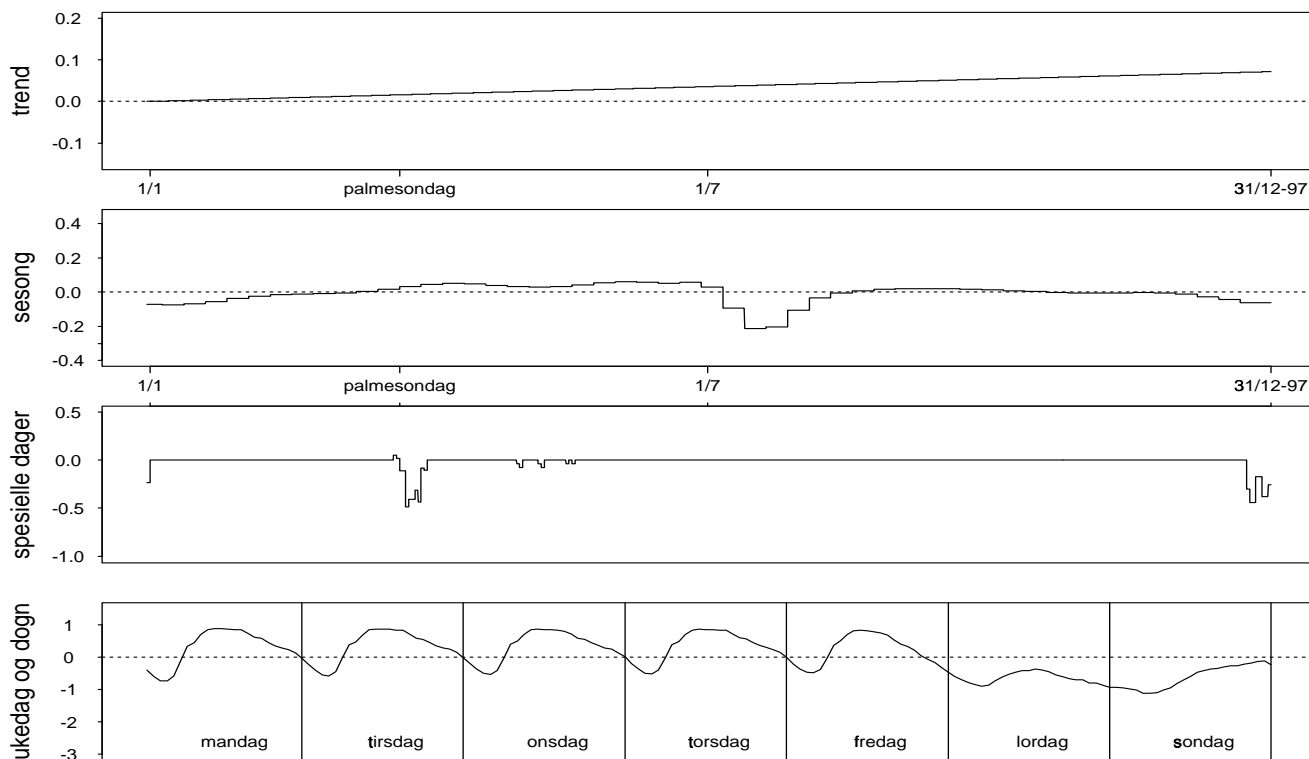
2. basiskurve, dekomponert



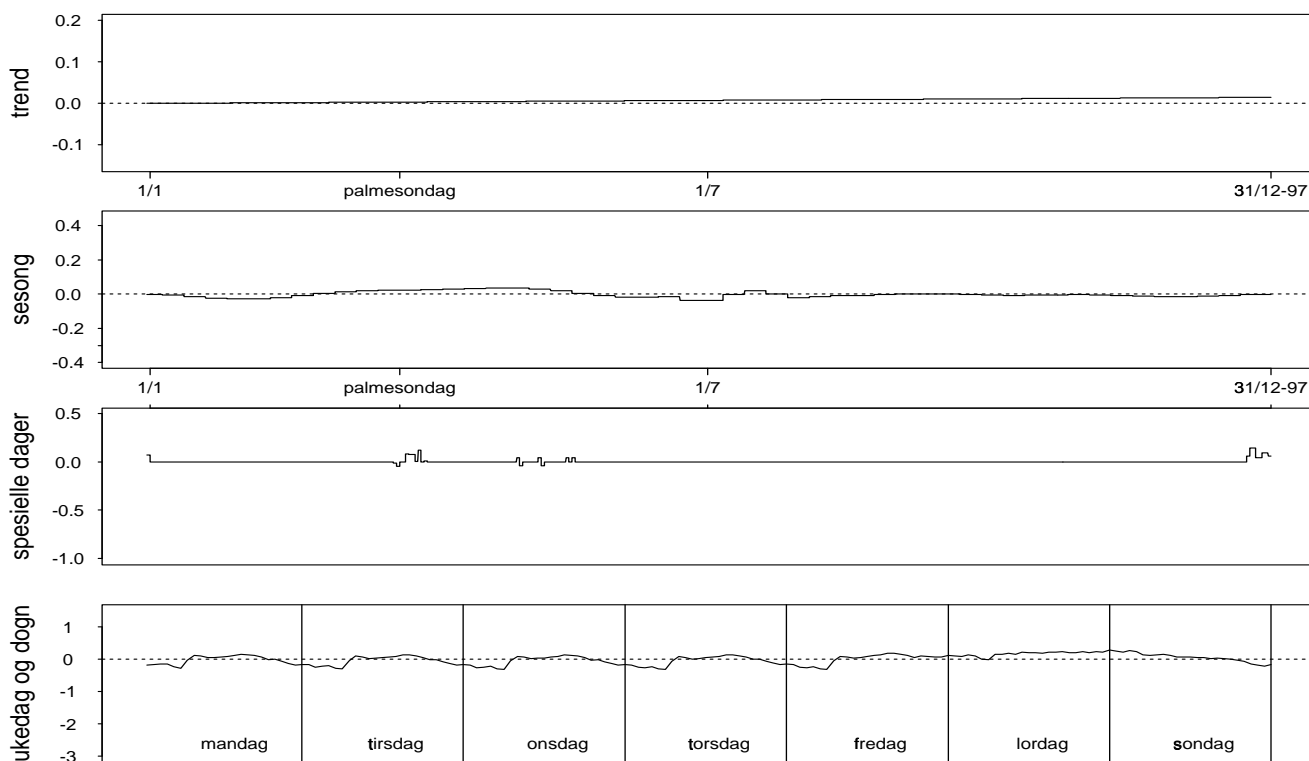
e)

2 dekomponerte basiskurver for lengde 16.0 m og lengre

1. basiskurve, dekomponert



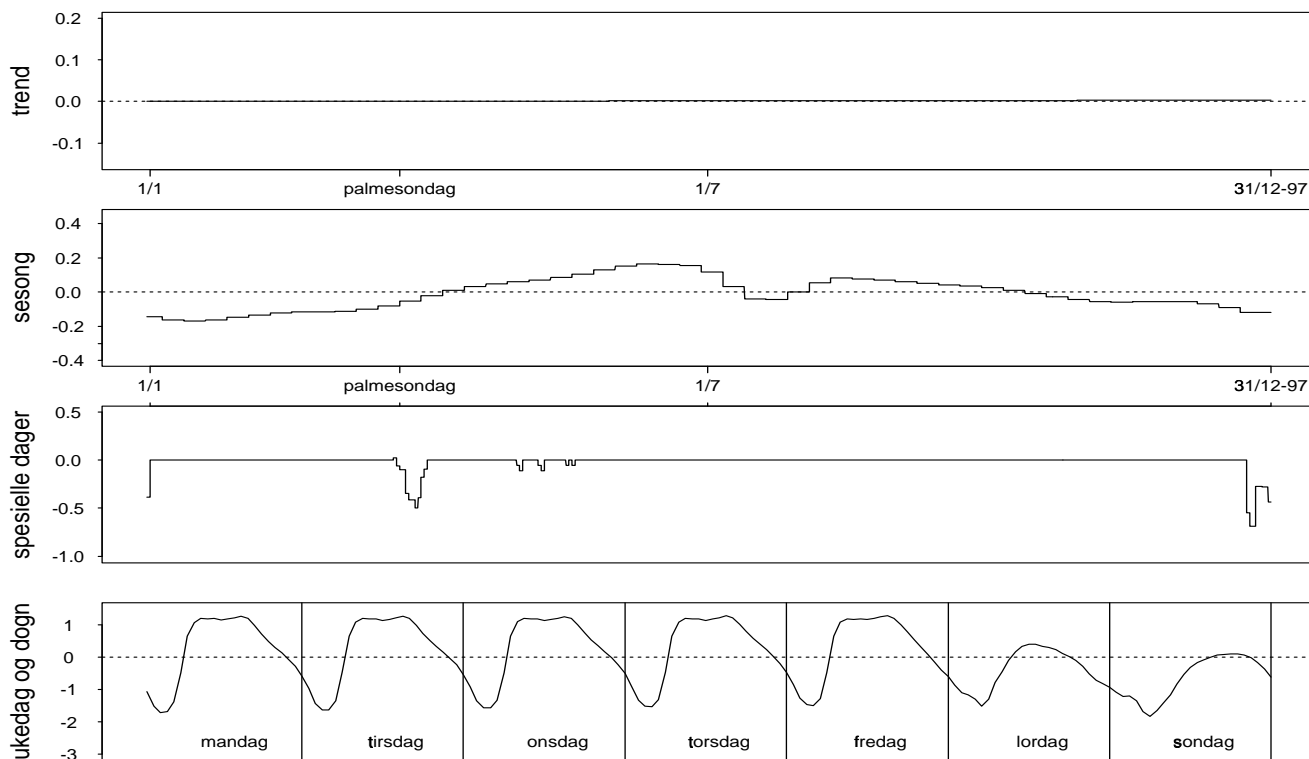
2. basiskurve, dekomponert



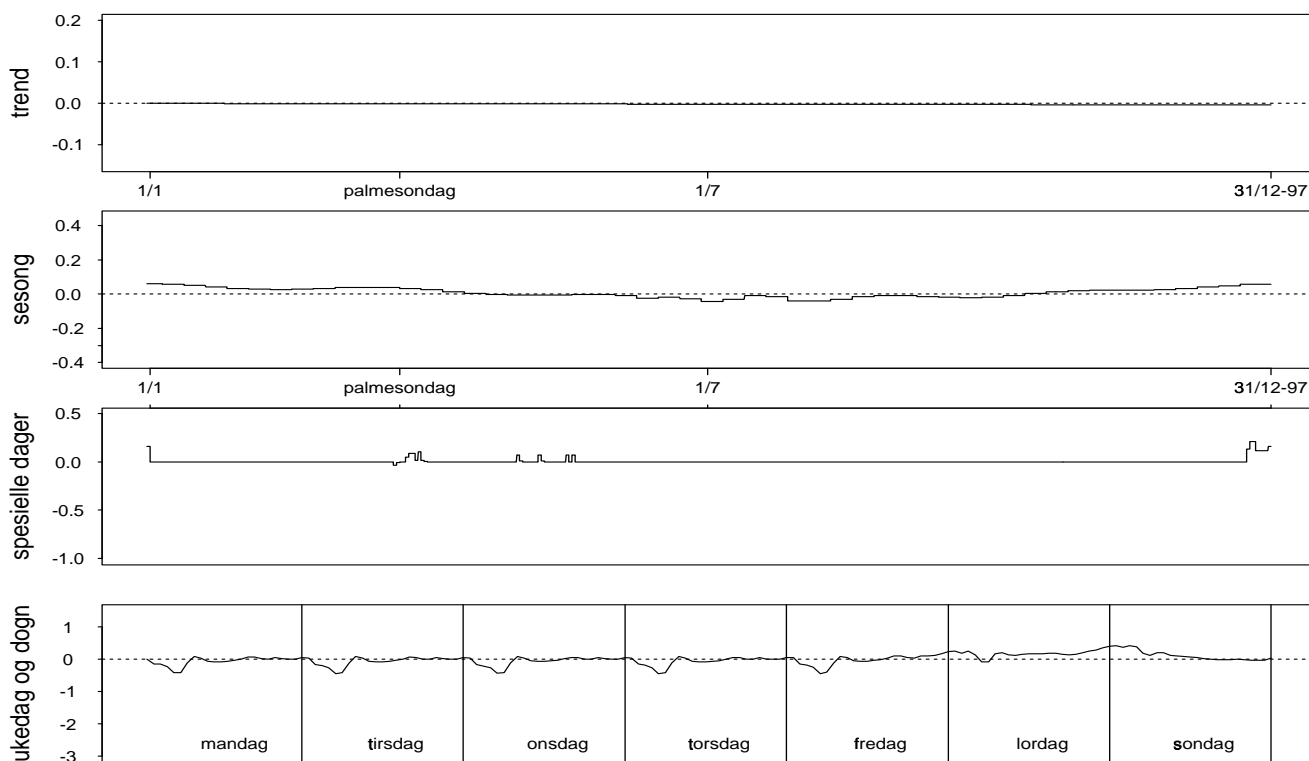
f)

2 dekomponerte basiskurver for lengde 5.6 m og lengre

1. basiskurve, dekomponert



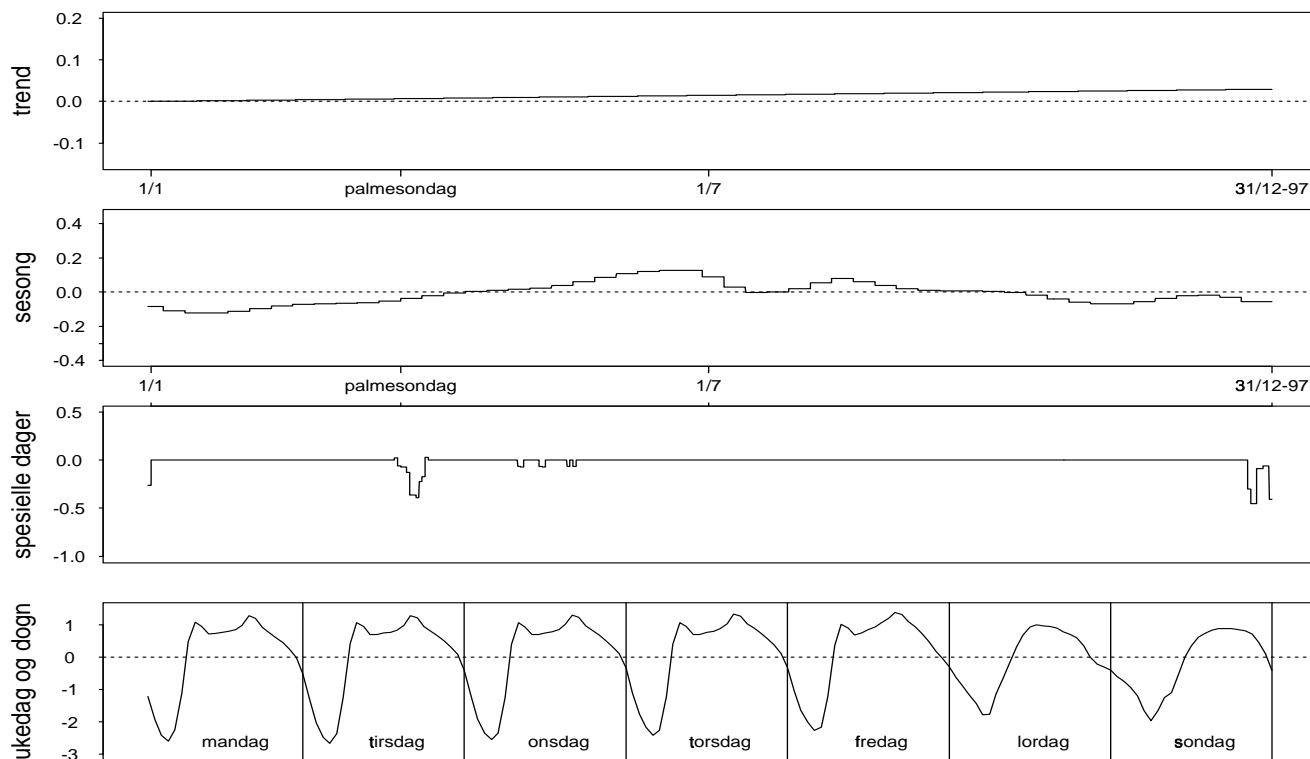
2. basiskurve, dekomponert



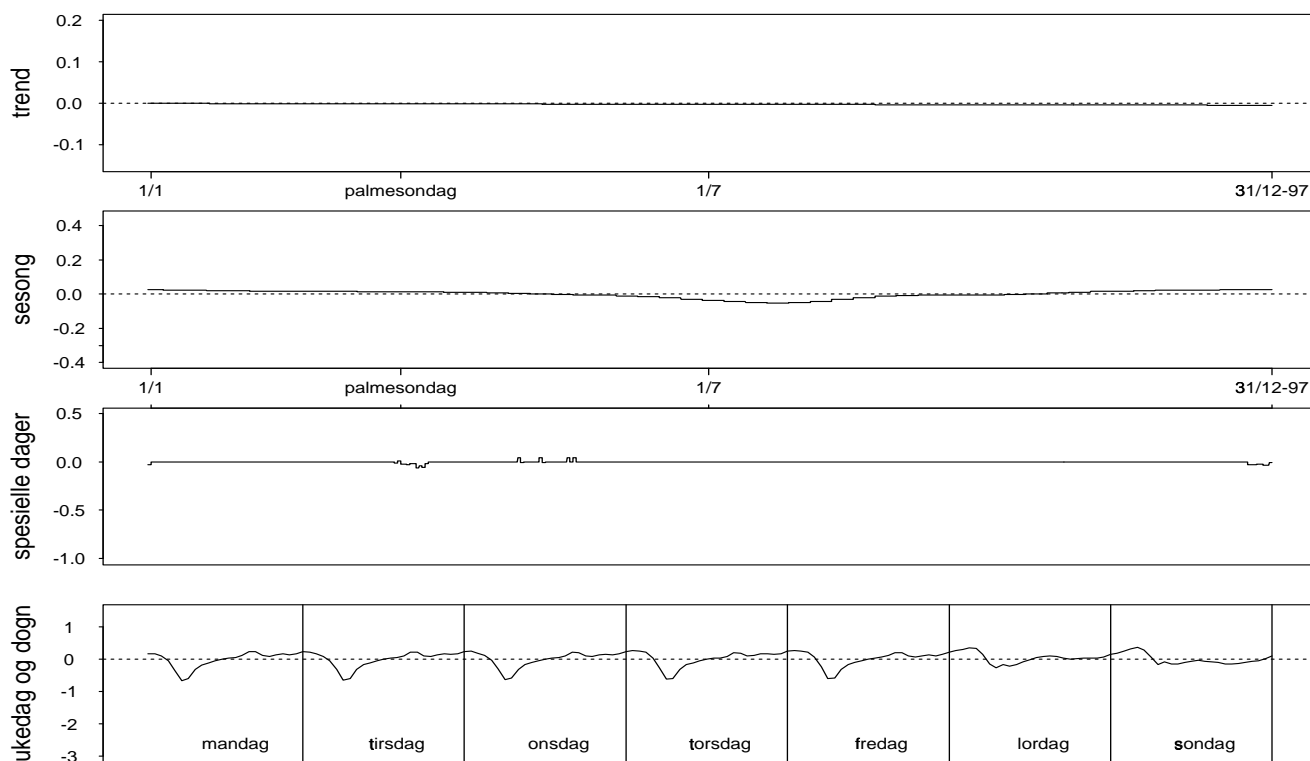
g)

2 dekomponerte basiskurver for alle lengder

1. basiskurve, dekomponert



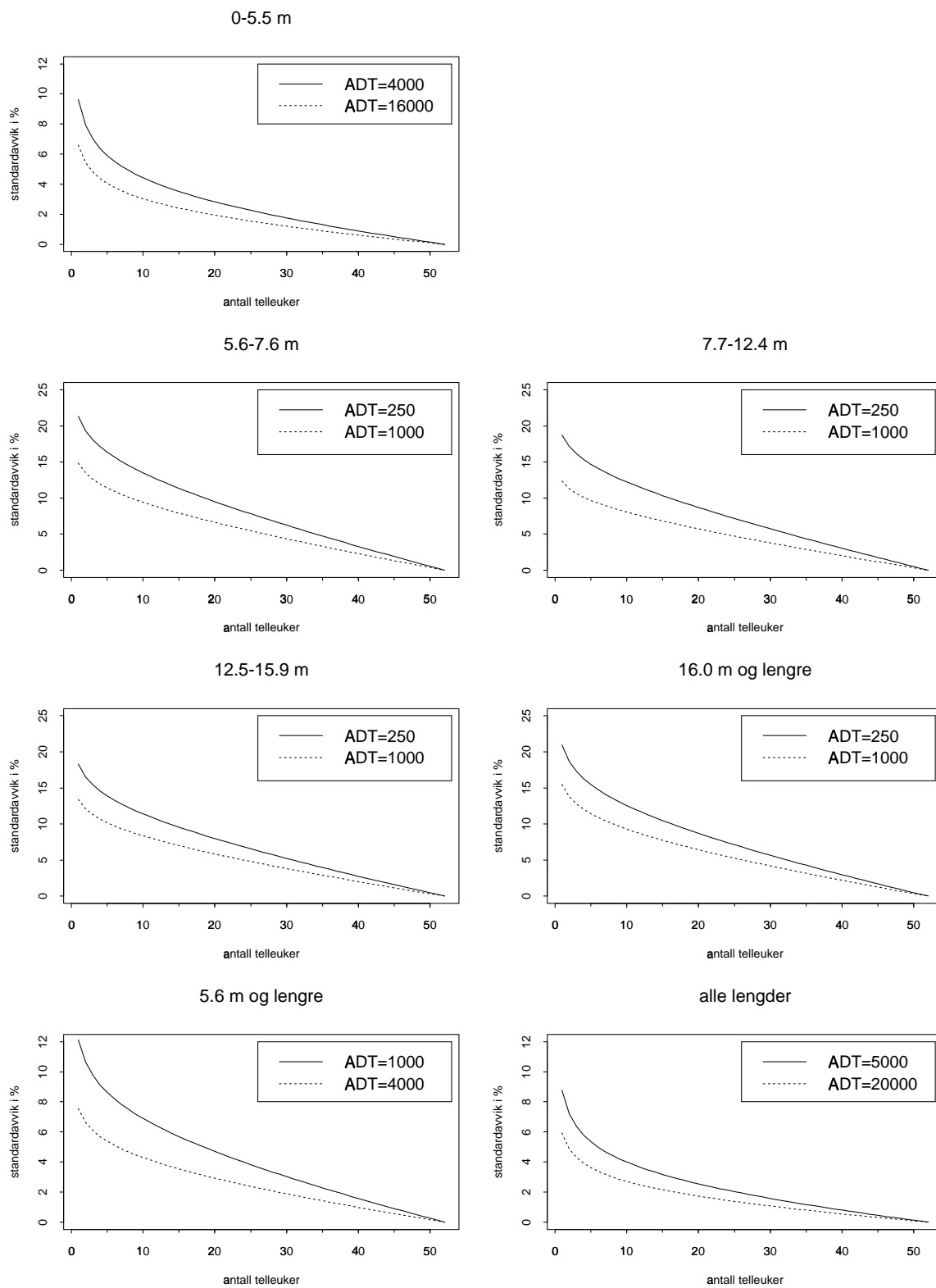
2. basiskurve, dekomponert



2.2 Usikkerhet i ÅDT-estimat

ÅDT-estimatene vil være usikre og det er viktig å tallfeste denne usikkerheten. Usikkerheten avhenger av lengdeklasse, antatt trafikkmengde og tilgjengelige telldata. Typisk vil usikkerheten minske når telleomfanget øker. Videre vil den *relative* usikkerheten være mindre for veilenker med stor trafikk enn for veilenker med lite trafikk. Vi definerer her relativ usikkerhet som standardavvik i ÅDT-estimatet dividert på sann ÅDT, Figur 2 viser hvordan relativ usikkerhet i % minker når telleperioden øker fra 1 til 52 uker. De heltrukne kurvene i hvert panel gjelder for en veilenke med ÅDT lik 4000 for lengdeklasse 1 og ÅDT lik 250 for hver av de fire neste lengdeklassene. Dermed er ÅDT for tunge biler 1000, mens total ÅDT er 5000. De stiplede kurvene gjelder for en veilenke med fire ganger så stor trafikk. Disse kurvene er beregna med kjent ÅDT. I praksis må dette erstattes med et estimat.

Figur 2 Relativ usikkerhet som funksjon av antall telleker.



2.3 Beregning av trafikkarbeid med usikkerhet

I tillegg til trafikk på et enkelt punkt eller en enkelt veilenke kan man være interessert i et samlemål for totaltrafikk, f. eks. i et geografisk område. Dette kalles trafikkarbeid, og en hensiktsmessig definisjon av trafikkarbeid vil her være en veid sum av all trafikk, hvor vektene øker med lengde på veilenkene og med størrelsen på bilene (større biler forurenses mer enn mindre biler). Anta at det i et område er n veilenker med lengder v_1, v_2, \dots, v_n , med tellinger for hver av disse. La w_1 til w_5 betegne vektene for de 5 lengdeklassene. La videre $l=6$ symbolisere tunge biler og $l=7$ symbolisere totalsum av biler, med tilsvarende vekter w_6 og w_7 . For veilenker hvor tellingene er foretatt inndelt i lengdeklasser settes w_6 og w_7 lik 0. For veilenker hvor bilene kun er registrert som tunge eller lette, settes w_2 til w_5 samt w_7 lik 0. For veilenker hvor kun totalsum av biler er registrert, settes w_1 til w_6 lik 0. Vektene avhenger altså av veilenke, selv om dette undertrykkes i notasjonen. La videre ÅDT_{li} betegne ÅDT for lengdeklasse l på veilenke i . Trafikkarbeid kan da defineres som

$$\text{trafikkarbeid} = \sum_{i=1}^n v_i \left(\sum_{l=1}^7 w_l \cdot \text{ÅDT}_{li} \right) \quad . \quad (2)$$

Trafikkarbeidet estimeres ved å erstatte alle ÅDT_{li} med sine tilhørende estimater. Usikkerheten til dette estimatet for trafikkarbeid avhenger av usikkerheten til de enkelte ÅDT-estimatene, og av korrelasjonen mellom dem. Kapittel 3.5 viser hvordan usikkerheten til det estimerte trafikkarbeid kan beregnes.

Del 2: Detaljert framstilling

Denne delen er tenkt kun til bruk for spesielt interesserte, blant annet ved implementering. Den er detaljert og teknisk skrevet og bruker en mer presis notasjon enn Del 1.

3 Beskrivelse av metoden basert på kombinasjon av basiskurver

3.1 Etablering av basiskurver

For hver veilenke modelleres antall biler pr. time innen hver lengdeklasse som en funksjon av tidspunktet. Trafikken dekomponeres i nivå, trend, sesongvariasjon over året, spesielle dager, variasjon over ukedagene og variasjon over døgnet. Modellen og metoden (reduisert rang regresjon) er i hovedtrekk de samme som er beskrevet i Aldrin (1998).

Modellen er en regresjonsmodell hvor responsvariablene er logaritmen til (antall biler +1). Konstanten 1 legges til fordi antall biler pr. time i praksis kan være 0, særlig for lengdeklassene over 5.5m. Responsvariablene modelleres som en lineær funksjon av en rekke forklaringsvariable som er angitt i Tabell 2. Modellen er dermed multiplikativ i original skala.

La t betegne en enkelt time, la y_t betegne logaritmen til (antall biler + 1) på en veilenke ved tid t , og la \mathbf{x}_t betegne de tilhørende forklaringsvariablene. En redusert rang regresjonsmodell (se f. eks. Davies og Tso 1982) med rang k kan for hver veilenke skrives

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 \beta_1^T \mathbf{x}_t + \dots + \alpha_k \beta_k^T \mathbf{x}_t + \varepsilon_t \quad (3)$$

hvor α -ene er skalarer knytta til hver respons (veilenke), mens β -ene er vektorer felles for alle responser. Videre er ε_t et feilledd, mens T betyr transponert. Ved å definere i -te basiskurve som $b_{it} = \beta_i^T \mathbf{x}_t$ kan dette også skrives

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 b_{1t} + \dots + \alpha_k b_{kt} + \varepsilon_t. \quad (4)$$

Tabell 2 Forklaringsvariable brukt til å danne basiskurver.

-
- Lineær trend
 - Sesongvariasjon over året, som består av 17 forklaringsvariable: 6 par sinus- og cosinus-funksjoner med periode 1, 1/2, ... , 1/6 år, 1 sinusfunksjon med periode 18 uker med virkning fra og med uke 25 og til og med uke 32, og 2 par sinus- og cosinus-funksjoner med periode 8 uker og 4 uker med virkning i same periode.
 - Spesielle dager, 17 indikatorvariable: 1) ekstra fridag på hverdag, 2) inneklemt dag, 3) julaften, 4) 1. og 2. juledag, 5) romjul hverdag, 6) romjul helg, 7) nyttårsaften, 8) nyttårsdag, 9) lørdag før palmesøndag, 10) palmesøndag, 11) mandag og tirsdag i påskeuka, 12) onsdag i påskeuka, 13) skjærtorsdag og langfredag, 14) påskeaften, 15) 1. påskedag, 16) 2. påskedag, 17) tirsdag etter påske.
 - Ukedagvariasjon og døgnvariasjon. $7 \times 24 = 168$ indikatorvariable, en for hver time for hver enkelt av ukedagene. Helligdager som faller på hverdager er kodet som søndager, men er i tillegg inkludert i de spesielle dagene.
-

Denne modellen estimeres ut fra de 128 veilenkene i datasettet av nivå 1 punkter. Estimeringa skjer ved først å estimere nivået til hver responsvariabel ved å sentrere disse, og deretter utføre en redusert rang regresjon. Basiskurvene er ordna med minkende grad av viktighet. Den første basiskurven er en gjennomsnittskurve for alle veilenker i datasettet, mens de neste basiskurvene er å betrakte som justeringer av den første kurven.

Basiskurvene er vist i Figur 1 i Del 1 og diskutert der.

3.2 ÅDT-beregninger basert på et gitt antall basiskurver

For et gitt år skal vi nå estimere ÅDT på en veilenke hvor vi ikke har fullstendige telledata. De timene i året vi har tellinger for vil vi kalle telleperioden. De resterende timene kaller vi prediksjonsperioden, og vi skal estimere eller predikere trafikken i disse timene. Ut fra dataene i telleperioden estimeres en modell basert på en kombinasjon av et gitt antall basiskurver, som angitt i ligning (1). Deretter predikeres trafikken for alle timene i prediksjonsperioden. ÅDT-estimatet beregnes deretter ved å summere observert eller predikert trafikk over alle timene i året, og dele på antall dager i året.

Hvor mange basiskurver som bør inngå i kombinasjonen vil avhenge av hvor mye telledata som er tilgjengelig til å bestemme koeffisientene i (1). Videre vil optimalt antall basiskurver kunne variere med lengdeklasser. La nå a_t betegne antall biler i time t , og $\hat{a}_t(k)$ betegne det tilhørende estimat basert på bruk av k basiskurver. La

videre b_{1t} , b_{2t} , b_{3t} osv. angi basiskurvene i time t . De ulike mulighetene for opptil 2 samt generelt k basiskurver er angitt i Tabell 3, hvor $\hat{\alpha}$ over α -ene betyr at de er estimert fra de tilgjengelige målingene.

Tabell 3 Mulige kombinasjoner av basiskurver.

0 basiskurver med estimerte koeffisienter, men 1 med fast koeffisient	$\hat{a}_t(0) = \hat{c} \cdot \exp(1b_{1t})$
1 basiskurve med estimert koeffisient	$\hat{a}_t(1) = \hat{c} \cdot \exp(\hat{\alpha}_1 b_{1t})$
2 basiskurver med estimerte koeffisienter	$\hat{a}_t(2) = \hat{c} \cdot \exp(\hat{\alpha}_1 b_{1t} + \hat{\alpha}_2 b_{2t})$
k basiskurver med estimerte koeffisienter	$\hat{a}_t(k) = \hat{c} \cdot \exp(\hat{\alpha}_1 b_{1t} + \dots + \hat{\alpha}_k b_{kt})$

I den første ligninga er α_1 fastsatt til 1, fordi basiskurvene er normert slik at den mest typiske verdien for α_1 er 1. Sjøl om den faktisk tar i bruk en basiskurve, nummererer vi denne ligninga med $k=0$.

Estimatene er basert på følgende modell hvor forventninga til a_t er gitt ved

$$E(a_t) = c \cdot \exp(\alpha_1 b_{1t} + \dots + \alpha_k b_{kt}). \quad (5)$$

Her står $E(a_t)$ for forventninga til a_t . Ideelt sett burde koeffisientene vært estimert ved en Poisson-regresjon med logaritminsk link-funksjon, alternativt med en ikke-lineær optimeringsmetode. Vi har ikke hatt rom for å gjøre det, og har i stedet brukt nedenstående metode. Den er god nok når antall biler pr. time er endel større enn 0, men kan gi dårlige resultater for små veier hvor antall biler pr. time kan være nær 0.

Koeffisientene estimeres i stedet via modell (4) på logaritmiske data, hvor respon- sen er definert ved $y_t = \log(a_t + 1)$. Minste kvadraters estimerer $\hat{\alpha}$ finnes ved hjelp av lineær regresjon. Ved tilbaketransformering ser vi bort 1-tallet. Det er uheldig for små veier. Konstanten c estimeres ved

$$\hat{c} = \frac{1}{\text{antall timer i telleperioden}} \sum_{t \in \text{telle}} (a_t / \exp(\hat{\alpha}_1 b_{1t} + \dots + \hat{\alpha}_k b_{kt})), \quad (6)$$

hvor summen tas over alle timene i telleperioden.

Nå finnes det målinger a_t for telleperioden, og estimerer \hat{a}_t for prediksjonsperio- den. Dermed estimeres ÅDT som summen av a_t -ene og \hat{a}_t -ene over et år delt på

antall døgn i året. La $\hat{A}DT(k)$ betegne et $\hat{A}DT$ -estimat basert på k basiskurver. Da er altså $\hat{A}DT(k)$ gitt ved

$$\hat{A}DT(k) = \frac{1}{\text{antall dager i året}} \cdot \left(\sum_{t \in \text{telle}} a_t + \sum_{t \in \text{pred}} \hat{a}_t \right), \quad (7)$$

hvor den første summen går over telleperioden, og den andre over prediksjonsperioden. La videre TDT betegne døgntrafikk i telleperioden, gitt ved

$$TDT = \frac{1}{\text{antall dager i telleperioden}} \cdot \left(\sum_{t \in \text{telle}} a_t \right). \quad (8)$$

La videre PDT(k) betegne predikert døgntrafikk (basert på k basiskurver) i prediksjonsperioden, gitt ved

$$PDT(k) = \frac{1}{\text{antall dager i prediksjonsperioden}} \cdot \left(\sum_{t \in \text{pred}} \hat{a}_t \right), \quad (9)$$

og la PDT betegne den tilsvarende sanne, men ukjente verdi. $\hat{A}DT(k)$ kan da også skrives

$$\begin{aligned} \hat{A}DT(k) &= \frac{\frac{\text{ant. timer i telleper.}}{24} \cdot TDT + \frac{\text{ant. timer i pred.per.}}{24} \cdot PDT(k)}{\text{antall dager i året}} \\ &= \frac{\text{ant. timer i telleper.} \cdot TDT + \text{ant. timer i pred.per.} \cdot PDT(k)}{\text{antall timer i året}} \end{aligned} \quad (10)$$

Merk at $\text{antall timer i året} = \text{ant. timer i telleper.} + \text{ant. timer i pred.per.}$.

Ved få data, eller om dataene inneholder noen ekstreme (og kanskje gale verdier), kan PDT-estimatene og dermed også $\hat{A}DT$ -estimatene bli ustabile for $k \geq 1$. Vi har derfor modifisert prosedyren over på to måter:

i) Når det gjelder α_1 er det kun meningsfylt med positive verdier. For $k=0$ er dette automatisk oppfylt, siden α_1 da er fastsatt til å være 1. For $k=1$ settes $\hat{\alpha}_t$ til 0 hvis regresjonsestimatet er negativt. Tilsvarende modifikasjon er ikke gjort for $k \geq 2$, da dette er mer komplisert.

ii) PDT(k) justeres i forhold til PDT(0) slik: Hvis $PDT(k) > 3 \cdot PDT(0)$ settes $PDT(k) = 3 \cdot PDT(0)$ og hvis $PDT(k) < (1/3) \cdot PDT(0)$ settes $PDT(k) = (1/3) \cdot PDT(0)$.

3.3 Valg av antall basiskurver

Det gjelder å velge antall basiskurver k slik at trafikken modelleres mest mulig nøyaktig, dvs. k må være stor nok. Samtidig må overtilpasning unngås, dvs. k må ikke være for stor i forhold til mengden av telldata vi har. Mengde telldata betyr ikke kun hvor mange timer vi har tellinger for, men også for hvilke tidspunkter tellingene er foretatt. Typisk er det mer informasjon i tellinger foretatt om dagen enn om natta, og likeledes vil tellinger på hverdager være mer informative enn tellinger i helgene. Ut fra alle tellingene i telleperioden beregnes antall talte timer innen 9 bestemte tidsperioder. Ut fra dette definerer vi variablene z_1 til z_9 angitt i Tabell 4.

Tabell 4 Forklaringsvariable i modeller for usikkerhet i PDT-estimer.

$z_1 = 0.1 +$ antall telletimer på hverdager i timene 8-9

$z_2 = 0.1 +$ antall telletimer på hverdager i timene 10-15

$z_3 = 0.1 +$ antall telletimer på hverdager i timene 16-17

$z_4 = 0.1 +$ antall telletimer på hverdager i timene 7 samt 18-24

$z_5 = 0.1 +$ antall telletimer på hverdager i timene 1-6

$z_6 = 0.1 +$ antall telletimer på lørdager i timene 10-24

$z_7 = 0.1 +$ antall telletimer på lørdager i timene 1-9

$z_8 = 0.1 +$ antall telletimer på søndager i timene 10-24

$z_9 = 0.1 +$ antall telletimer på søndager i timene 1-9

Antall basiskurver k velges separat for hver lengdeklasse. For en gitt lengdeklasse gjøres dette etter følgende prosedyre:

La $e_k = \text{PDT} - \text{PDT}(k)$ være feilen i et PDT-estimat basert på k basiskurver. Vi ønsker denne feilen så liten som mulig. Vi formulerer det som at vi ønsker å minimere den forventede kvadratiske feil (betegnes med $E(e_k^2)$). Vi har i en tidligere undersøkelse (Aldrin og Follestad 1997) vist at forventningskjevheten er liten, og vi neglisjerer derfor den. Dermed er $E(e_k^2) = \text{Var}(\text{PDT}(k))$, der "Var" står for varians og tilsvarende $\sqrt{E(e_k^2)} = \text{Std}(\text{PDT}(k))$ der "Std" står for standardavvik.

Vi ønsker altså å minimere $\text{Std}(\text{PDT}(k))$. Det gjøres ved først å modellere standardavviket som en funksjon av trafikkmengde, tilgjengelige telldata og av antall basiskurver k . Deretter velges den k som gir minst standardavvik. For en gitt $k \leq 8$ har vi modellert $\text{Std}(\text{PDT}(k))$ som en funksjon på formen

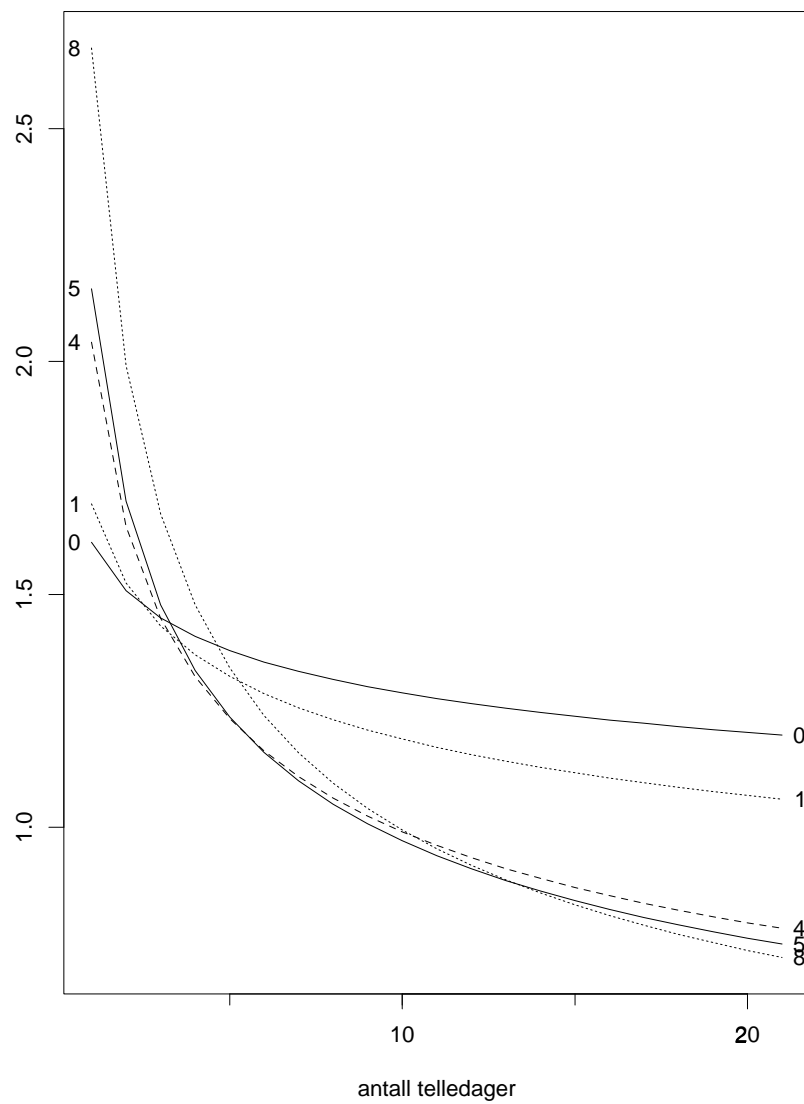
$$\text{Std}(\text{PDT}(k)) = \sqrt{c \cdot \text{PDT}^\beta \cdot z_1^{\gamma_1} \cdot \dots \cdot z_9^{\gamma_9}} \quad (11)$$

Koeffisientene c og γ -ene er separate for hver k . Koeffisienten β er fastsatt til 1.5 for alle k (se kapittel 5 for en begrunnelse). Verdien 1.5 på β betyr at usikkerheten øker med økende trafikkvolum (altså økende PDT), men den *relative* usikkerheten $\text{Std}(\text{PDT}(k))/\text{PDT}$ minker med økende trafikkvolum. Nå er jo PDT ukjent, men den er lik for alle k . Dermed trenger man ikke kjenne PDT for å kunne velge k ; man velger den k som minimerer $\text{Std}(\text{PDT}(k))/\sqrt{\text{PDT}^\beta}$. Den optimale k vil være en funksjon av z -ene.

Koeffisientene er angitt i Tabell 8 i Appendix B. Beregningene som ligger bak er beskrevet i kapittel 5. I hovedtrekk er det slik at γ -koeffisientene er negative. Dermed minsker usikkerheten når antall telletimer øker, noe som er rimelig.

Den beskrevne prosedyren brukes til å velge en separat k for hver lengdeklasse. Poenget er altså at det ved få telletimer lønner seg å bruke liten k , mens ved mange telletimer bør k være større. Figur 3 viser hvordan $\text{Std}(\text{PDT}(k))/\text{PDT}$ utvikler seg når antall telledager øker fra 1 til 21, for $k = 0, 1, 4, 5, 8$. En telledag er her et kunstig begrep definert som $1/7$ uke, slik at alle timer i de 9 periodene er representert proporsjonalt med hvor ofte de forekommer i en hel uke. For en eller to telledager vil det lønne seg å velge $k = 0$, og for tre telledager bør k velges lik 1. Når antall telledager øker ytterligere bør man etterhvert velge $k = 4$ deretter 5 og til slutt 8. Dette illustrerer at metoden i hovedsak virker etter hensikten. Men merk at kurvene for $k = 2, 3, 6$ og 7 ikke er vist. Det er fordi det aldri er best å velge en av disse. Dette er en svakhet ved metoden, som burde og kunne vært tatt hensyn til ved estimering av koeffisientene c og γ -ene, men vi har i dette prosjektet ikke hatt anledning til å følge opp dette.

Figur 3 Std(PDT(k))/PDT for lengdeklasse 1 og $k = 0, 1, 4, 5, 8$ som funksjon av antall telledager.



3.4 Usikkerhet i ÅDT-estimat

La nå $\hat{A}DT(d)$ være et $\hat{A}DT$ -estimat basert på et antall basiskurver som er valgt ut fra data som angitt i kapittel 3.3. $\hat{A}DT(d)$ er i henhold til ligning (10) satt sammen av TDT som er kjent og av PDT(d) som er ukjent. Usikkerheten i $\hat{A}DT(d)$ er dermed bestemt av usikkerheten i PDT(d). La nå $e_d = PDT - \hat{P}DT(d)$ være feilen i PDT-estimatet. Vi ønsker å anslå usikkerheten til PDT-estimatet, og gjør det ved å modellere $Std(PDT(d))$ som en funksjon av lengdeklasse, antatt trafikkmengde og tilgjengelige telledata. I ligning (11) i kapittel 3.3 modellerte vi usikkerheten i PDT(k) for en gitt k. Men det å velge k ut fra data medfører en ekstra usikkerhet. Vi har derfor laget modeller for $Std(PDT(d))$, som tar vare på usikkerheten forbundet med valg av k. Disse modellene er av samme form som (11). Det er nå en modell for hver lengdeklasse. Det er ingen eksplisitt avhengighet av k. Koeffisientene er nå estimert på en slik måte at usikkerheten knytta til valg av k er ivaretatt (se kapittel 5.3) og angitt i Tabell 8 i Appendix B. I motsetning til i forrige kapittel er også β ulik fra lengdeklasse til lengdeklasse. I praksis må PDT nå erstattes med estimatet PDT(d). Ut fra ligning (10) er standardavviket til $\hat{A}DT(d)$ gitt ut fra standardavviket til PDT(d) ved

$$Std(\hat{A}DT(d)) = \frac{\text{ant. timer i pred.per.}}{\text{antall timer i året}} \cdot Std(PDT(d)). \quad (12)$$

Standardavviket til PDT(d) er gitt av (11), innsatt de rette koeffisientverdiene fra Tabell 8. Typisk minker usikkerheten når antall telletimer øker. Videre er det slik at tellinger på hverdager bidrar til å minske usikkerheten mer enn tellinger i helger. Figur 2 viser et eksempel på hvordan den relative usikkerheten minker når telleomfanget øker.

3.5 Beregning av trafikkarbeid i et område, med usikkerhetsanslag

Vi har i kapittel 2.3 definert trafikkarbeid ved ligning (2). Trafikkarbeidet estimeres ved å erstatte sann $\hat{A}DT_{\bar{i}}$ med et estimatet $\hat{A}DT(d)_{\bar{i}}$, hvor antall basiskurver er valgt ut fra data etter den angitte prosedyren og altså kan variere avhengig av lengdeklasse og tellesituasjon.

Usikkerheten til dette estimatet avhenger av usikkerheten til det enkelte estimat $\hat{A}DT(d)_{\bar{i}}$, men også av korrelasjon mellom ulike estimater. Estimaterne for ulike lengdeklasser på samme veilenke vil være basert på tellinger som er gjort samtidig, og vil typisk være positivt korrelert. Disse korrelasjonene er beregna som forklart i kapittel 5.4 og angitt i Tabell 5. Vi vil i det følgende se bort alle andre korrelasjoner. Dette begrunnes med at Aldrin og Follestad (1997) konkluderte med at det var svært små korrelasjoner mellom $\hat{A}DT$ -estimatene for de to retningene i et veilenkepar, selv om tellingene var utført samtidig. Videre er det dermed rimelig å anta at estimater som er basert på tellinger på ulike tidspunkt også er så

godt som ukorrelert. Det vil dog være rimelig å anta at estimater for ulike veilenker i samme kryss, eller for svært nærliggende tellepunkter, vil være positivt korrelert hvis de er basert på samtidige tellinger. Vi ser likevel bort fra dette av praktiske grunner.

La $\text{Std}_{li} = \text{Std}(\text{ÅDT}(d))_{li}$ betegne standardavviket for det enkelte estimat $\text{ÅDT}(d)_{li}$ beregna ut fra ligning (12), og la $\rho_{ll'}$ betegne korrelasjonen mellom ÅDT estimer for lengdeklassene l og l' på samme veilenke gitt av Tabell 5. Standardavviket til estimatet for trafikkarbeid er da gitt ved

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2 \left(\sum_{l=1}^7 w_l^2 \cdot \text{Std}_{li}^2 + 2 \sum_{l,l'} w_l \cdot w_{l'} \cdot \text{Std}_{li} \cdot \text{Std}_{l'i} \cdot \rho_{ll'} \right)}, \quad (13)$$

hvor den siste summen tas over alle 21 par av lengdeklasser l og l' . Den siste summen innafor parentesen er korreksjonsledd som tar hensyn til at estimatene for de ulike lengdeklassene er basert på samtidige tellinger og derfor er korrelerte.

Anta at det er mulig å gi grove ÅDT -anslag for de enkelte veilenker og lengdeklasser før man har utført tellinger. Slike anslag kan f. eks. være basert på skjønn, eller beregninger fra tidligere år. For et gitt telleopplegg kan da standardavviket gitt ved (13) beregnes. Ved å beregne dette for ulike mulige telleopplegg kan man finne fram til det telleopplegget som gir så liten usikkerhet som mulig blant de aktuelle telleopplegg. Dette kan brukes til å designe et telleopplegg hvor det telles mer på store veier enn på mindre, slik at usikkerheten i trafikkarbeidet blir minst mulig med færrest mulig telletimer.

Tabell 5 Korrelasjon mellom ÅDT-estimer for ulike lengdeklasser.

lengde- klasse	1	2	3	4	5	tunge	total
1	1	0.29	0.27	0.08	0.09	0.32	0.92
2	0.29	1	0.41	0.28	0.18	0.75	0.36
3	0.27	0.41	1	0.35	0.29	0.56	0.33
4	0.08	0.28	0.35	1	0.43	0.41	0.12
5	0.09	0.18	0.29	0.43	1	0.35	0.12
tunge	0.32	0.75	0.56	0.41	0.35	1	0.42
total	0.92	0.36	0.33	0.12	0.12	0.42	1

4 Datagrunnlag

4.1 Oversikt over data

De 5 lengdeklassene er i meter: 0-5.5, 5.6-7.6, 7.7-12.4, 12.5-15.9 og 16.0 og lengre. Den nåværende analysen er basert på tellinger på timesbasis for årene 1995, 1996 og 1997. Etter en gjennomgang og korreksjon av det opprinnelige datasettet (se neste delkapittel) gjenstår det 64 veier med tellinger i to retninger som er brukt i den endelige analysen. Disse er listet i Tabell 6. De to første siffer i veiidentifikasjonen angir fylkesnummer. Dataene er levert av Vegdirektoratet og Statens Vegvesen Oslo, Vegtrafikksentralen.

Tabell 6 Veier i datasettet.

Veident.	Navn	Veident.	Navn
0100001	SANDESUND SØR	0100118	E6 MOSS NORD
0100003	BUKKHOLMEN	0100004	HVITSTEN
0200006	ÅS VINTERBRO	0200217	DALSBEKKENBRU
0200200	KLØFTA SYD	0200022	HOVINMOEN ULLENSAKER
0200202	EIDSVOLL TUNELL	0200025	BÆRUM KJØRBO TUNNEL
0200100	FRANZEFOSS	0200027	BLOMMENHOLM
0200199	INGJERDALEN	0200203	UVESUND BRU
0200160	GJELLERÅSEN	0200015	KRINGEN
0200175	HVAL	0205009	NORDBYVEIEN
0300231	AMMERUD	0300348	FISKEVOLLBUKTA
0300224	FROGNERSTRANDA	-	RINGVN GAUSTAD
0302461	GRANFOSSTUNNELEN	0300349	KARIHAUGEN
0300319	LØREN	0300307	MANGLERUD
-	E18 MARITIM	0300233	RINGVN NYDALEN
0302136	E18 FJELLINJA	0300161	VØYEN BRU
0700005	LAAHNE	0700003	OLSRØD
0800010	LANNER BOMSTASJON	0800167	BORGESTAD
0800002	KJØRBEKK	0800005	HESELBERGGT
1000001	NARVIKA	1000010	BJØRNDALSLETTA BOM
1000003	VESTERVEGEN	1000007	VOLLEVATN
1000008	FLEKKERØY	1100001	AUGLEND
1100009	HILLEVÅGTUNNELEN	1100002	MADLA
1200005	NYGARDSTANGEN BOMTRA	1200003	FLOYFJELLET BEGGE LØP
1200231	EIDSVAAGTUNNEL	1200413	KLAUVANESET
1200051	GULLBOTN	1203132	LØVSTAKKTUNNEL
1200381	FJØSANGER DUMMY	1200241	DAMSGARDT. UTLOP OPP
1200235	DAMSGARDTUNNELEN	1200243	HARAFJELLUTUNNELEN
1200245	GAMLE PUDDEFJORDSBRO	1200234	OLSVIKTUNNELEN
1201211	KALFARBAKKEN	1601436	STORLERSBAKKEN
1601433	VÆRETUNNELEN	1601416	SELSSAKK
1800003	HOPEN	1800005	JENSVOLL
1800004	BODØ	1900103	HUNGEREN

4.2 Prosedyre for kontroll og korrigering av data

Trafikkdata samlet inn med maskinelt utstyr er gjerne befengt med en del feil, unøyaktigheter og mangler. For eksempel vil et slikt datasett typisk inneholde observasjoner hvor måleinstrumentet ikke har fungert skikkelig og dermed viser feil. I andre tilfeller kan det være at de registreringene som er gjort, ikke er representative for en normalsituasjon, f. eks. som følge av endret trafikkmønster ved veiarbeid. Videre kan dataene være forskjøvet i tid slik at tidspunktet må korrigeres.

For analyseformål på timebasis slik som i dette prosjektet, er det nødvendig at dataene er så feilfrie som mulig. Det er derfor lagt ned et betydelig arbeid for å bringe de dataene som er levert, opp å et akseptabelt kvalitetsnivå. Innholdet i dette arbeidet er sammenfattet punktvis nedenfor.

1. Det er sjekket for konsistens i dataene for hver av de 166 opprinnelige veilenkene. Dette innebærer at totalt antall biler er generert ved å summere lengdeklassene 1-5. Hvis en eller flere av lengdeklassene 1-5 mangler registrering for en enkelt time (manglende observasjon, symbolisert i filene med -999) settes registreringene til manglende verdi for alle lengdeklasser denne timen, inkludert totalt antall kjøretøy. Det kjøres også en sjekk på etterfølgende 0-registreringer: Hvis verdiene 0 eller -999 opptrer i for totalt antall biler fem eller flere ganger etter hverandre i tid, erstattes hele sekvensen med symbol for manglende observasjoner. Til slutt sammenholdes de to veilenkene som hører til samme vei. Kun registreringer hvor samlet antall kjøretøy er observert i begge retninger blir betraktet som 'gode' data. Veier som allerede på dette stadiet har under 30% dekning av gode data blir utelatt fra videre bearbeiding.

2. Det er laget diverse tidsplott av totalt antall kjøretøy for alle veiene i datasettet for utvalgte kombinasjoner av tidspunkt, f.eks. forholdet mellom antall kjøretøy kl 8 og kl 16. Mønsteret i disse plottene har dannet grunnlaget for en subjektiv vurdering av om dataene er forskjøvet i tid. Den overveiende andel av tidsforskyvningene oppstår som følge av at måleinstrumentene ikke registrerer rett tid etter overgangen mellom sommer- og vintertid (og vice versa). Problemet består i å identifisere det tidspunkt da instrumentet igjen registrerer riktig tid. Enkelte sekvenser har ikke latt seg korrigere (uvisst tidsforløp) og er erstattet med manglende verdier. I noen tilfeller har dette ført til at det er blitt så få data tilbake at hele veien er strøket.

3. Basert på tiltakene i punktene 1 og 2 er det generert samlefiler for samtlige lengdeklasser, inkludert tunge kjøretøy (sum lengdeklasse 2 til 5) og totalt antall biler, dvs. totalt 7 filer. Samlefilene inneholder kun de veiene som etter korreksjon i henhold til punktene 1 og 2 har over 30% datadekning totalt i perioden 1995-1997. I alt 52 veier fyller kriteriene.

4. På dette stadiet i datakontrollen er datasettet så pass homogent at tilpassing av en statistisk modell kan forsvares. Ytterligere feil i dataene kan avdekkes ved å

betrakte residualene i en slik modell. Vi har tilpasset en regresjonsmodell med $\log(\text{totalt antall kjøretøy} + 1)$ som responsvariabel ved hjelp av redusert rang regresjon med 15 komponenter. Deretter beregnes avviket mellom den systematiske delen av modellen og målingene, kalt residualene. Standardavviket til residualene beregnes for hver veilenke, og alle observasjoner hvor residualet er større enn 5 standardavvik sløyfes.

5. Ved nærmere gjennomgang av de gjenværende 52 veiene (som skal være representative for de største byområdene i Norge), viste det seg at ingen veier fra Oslo hadde passert datakontrollen. Dette ble ansett som uheldig, og det ble bestemt at Osldata fra et tidligere prosjekt (se Aldrin og Follestad 1997) skulle tas inn i databasen. Disse dataene er levert av Statens Veivesen Oslo, Veitrafikk-sentralen. Dataene er kvalitetskontrollert tidligere og dekker perioden 1994-1996, hvilket betyr at ingen Osldata fra 1997 inngår i analysene i dette prosjektet. I alt 12 veier fra Oslo ble plukket ut og slått sammen med de øvrige veiene til et endelig datasett bestående av 64 veier. Samtidig ble rekkefølgen av veiene gjort tilfeldig slik at beregningen av basiskurver i simuleringseksperimentet (Kapittel 5) skal foregå på et bredest mulig sammensatt datamateriale.

Det datasettet som står igjen etter denne prosedyren danner grunnlaget for beregning av basiskurver og simulering av trafikk tetthet.

5 Beregninger basert på et simuleringseksperiment

Vi betrakter en enkelt veilenke, eller et veilenkepar, da de to lenkene i et veilenkepar vanligvis telles samtidig. Vi er interessert i anslag på antall biler på timesbasis gjennom et helt år, og over året som helhet målt som ÅDT. Dette anslaget baseres på tellingene fra denne veien, ved å kombinere basiskurvene som er beregna ved hjelp av bortimot kontinuerlige tellinger for et mindre antall veilenker (nivå 1 punktene).

Vi har utført et eksperiment som simulerer denne situasjonen, basert på virkelige trafikkdata fra nivå 1 punktene. Detaljene i simuleringseksperimentet beskrives i de neste delkapitlene, og kapittel 5.1 illustrerer hovedideen. Hensikten med simuleringseksperimentet er å besvare følgende spørsmål:

- Hvor mange basiskurver skal en ta i bruk for et gitt tellemønster og et gitt antall telletimer?
- Hvor stor usikkerhet blir det i estimater for ÅDT og trafikkarbeid?
- Hvordan bør tellemønsteret være?
- Hvor god er den nye metoden basert på kombinasjon av basiskurver i forhold til den nåværende metoden basert på variasjonskurver?

5.1 Prediksjon basert på basiskurver

Første del av simuleringseksperimentet utføres slik:

- 8 veilenkepar, altså 16 veilenker, velges ut. Disse skal illustrere veilenker med begrensa antall telletimer. Ut fra de resterende 56 veilenkeparene beregnes 8 basiskurver som angitt i kapittel 3.1.
- Deretter utføres følgende eksperiment for hver av de 16 veilenkene: For et gitt år (1995, 1996 eller 1997) med minst 30% data velges det ut et antall telletidspunkter. Telletidspunktene velges tilfeldig ut fra en prosedyre beskrevet i Appendix A. Bare tidspunkter det finnes virkelige tellinger for kan bli valgt. De virkelige tellingene som er registrert på de simulerte telletidspunktene spiller rollen som de tellingene en har til rådighet til å estimere trafikkvolum utenom telleperioden. Ut fra disse "simulerte" tellingene beregnes for hver av lengdeklassene PDT-estimer for prediksjonsperioden med fra 0 til 8 basiskurver etter metoden i kapittel 3.2. I dette simuleringseksperimentet er prediksjonsperioden ikke den resterende del av året, men den resterende perioden det finnes virkelige tellinger for. PDT-estimatene kan sammenlignes med "sann" PDT, som er fasiten. For hvert år trekkes det 100 ulike sett av telldata, som vil kunne overlappe hverandre i noe grad. Samme prosedyre gjennomføres for hvert enkelt år og for hver av de 16 veilenkene. Alle treknings av telletidspunkt er uavhengige av hverandre.
- Deretter er det 8 nye veilenkepar som velges ut til å illustrere veilenker med få eller ikke-kontinuerlige telletimer. Dette gjentas slik at hver veilenke en gang har spilt rollen som en veilenke med få målinger.

Eksperimentet er utført for år med minst 30% data for den enkelte veilenke, tilsammen gjelder dette 315 kombinasjoner av veilenker og år. Dette gir $100 \times 315 = 31500$ ulike tellesituasjoner. For hver slik tellesituasjon har vi for hver lengdeklasse 9 ulike PDT-prediksjoner basert på 0 til 8 basiskurver, samt en sann PDT, slik at prediksjonsfeil kan beregnes. Videre er telletidspunktene for hver tellesituasjon også registrert. Telletidspunktene kan karakteriseres med ukedag og time på døgnet.

5.2 Etablering av ligninger for valg av antall basiskurver

For hver lengdeklasse (inkludert tunge kjøretøy og totalt antall biler) og for hver k (antall basiskurver) mellom 0 og 8 har vi 31500 prediksjonsfeil $e_k = \text{PDT} - \text{PDT}(k)$ etter eksperimentet beskrevet i kapittel 5.1. Ut fra dette lager vi modeller for $\text{Std}(\text{PDT}(k))$ som funksjon av trafikkmengde PDT og telletidspunkt, slik som angitt i ligning (11). Dette gjøres for alle lengdeklasser og for alle k .

Koeffisientene estimeres via følgende modell på logaritmiske data

$$\log\left(\frac{e_k^2}{\text{PDT}^\beta} + 0.0001\right) = \gamma_0 + \gamma_1 \log(z_1) + \dots + \gamma_9 \log(z_9) + \varepsilon, \quad (14)$$

der forklaringsvariablene er presentert i Tabell 4. Her er β fastsatt til 1.5. Denne verdien er valgt etter å først ha estimert denne for alle lengdeklasser og alle k . Estimaten varierte omkring 1.5, og ved å velge felles verdi for alle k , trenger man ikke kjenne sann PDT for å kunne bruke (11) til å velge optimal k . De resterende koeffisientene i denne modellen er estimert ved minste kvadraters metode. Deretter transformeres modellen til formen i ligning (11). Fordi feilen e_k teoretisk sett kan være 0, er konstantleddet 0.0001 lagt til på logaritmisk form. Vi ser bort fra dette ved tilbaketransformering til (11), dette har her marginal betydning. Når det gjelder konstanten c i ligning (11) er denne her estimert ved

$$\hat{c} = \frac{1}{31500} \sum_{i=1}^{31500} \frac{e_{ki}^2}{\text{PDT}^\beta \cdot z_{1i}^{\hat{\gamma}_1} \cdot \dots \cdot z_{9i}^{\hat{\gamma}_9}}, \quad (15)$$

hvor tellesituasjonene er nummerert med indeksen i . Dette tilsvarer ligning (6) i kapittel 3.2. Merk at hensikten med disse ligningene er å velge k , og ikke først og fremst å estimere korrekt nivå på $E(e_k^2)$. De endelige koeffisientene er presentert Appendix B

5.3 Etablering av ligninger for beregning av usikkerhet

Vi har nå etablert en metode for å beregne antall basiskurver k som funksjon av bl.a. tilgjengelige telletidspunkt. For å gjennomføre en rettfærdig test av hvordan metoden virker i praksis gjør vi følgende utvidelse av simuleringseksperimentet: 8 veilenkepar velges ut til å illustrere veilenker med få målinger, og koeffisientene i Appendix B reestimeres på grunnlag av dataene fra de resterende 56 veilenkene (dvs. et litt mindre datasett). For hver enkelt av de simulerte tellesituasjonene for de 8 valgte veilenkene velges nå k mellom 0 og 8 for hver enkelt lengdeklasse v.h.j.a. ligning (11) med reestimerte koeffisienter. Dette gjentas slik at hver veilenke en gang har spilt rollen som en veilenke med få eller ikke-kontinuerlige tellinger. Det blir altså valgt ut en k for hver av de 31500 tellesituasjonene for hver lengdeklasse. Etter dette står vi igjen med et datasett, hvor vi for hver lengdeklasse har *en* prediksjon $\text{PDT}(d)$ for hver av de 31500 tellesituasjonene for hver lengdeklasse, sammen med tilhørende sann PDT og telletidspunktene karakterisert ved z_1 til z_9 .

Vi kan dermed beregne *en* prediksjonfeil e_d for hver av de 31500 tellesituasjonene for hver lengdeklasse. Ut fra dette har vi estimert nye koeffisienter i ligning (11), men denne gang er det kun ett sett av koeffisienter pr. lengdeklasse, og usik-

kerheten knytta til valg av k er innbakt i dette. Videre er nå også β estimert. De estimerte koeffisientene er gjengitt i Appendix B.

Koeffisientene er nå estimert via følgende modell på logaritmiske data

$$\log\left(\frac{e_k^2}{\text{PDT}^{1.5}} + 0.0001\right) = \gamma_0 + \beta' \log(\text{PDT}) + \gamma_1 \log(z_1) + \dots + \gamma_9 \log(z_9) + \varepsilon, \quad (16)$$

Koeffisienten β' og γ -ene er estimert ved minste kvadraters metode. Vi ser igjen bort fra konstanten 0.0001 ved tilbaketransformering, og har dermed at $\beta = 1.5 + \beta'$. Konstanten c i (11) er igjen estimert ved (15).

5.4 Beregning av korrelasjoner

I kapittel 3.5 hevdet vi at ÅDT-estimer basert på samtidige tellinger kan være positivt korrelerte, og vi presenterte i Tabell 5 en korrelasjonsmatrise mellom ÅDT-estimer for de fem lengdeklassene, samt tunge kjøretøyer og totalt antall biler basert på samtidige tellinger. Korrelasjonen mellom ÅDT-estimer vil være den samme som korrelasjonen mellom tilsvarende PDT-estimer. Disse beregner vi som følger: I kapittel 5.3 etablerte vi et datasett med *en* prediksjonsfeil for hver av de 31500 tellesituasjonene for hver lengdeklasse. For hver tellesituasjon er tellingene for de fem lengdeklassene gjort samtidig. La $\text{PDT}(d)_{li}$ betegne prediksjon av PDT_{li} for i -te tellesituasjon for lengdeklasse l , med feil $e_{li} = \text{PDT}_{li} - \text{PDT}(d)_{li}$. For hver tellesituasjon kan vi så beregne $\text{Std}(\text{PDT}(d)_{li})$ ut fra ligning (11). Dermed kan korrelasjonen mellom ÅDT-estimatene for lengdeklasse l og lengdeklasse l' beregnes som

$$\rho_{ll'} = \frac{1}{31500} \sum_{i=1}^{31500} \frac{e_{li} \cdot e_{l'i}}{\text{Std}(\text{PDT}(d)_{li}) \cdot \text{Std}(\text{PDT}(d)_{l'i})}. \quad (17)$$

6 Mulige forbedringer

Det vil alltid være rom for forbedring av en metode, og på sikt kan man tenke seg videreutviklinger. Aktuelle forbedringer av metodikken beskrevet i denne rapporten inkluderer følgende.

- *Implementering.*
- *Rekalibrering* for småbyer og landdistrikter.
- *Bedre metoder for å kombinere basiskurvene.* I kapittel 3.2 brukte vi en multiplikativ modell for å kombinere basiskurvene, men gikk via en additiv modell på logaritmisk skala for å estimere hvor stor vekt hver basiskurve skulle ha. Dette er ikke helt tilfredstillende for veilenker med liten trafikk, og kan

forbedres. En mulighet er å bruke Poisson-regresjon med logaritmisk link-funksjon. En annen mulighet er å estimere modellen ved en ikke-lineær optimeringsmetode.

- *Myk nedvekting (v.h.j.a. ridge regresjon) av basiskurvene* i stedet for et fast antall. Dette kan generelt gi mer presise trafikkberegninger og bedre usikkerhetsberegninger. Konkret betyr dette at alle basiskurver får koeffisienter ulik 0, men disse koeffisientene “krympes” mot 0 hvis det er få telletimer. Graden av krymping spiller samme rolle som antall komponenter i den nåværende versjon av metoden.
- *Bedre metoder for valg av antall basiskurver.* Valg av antall basiskurver er vesentlig, og i kapittel 3.3 diskuterte vi svakheter ved den beskrevne metodikk og muligheter for å rette på dette ved at γ -ene pålegges å synke med økende k . En annen forbedringsmulighet kan være å estimere koeffisientene i (11) ved ikke-lineære metoder, jfr. forrige punkt.
- *Bruk av basiskurvemetoden i kombinasjon med andre trafikkmodeller som tar hensyn til veinettet.* Basiskurvemetoden tar ikke i bruk informasjon om hvordan veier henger sammen, f. eks. at antall biler inn i et kryss må være det samme som biler ut av et kryss.
- *Estimering av frekvensfordeling av trafikkmengde pr. time for alle timene i et år.* Ut fra dette skal det kunne beregnes f. eks. dimensjonerende time.
- *Usikkerhetsberegninger for estimerer for YDT og HDT.*

Referanser:

Aldrin, M. og Follestad, T. (1993), "Nye variasjonskurver for Oslo med statistisk vurdering av telleopplegg", PROSAM rapport nr. 30.

Aldrin, M. og Follestad, T. (1997), "Ny metodikk for trafikkberegninger på grunnlag av tellinger - Kalibrert for korttidstillinger i Oslo", NR-notat, STAT/07/97.

Aldrin, M. (1998), "Traffic volume estimation from short-period traffic counts", *Traffic Engineering + Control*, **39**, 656-660.

Davies, P.T. og Tso, M.K.-S. (1982), "Procedures for reduced-rank regression", *Applied Statistics*, **31**, s. 244-255.

Follestad, T. og Aldrin, M. (1997), "Variasjonskurver for tungtrafikk", NR-notat, STAT/09/97.

"Håndbok 146 - Trafikkberegninger", kapittel B2 og B5, (1988), Statens Vegvesen.

Aamodt, G. og Aldrin, M. (1997), "Manual: ÅDT-beregninger", NR-notat, STAT/10/97.

Appendix A Prosedyre for trekking av telletidspunkter

I forbindelse med simulering av trafikktegninger er det nødvendig å generere et tilfeldig tellemønster, dvs. å trekke ut hvilke timer i et år som skal representere tidspunkter hvor det foreligger trafikktegninger. Prosedyren beskrevet nedenfor genererer tellemønstre av både kort og lang varighet.

Et foreløpig tellemønster fremkommer ved at det trekkes et sett av tidspunkter etter følgende prosedyre. Først bestemmes lengden på perioden det skal telles. Dette gjøres ved å trekke uniformt en av klassene i Tabell 7. For klassene 1 og 2 er dermed periodelengden også gitt. For de øvrige klassene trekkes i tillegg det faktiske antall telleuker fordelt på en eller to perioder. Denne trekningen foretas uniformt over det mulige antall telleuker som klassen indikerer. For klassene 4 og 6 bestemmes antall uker i de to periodene atskilt.

Tabell 7 Klasser av telleperioder med tilhørende sannsynlighet for å bli trukket.

Klasse	Periodelengde (antall uker)	Sannsynlighet
1	1	1/6
2	2	1/6
3	3-7	1/6
4	2-4 x 2 perioder	1/6
5	8-48	1/6
6	4-24 x 2 perioder	1/6

Neste skritt består i å bestemme starttidspunkt for perioden(e). Dette skjer ved at midtpunktet i perioden(e) trekkes uniformt fra alle dagene i det aktuelle året (365 eller 366). Starttidspunktet er dermed gitt som

$$\text{periodestart} = \text{midtpunkt} - \text{periodelengde}/2. \quad (18)$$

De deler av den uttrukne perioden som på denne måten eventuelt faller utenfor året (forkant eller bakkant), slettes. Den endelige telleperioden behøver således ikke falle symmetrisk om midtpunktet. For klassene 4 og 6 bestemmes midtpunktet (og dermed startpunktet) for de to periodene separat.

Dermed er rammen for det mulige tellemønsteret gitt. Det gjenstår å bestemme hvilke timer som skal telles innenfor denne rammen. Første skritt mot dette målet er å avgjøre hvor mange og hvilke ukedager som skal inngå i de ukene som er

trukket ut. Antall dager trekkes uniformt fra $\{1, 2, \dots, 7\}$ med sannsynlighet 0.9 og settes lik 7 med sannsynlighet 0.1. Så trekkes de faktiske ukedagene det skal telles på. Vi trekker da det nødvendige antall dager fra $\{1=\text{mandag}, 2=\text{tirsdag}, \dots, 7=\text{søndag}\}$ (uten tilbakelegging). Det dagmønsteret som derved framkommer, benyttes for samtlige av ukene i telleperioden.

På tilsvarende måte bestemmes hvor mange og hvilke timer i hvert døgn som skal telles. Antall timer trekkes uniformt fra $\{1, 2, \dots, 24\}$ med sannsynlighet 0.9 og settes lik 24 med sannsynlighet 0.1. Så trekkes de faktiske timene som skal telles hvert døgn. Vi trekker da det spesifiserte antall timer fra $\{1, 2, \dots, 24\}$ (uten tilbakelegging). Det timemønsteret som derved framkommer benyttes for samtlige av de uttrukne dagene i telleperioden.

Det er nå etablert et foreløpig (eller mulig) sett av telletidspunkter for simuleringen. Det endelige tellemønsteret dannes som et snitt mellom de mulige telletidspunktene og de faktiske tellingene som er gjort for den aktuelle veien og året. Dette settet av telletidspunkter kalles telleperioden. De resterende tidspunktene som er talt i virkeligheten, men som ikke inngår i det simulerte settet av telletidspunkter, betraktes som prediksjonsperioden. Det er trafikk tettheten i disse tidspunktene som skal estimeres ut fra en modell basert på basiskurvene og tellingene i telleperioden.

Til slutt blir timene i telleperioden kategorisert etter inndelingen gitt i Tabell 4. Alle helligdager regnes her som søndag.

Appendix B Tabeller med regresjonskoeffisienter

Tabell 8 Koeffisienter i ligning (11) for usikkerhet inkludert valg av k.

lengdekl/ koef.	1	2	3	4	5	tunge	total
c	4.5995	1.6934	1.8906	0.9319	1.2810	4.8638	4.9478
β	1.4538	1.4808	1.3980	1.5513	1.5651	1.3163	1.4383
γ_1	-0.0634	-0.0561	-0.0804	-0.0597	-0.0434	-0.0689	-0.0675
γ_2	-0.1463	-0.1986	-0.2056	-0.2103	-0.1904	-0.2425	-0.1551
γ_3	-0.0695	-0.0533	-0.0485	-0.0569	-0.0479	-0.0451	-0.0778
γ_4	-0.0736	-0.0477	-0.0696	-0.0876	-0.1088	-0.0429	-0.0683
γ_5	-0.0197	0.0664	0.1146	0.0618	-0.0051	0.0358	-0.0220
γ_6	-0.0727	-0.0174	-0.0331	-0.0318	0.0133	-0.0581	-0.0834
γ_7	0.0213	0.0229	0.0441	0.0803	0.0255	0.0648	0.0375
γ_8	-0.1238	-0.0041	0.0100	-0.0216	-0.0259	-0.0015	-0.1040
γ_9	0.0396	0.0597	0.0666	0.0827	0.1079	0.0355	0.0260

Tabell 9 Koeffisienter i ligning (11), for k lik 0 til 8, lengdeklasse 1

k/koef	0	1	2	3	4	5	6	7	8
cc	3.487	4.695	7.417	8.445	10.139	13.369	16.045	19.146	21.957
X1	-0.068	-0.050	-0.031	-0.047	-0.054	-0.045	-0.054	-0.065	-0.075
X2	-0.111	-0.136	-0.122	-0.150	-0.143	-0.182	-0.174	-0.206	-0.223
X3	-0.043	-0.058	-0.050	-0.047	-0.061	-0.071	-0.072	-0.082	-0.094
X4	-0.017	-0.036	-0.116	-0.157	-0.179	-0.213	-0.211	-0.225	-0.230
X5	0.032	-0.026	-0.043	-0.060	-0.068	-0.052	-0.066	-0.053	-0.049
X6	-0.048	-0.094	-0.082	-0.081	-0.101	-0.074	-0.079	-0.038	-0.062
X7	0.041	0.086	0.077	0.046	0.042	0.007	0.002	-0.045	-0.021
X8	-0.117	-0.122	-0.050	-0.078	-0.064	-0.023	-0.051	-0.056	-0.031
X9	0.122	0.126	0.037	0.050	-0.005	-0.053	-0.046	-0.037	-0.074

Tabell 10 Koeffisienter i ligning (11), for k lik 0 til 8, lengdeklasse 2

k/koef	0	1	2	3	4	5	6	7	8
cc	1.462	2.306	3.498	4.704	5.792	8.552	10.391	12.935	15.154
X1	-0.050	-0.059	-0.040	-0.045	-0.051	-0.064	-0.062	-0.056	-0.068
X2	-0.178	-0.252	-0.298	-0.292	-0.286	-0.262	-0.255	-0.232	-0.232
X3	-0.027	-0.035	-0.035	-0.041	-0.048	-0.041	-0.032	-0.041	-0.043
X4	-0.039	-0.060	-0.091	-0.112	-0.123	-0.137	-0.141	-0.158	-0.175
X5	0.073	0.042	0.047	0.031	0.015	-0.001	-0.053	-0.062	-0.061
X6	-0.007	-0.049	-0.014	0.007	0.019	-0.018	-0.041	-0.003	0.026
X7	0.019	0.067	0.014	-0.009	-0.026	0.002	0.015	-0.040	-0.070
X8	-0.005	-0.010	0.029	0.013	0.018	0.011	-0.011	-0.040	-0.044
X9	0.075	0.079	0.037	0.029	0.013	-0.001	-0.009	-0.008	-0.011

Tabell 11 Koeffisienter i ligning (11), for k lik 0 til 8, lengdeklasse 3

k/koef	0	1	2	3	4	5	6	7	8
cc	1.068	1.703	2.427	2.803	4.761	6.357	7.375	8.339	9.492
X1	-0.077	-0.077	-0.073	-0.067	-0.063	-0.069	-0.074	-0.068	-0.074
X2	-0.192	-0.237	-0.252	-0.241	-0.232	-0.240	-0.223	-0.218	-0.212
X3	-0.033	-0.042	-0.034	-0.028	-0.032	-0.042	-0.039	-0.047	-0.053
X4	-0.061	-0.098	-0.090	-0.109	-0.106	-0.127	-0.137	-0.155	-0.156
X5	0.120	0.088	0.047	0.032	-0.009	-0.002	-0.044	-0.045	-0.061
X6	-0.032	-0.030	-0.030	-0.048	-0.059	-0.048	-0.045	0.007	-0.028
X7	0.051	0.043	0.043	0.051	0.044	0.027	0.022	-0.040	-0.007
X8	0.021	-0.014	0.011	-0.014	-0.057	-0.007	-0.011	-0.049	-0.007
X9	0.058	0.104	0.079	0.082	0.089	0.010	0.009	0.041	-0.009

Tabell 12 Koeffisienter i ligning (11), for k lik 0 til 8, lengdeklasse 4

k/koef	0	1	2	3	4	5	6	7	8
cc	1.114	1.542	2.064	2.594	3.236	3.440	3.977	4.770	5.439
X1	-0.065	-0.057	-0.063	-0.062	-0.064	-0.065	-0.060	-0.063	-0.057
X2	-0.186	-0.219	-0.222	-0.218	-0.215	-0.196	-0.199	-0.198	-0.189
X3	-0.054	-0.050	-0.052	-0.054	-0.049	-0.050	-0.053	-0.051	-0.051
X4	-0.089	-0.095	-0.096	-0.119	-0.139	-0.134	-0.139	-0.142	-0.144
X5	0.073	0.014	-0.009	-0.022	-0.036	-0.057	-0.058	-0.066	-0.092
X6	-0.025	-0.049	-0.047	-0.037	-0.020	-0.012	-0.044	-0.035	-0.030
X7	0.084	0.106	0.109	0.098	0.078	0.062	0.089	0.061	0.048
X8	-0.023	-0.026	-0.041	-0.019	-0.010	-0.030	0.011	0.016	0.031
X9	0.107	0.099	0.116	0.095	0.079	0.095	0.037	0.024	0.001

Tabell 13 Koeffisienter i ligning (11), for k lik 0 til 8, lengdeklasse 5

k/koef	0	1	2	3	4	5	6	7	8
cc	1.722	2.000	2.638	3.299	3.902	4.236	4.725	5.412	6.085
X1	-0.049	-0.050	-0.052	-0.052	-0.044	-0.047	-0.054	-0.049	-0.050
X2	-0.173	-0.186	-0.180	-0.173	-0.178	-0.165	-0.165	-0.165	-0.149
X3	-0.034	-0.036	-0.030	-0.027	-0.030	-0.032	-0.038	-0.037	-0.040
X4	-0.107	-0.121	-0.128	-0.130	-0.148	-0.165	-0.153	-0.145	-0.145
X5	-0.010	-0.023	-0.057	-0.079	-0.087	-0.082	-0.099	-0.121	-0.130
X6	0.047	-0.026	-0.035	-0.051	-0.020	-0.011	-0.027	-0.009	-0.023
X7	0.029	0.072	0.089	0.097	0.060	0.046	0.057	0.036	0.047
X8	-0.049	-0.033	-0.034	-0.036	-0.026	-0.032	-0.019	-0.034	-0.036
X9	0.149	0.112	0.110	0.099	0.090	0.086	0.064	0.067	0.056

Tabell 14 Koeffisienter i ligning (11), for k lik 0 til 8, lengdeklasse 6

k/koef	0	1	2	3	4	5	6	7	8
cc	1.902	2.422	3.219	4.436	6.405	8.069	11.325	13.091	15.884
X1	-0.069	-0.074	-0.074	-0.061	-0.067	-0.065	-0.076	-0.087	-0.085
X2	-0.187	-0.259	-0.265	-0.288	-0.295	-0.285	-0.285	-0.271	-0.248
X3	-0.023	-0.031	-0.021	-0.036	-0.049	-0.051	-0.041	-0.040	-0.058
X4	-0.019	-0.067	-0.061	-0.108	-0.163	-0.182	-0.168	-0.172	-0.190
X5	0.105	0.028	-0.015	-0.006	-0.016	-0.056	-0.083	-0.089	-0.091
X6	-0.045	-0.054	-0.086	-0.036	-0.037	-0.021	-0.054	-0.054	-0.059
X7	0.031	0.055	0.082	0.033	0.024	0.015	0.022	0.010	0.016
X8	-0.018	-0.007	-0.005	0.036	0.064	0.031	0.017	-0.005	0.009
X9	0.059	0.081	0.059	0.002	-0.042	-0.015	-0.039	-0.028	-0.063

Tabell 15 Koeffisienter i ligning (11), for k lik 0 til 8, lengdeklasse 7

k/koef	0	1	2	3	4	5	6	7	8
cc	3.358	4.540	7.617	8.631	10.228	12.237	15.882	18.995	21.873
X1	-0.066	-0.059	-0.035	-0.053	-0.050	-0.054	-0.063	-0.069	-0.083
X2	-0.117	-0.149	-0.132	-0.160	-0.167	-0.179	-0.196	-0.217	-0.220
X3	-0.044	-0.054	-0.051	-0.044	-0.065	-0.059	-0.069	-0.083	-0.092
X4	-0.015	-0.031	-0.119	-0.156	-0.174	-0.184	-0.201	-0.227	-0.226
X5	0.045	-0.026	-0.044	-0.057	-0.063	-0.060	-0.068	-0.049	-0.058
X6	-0.045	-0.087	-0.087	-0.101	-0.125	-0.107	-0.101	-0.083	-0.062
X7	0.034	0.087	0.092	0.077	0.076	0.038	0.026	0.004	-0.022
X8	-0.111	-0.125	-0.048	-0.066	-0.050	-0.054	-0.045	-0.021	-0.032
X9	0.121	0.134	0.042	0.044	-0.016	-0.043	-0.046	-0.072	-0.075