



Statens vegvesen

Klimaets påvirkning på tilstandsutvikling for vegdekker - E136

RAPPORT

Teknologiavdelingen

Nr. 2599



Klima
og
transport



Geoteknikk- og skredseksjonen
Dato: 2010-06-08



Statens vegvesen

TEKNOLOGIRAPPORT nr. 2599

Tittel

Klimaets påvirkning på tilstandsutvikling for vegdekker - E136

Vegdirektoratet
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep
0033 Oslo

Telefon: (+47 915) 02030

www.vegvesen.no

Utarbeidet av

Ragnar Evensen, ViaNova Plan og Trafikk AS

Dato:

2010-06-08

Saksbehandler

Per Otto Aursand

Prosjektnr:

602000

Kontrollert av

Gordana Petkovic

Antall sider og vedlegg:

23

Sammendrag

Rapporten inngår i en serie rapporter fra FoU-prosjektet 'Klima og transport', etatsprosjekt 2007 - 2010. Hensikten med prosjektet er å forbedre rutiner og regelverk for planlegging, prosjektering, bygging, drift og vedlikehold av vegnettet som svar på endrede klimaforhold. Rapporten tilhører delprosjekt 5 "Tilstandsutvikling på vegnettet".

Ved hjelp av beregningsprogrammet M-E PDG har man analysert den sannsynlige innvirkning av klimaendringer fra perioden 2000-2008 til 2070-2100 på tilstandsutviklingen for Ev 136. Analysene er begrenset til utviklingen av spordybde på grunn av deformasjoner i asfaltlagene, i de granulære lagene og i grunnen. I tillegg er piggdekkslitasje vurdert ved hjelp av "Prognosmodell för beläggningsslitage" utviklet av VTI. Sporutviklingen på grunn av deformasjoner i asfaltlagene viser generelt en svak økning på grunn av de forventede temperaturendringer. For sporøkningen som en følge av deformasjoner i grunnen og i de granulære lag er forholdene noe mer uoversiktlige. De forventede klimaendringer inkluderer en reduksjon i frostmengdene og telehiv, med tilhørende reduksjon i sporutviklingen i teleløsningsperiodene. Denne positive effekten er større enn den negative effekten av økt nedbør.

Summary

This report belongs to a series of reports from the R&D program "Climate and Transport", carried out by the Norwegian Public Road Administration 2007 - 2010. The main objectives of the programme are to investigate the effect of climate change on the road network and recommend remedial actions concerning planning, design, construction and maintenance.

The impact of climate change from 2000-2008 to 2070-2100 on pavement performance (rut depth) of E136 in Oppland and Møre og Romsdal counties have been analysed by the application of M-E PDG. The estimated rut depth development due to the wear from studded tires is based on a model from VTI. The rut depth development from deformations of the asphalt layers shows a small increase from the present climatic situation to the future situation. For the deformations in the granular layers and in the subgrade the situation is somewhat more complex. Less frost during the winter and frost heave in frost susceptible materials, create less deformation during the spring thaw periods. This impact is generally greater than the increase in rut depth development increased rainfall and higher water content in aterials during summer and fall.

Emneord:

Etatsprosjekt Klima og Transport, Dp5 Tilstandsutvikling på vegnettet, modellering, nedbrytning

Forord

Rapporten inngår i en serie rapporter fra FoU-prosjektet 'Klima og transport', etatsprosjekt 2007 – 2010. Hensikten med prosjektet er å forbedre rutiner og regelverk for prosjektering, bygging, drift og vedlikehold av vegnettet som svar på endrede klimaforhold.

Klimaforskningen konkluderer med at vi etter all sannsynlighet vil få endring til et varmere klima, som antas å føre til en økning i nedbørmengde og intensitet, parallelt med økt stormfrekvens og stormstyrke. Effektiviteten og sikkerheten av vegnettet påvirkes av nedbør, vind og temperaturforholdene. Dette er elementer som har innvirkning på steinsprang, fjellskred og snøskred, overflatevann, flom og erosjon, frysing og tining samt snø og is på vegbanen.

'Klima og transport' jobber etter beskrivelser av klimaendringer og deres effekt på transportsektoren slik de er nedfelt i følgende dokumenter:

- NTP-rapport "Virkninger av klimaendringer for transportsektoren", laget av en tverretattlig gruppe i transportsektoren: Jan Otto Larsen (leder) og Pål Rosland (sekretær), Statens vegvesen Vegdirektoratet, Kjell Arne Skoglund, Jernbaneverket, Eivind Johnsen, Kystverket og Olav Mosvold Larsen, Avinor.
- Vedleggsrapport "Regionale klimascenarier for transportsektoren i Norge – en oppdatering", av Jan Erik Haugen og Jens Debernard, Det Norske Meteorologiske institutt, februar 2007. (Rapporten er basert på scenarier fra RegClim prosjektet)
- "Klima i Norge 2100", utarbeidet for NOU Klimatilpassing av Meteorologisk institutt, Bjerknessenteret, Nansensenteret, Havforkningsinstitutt og NVE, juni 2009.

'Klima og transport' består av følgende delprosjekter:

- Dp 1 Premisser og implementering
- Dp 2 Innsamling, lagring og bruk av data
- Dp 3 Flom- og erosjonssikring
- Dp 4 Skred
- Dp 5 Tilstandsutvikling på vegnettet
- Dp 6 Konsekvenser for vinterdrift
- Dp 7 Sårbarhet og beredskap

Prosjektleder for 'Klima og transport' er Gordana Petkovic og prosjektsekretær Reidun Svendsen. Mer informasjon om prosjektet: <http://www.vegvesen.no/klimaogtransport>

Delprosjekt 5, som denne rapporten hører til, studerer virkninger av klimaendringer på nedbrytning av vegnettet samt vurderer tiltak og tilhørende kostnader for å opprettholde dagens vegstandard. Ved utgivelsen av denne rapporten er delprosjektleder Per Otto Aursand, Statens vegvesen Region nord. For mer informasjon om delprosjekt 5, se vedlegg 3.

Denne rapporten er utarbeidet av Ragnar Evensen, ViaNova Plan og Trafikk AS. For oversikt over tidligere andre rapporter fra 'Klima og transport', se vedlegg 4.

Sammendrag av arbeidet

Ved hjelp av beregningsprogrammet M-E PDG (Mechanistic – Empirical Pavement Design Guide) versjon 1.1 fra FHWA (Federal Highway Administration) i USA, har man analysert den sannsynlige innvirkning av klimaendringer fra perioden 2000-2008 til 2070-2100 på tilstandsutviklingen for Ev 136 i Oppland og Møre og Romsdal fylker.

Klimaendringene er i denne deloppgaven i etatsprosjektet Klima og Transport vurdert for Meteorologisk institutts klimastasjoner 16610 Fokstugu og 60990 Vigra. Estimerte endringer bygger i det alt vesentlige på rapporten ”Virkninger av klimaendringer for transportsektoren”, Nasjonal transportplan 2010-2019, rapport fra tverrfaglig arbeidsgruppe, mai 2007, med seinere suppleringer.

Trafikkbelastningene er tilpasset norske forhold med hensyn til tungtrafikkens sammensetning og aksellastfordelinger. Dette er hentet fra arbeidet som ble gjennomført som en del av delprosjekt VEG under Vegdirektoratets etatsprosjekt Vegkapital.

Beregningene i M-E PDG er kalibrert til norske forhold gjennom en tilpasning til observert tilstandsutvikling 2000-2009 for oppfølgingsstrekninger etablert som en del av Vegkapitalprosjektet, supplert med strekninger i Troms og på Vestlandet.

Analyser av tilstandsutviklingen i M-E PDG er begrenset til utviklingen av sporulybde på grunn av deformasjoner i asfaltlagene, i de granulære lagene og i grunnen. I den totale sporutviklingen inngår også piggdekkslitasje. Denne er vurdert ved hjelp av ”Prognosmodell för beläggningsslitage” utviklet av VTI (Statens väg- och transportforskningsinstitut), Sverige.

Sporutviklingen på grunn av deformasjoner i asfaltlagene viser generelt en svak økning på grunn av de forventede temperaturendringer. For sporøkningen som en følge av deformasjoner i grunnen og i de granulære lag er forholdene noe mer uoversiktlige. De forventede klimaendringer inkluderer en reduksjon i frostmengdene og telehiv, med tilhørende reduksjon i sporutviklingen i teleløsningsperiodene. Effekten av denne reduksjonen på sporutviklingen er større enn den økning man får som en følge av mer nedbør og større fuktighet i de granulære materialene. Reduksjonen i frost og tele er større for Fokstugu klimastasjon enn for Vigra klimastasjon. Dette innebærer at den beregnede reduksjon i sporutvikling i teleløsningsperiodene er større for Fokstugu enn for Vigra.

Totalt sett er vektet gjennomsnitt for beregnet sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalt, granulære lag i overbygningen og i grunnen, i størrelsesorden 1,022 mm/år for dagens klimasituasjon og 0,970 mm/år for den fremtidige klimasituasjon for den delen som ligger i Oppland. For den delen av Ev 136 som ligger i Møre og Romsdal er vektet gjennomsnitt for sporutviklingen i størrelsesorden 0,677 mm/år for dagens situasjon og 0,680 mm/år for den fremtidige situasjon.

Dersom man i tillegg antar en sporutvikling i størrelsesorden 0,55 mm/år på grunn av piggdekkslitasje, får man at beregnet gjennomsnittlig dekkelevetid på grunn av spordybde er 8,9 år for dagens klimasituasjon og 9,2 år for den fremtidige klimasituasjon. For den delen som ligger i Møre og Romsdal er beregnet dekkelevetid

på grunn av spordybde i størrelsesorden 11,4 år for både dagens og den fremtidige klimasituasjon.

Analyser av klimaets innvirkning på andre tilstandsparametre som jevnhet i lengdeprofilen (IRI), krakelering, sprekker og slag hull, er ikke gjennomført, dels fordi man ikke har det nødvendige grunnlag for slike analyser, og dels fordi disse generelt sett er av underordnet betydning i forhold til spor når det gjelder betydningen for den samlede dekkelevetid.

Summary of work

The impact of climate change from 2000-2008 to 2070-2100 on pavement performance of E136 in Oppland and Møre og Romsdal counties have been analyzed by the application of M-E PDG (Mechanistic – Empirical Pavement design Guide), version 1.1 of FHWA (Federal Highway Administration, USA).

The analysis of climate changes are based on climatic data from Norwegian Meteorological Institute's weather stations 16610 Fokstugu and 60990 Vigra. The estimated changes are essentially based on the report "The effect of climate changes on the transport sector", the National Transport Plan 2010-2019, Report from a joint task group.

With respect to the various types of heavy vehicles and axle load distributions for Norwegian conditions, data from "Vegkapitalprosjektet" have been applied.

The M-E PDG computations are calibrated to Norwegian conditions through a comparison of computation results with yearly rut depth measurements from 2000 to 2009 for a number of observation sections established as a part of Vegkapitalprosjektet.

The M-E PDG analyses do not include rut depth development due to wear from studded tires. The estimated rut depth development due to the wear from studded tires is based on a model from VTI, the Swedish National Road and Transport Research Institute. The total rut depth development is assumed to be the sum of rut depth development caused by the wear from studded tires and from the deformations in the asphalt layers, the unbound granular layers and in the subgrade.

The rut depth development from deformations of the asphalt layers shows a small increase from the present climatic situation to the future situation. This can easily be explained by a small increase in the asphalt temperature in the summer. For the deformations in the granular layers and in the subgrade the situation the results are somewhat more complex. Less frost in the winters and smaller frost heaves in frost susceptible materials, create less deformation during the spring thaw periods. This impact is generally greater than the increase in rut depth development caused by an increased rainfall and higher water content in the materials during summer and fall.

In total the climatic changes give a reduction of the total rut depth development for the major part of E 136 in Oppland and Møre og Romsdal counties. For the part based on climatic data from Vigra, the positive effect of less frost is in balance with the negative effect of increased precipitation. The estimated average rut depth development due to deformation is 0,677 mm/year for the present situation and 0,680 mm/year for the future situation.

Innhold

Sammendrag	2
Summary	3
1 Innledning	5
2 Modifisering av icm-filer	5
3 Datagrunnlaget for Ev 136	6
4 Beregningsforutsetninger	9
5 Resultater Ev 136 i Møre og Romsdal	10
6 Resultater Ev 136 i Oppland	13
7 Sammenlikning Fokstugu og Vigra klimastasjoner	17
8 Sporutvikling på grunn av piggdekkslitasje	20
9 Konklusjoner	20

Vedlegg 1: Klimaendringer frem til 2100

Vedlegg 2: Beregningsforutsetninger i M-E PDG, materialer

Vedlegg 3: Delprosjektbeskrivelse Dp5

Vedlegg 4: Prosjektrapporter fra 'Klima og transport'

For the part based on climatic data from Fokstugu, the positive effect of less frost in granular material is generally larger than the negative effect of increased precipitation. The estimated average rut depth development due to deformation is 1,022 mm/year for the present situation and 0,970 mm/year for the future situation.

Assuming that the wear from studded tires causes a rut depth development of 0,55 mm/year, the estimated average service life is 11,4 years for both present and future climatic situations for the part of E 136 where the Vigra climatic data are applicable, and 8,9 and 9,2 years for the present and future climatic situations for the part of E 136 where the Fokstugu climatic data are applicable. All estimated service lives are based on a maintenance standard of 25 mm for the 90-percentile of the rut depth.

This study does not include estimations of the impact of climatic changes on other performance indicators than rut depth, such as longitudinal evenness (IRI), development of cracks, potholes, etc. The reason for the focus on the impact on rut depth development is twofold: Necessary background data on other performance indicators such as potholes cracks, etc, are very limited, and rut depth is the performance indicator which for most roads in Norway triggers maintenance activities on pavements.

1 Innledning

Dette notatet bygger på notat ”Klima og Transport, DP 5 Tilstandsutvikling på vegnettet. Klimaendringer frem til 2100” av 18. januar 2010, se Vedlegg 1.

2 Modifisering av icm-filer

Modifisering av icm-filer som benyttes av Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide ved beregning av forventet tilstandsutvikling er gjennomført ved hjelp av programmet Enhanced Integrated Climatic Model, EICM, versjon 3.02. Begge programmene er utviklet av FHWA i USA.

Standardiserte klimadata fra Meteorologisk institutt kan med noen enkle tilpasninger benyttes i EICM for å produsere datafiler som inngår i beregningene i M-E PDG. Dataene er hentet fra meteorologisk institutt ved hjelp av programmet eklisma. Følgende data benyttes.

- Maksimumstemperatur per dag
- Minimumstemperatur per dag.
- Nedbør per dag
- Gjennomsnittlig skydekkefaktor per dag
- Gjennomsnittlig vindhastighet per dag.

EICM kan lese metriske datafiler, men det kreves følgende konverteringer før dataene leses inn i EICM.

- Vindhastighet omregnes fra m/sek til km/time
- Skydekkefaktoren omregnes fra 1/8-deler til % solskinn

I tillegg til disse dataene må det manuelt legges inn data for dybden til grunnvannstand. I denne delen av analysen er det konsekvent lagt inn grunnvannstand 2,0 meter under vegoverflaten.

Programmet EICM benyttes til å konvertere klimadataene til det engelske enhetssystem samt å produsere timesdata fra de daglige dataene. For temperatur beregnes verdier time for time basert på de daglige maksimums- og minimumstemperaturer. For nedbør blir den daglige nedbøren lagt inn kl 1100 for den enkelte dag. For % solskinn og gjennomsnittlig vindhastighet settes gjennomsnittsverdiene for alle døgnet 24 timer.

Klimadata med dataformat som kreves for icm-filer, er vanskelig å arbeide med i EXCEL eller med andre manuelle metoder. Utfordringen er først og fremst knyttet til datafilenes størrelse. Timesdata for 10 år gir datafiler med i størrelsesorden 80 000 linjer. M-E PDG aksepterer også et annet format, hcd-format som har en enklere datastruktur.

For å konvertere icm-filer til hcd filer er det laget et spesielt script. I tillegg er det lagt til rette for at hcd-filene inneholder informasjon om gjennomsnittlig luftfuktighet. Data for luftfuktighet er lagt inn ut fra egne datafiler hentet fra Meteorologisk institutt

ved hjelp av programmet eklima. Dataene er hentet ut for de samme tidsserier som er benyttet for de øvrige klimadataene.

Klimadataene for perioden 2000 (2001) til 2008 er omarbeidet for å være representative for antatt klima i perioden 2070-2100 slik det er beskrevet i notatet ”Klima og Transport, DP 5 Tilstandsutvikling på vegnettet. Klimaendringer frem til 2100” av 18. januar 2010.

- Nedbørsdataene er gitt en prosentvis økning.
- Temperaturen er modifisert ved hjelp av en lineær regresjon.
- Solskinn og vind er ikke endret, delvis ut fra antagelsen om at disse faktorene er av underordnet betydning for vegens tilstandsutvikling.

Når hcd-filene benyttes i M-E PDG, starter programmet med en konvertering av klimadataene på hcd-format til nye datafiler på icm-format. Disse datafilene kan da sammenliknes med de opprinnelige icm-filene som en kontroll. I tillegg til de modifikasjoner som er beskrevet ovenfor, blir det automatisk også lagt inn gjennomsnittsverdier for lufttemperatur (gjennomsnitt per måned).

I denne delen av analysen har man benyttet klimadata for følgende stasjoner.

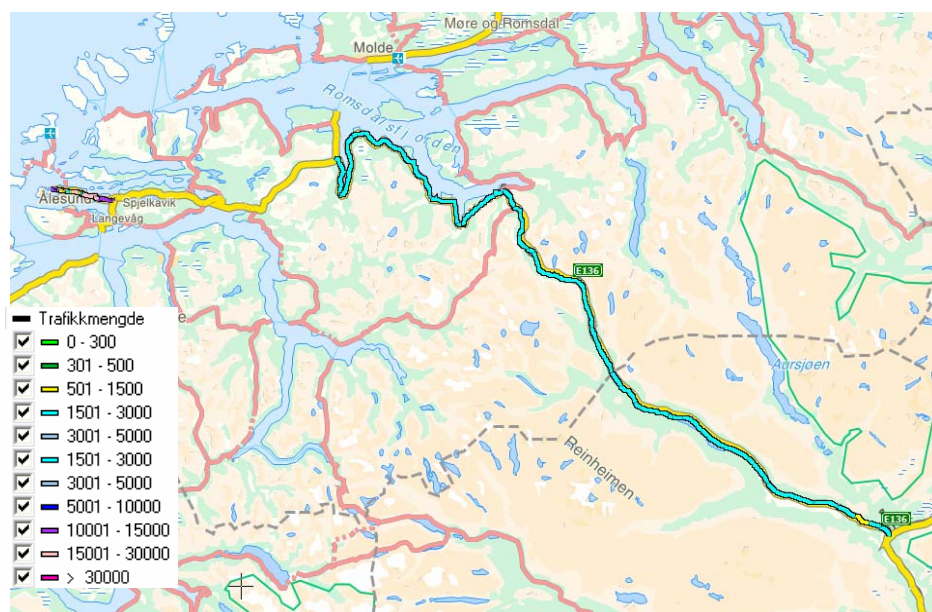
For Ev136 i Oppland:	16 610 Fokstugu
For Ev 136 i Møre og Romsdal:	60 990 Vigma

For konvertering av hcd-filer til icm-filer kreves det at informasjon om den enkelte klimastasjon er lagt inn i en tekstfil ”station.dat”. En har så langt ikke registrert noen konflikt (lik nummerering) mellom de norske klimastasjonene i forhold til de klimastasjonene i USA, som allerede er lagt inn i tekstfilen.

3 Datagrunnlaget for Ev 136

Datagrunnlaget for Ev 136 omfatter først og fremst trafikkmengden på strekningen, samt data for vegoverbygningen.

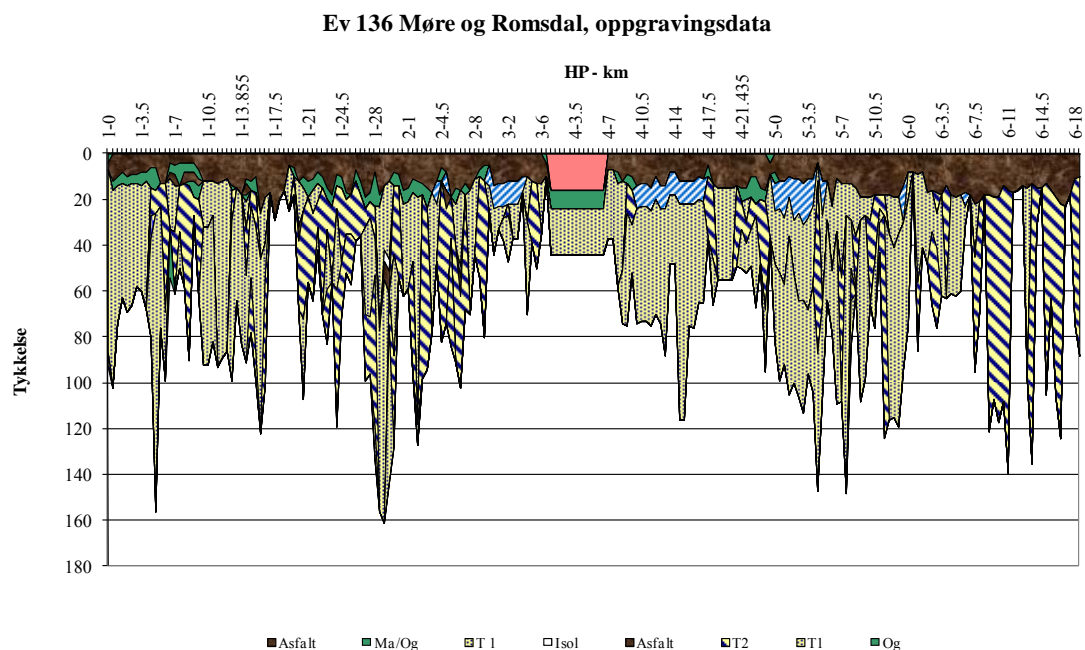
Mens datagrunnlaget for vegoverbygningen har store variasjoner over korte strekninger, er det relativt små variasjoner i trafikkmengdene, slik det bl.a. fremgår av figur 1 nedenfor.



Figur 1.. ÅDT for Ev 136 i Oppland og Møre og Romsdal, fra NVDB 123.

På de meste av strekningen varierer trafikkmengden fra ca 1700 med 26 % tunge kjøretøy til ca 2600 med 20 % tunge kjøretøy. ÅDT tunge varierer dermed fra ca 440 til 520, med hovedtyngden i den nedre delen. Disse variasjonene må ansees små i forhold til de andre variasjonene. Det foreligger ikke oppgravingsdata for strekningene med høyere ÅDT (strekningen Spjelkavik – Ålesund). En har derfor som er grovt gjennomsnitt gjennomført analysene basert på ÅDT tunge lik 450 med en årlig trafikkvækst på 2 %.

Figur 2 nedenfor gir et bilde av de relativt store variasjonene man har for vegoverbygningen på strekningen. Figuren er basert på data fra vegdatabankens Oppgravingsregister.



Figur 2. Oppgravingsdata for Ev 136 i Møre og Romsdal

Å gjennomføre analyser av tilstandsutviklingen basert på dataene for oppgraving hver 500 meter, blir en svært omstendelig og tidkrevende oppgave. En har derfor vært nødt til å etablere typiske vegstrekninger ut fra en inndeling basert på:

- Grunnens bæreevnegruppe
- Asfalt, penetrert pukkk, velgraderte materialer i vegfundamentet (telefarlig eller ikke telefarlig)

Basert på denne klassifisering har man fått 18 typiske vegstrekninger for Ev 136 i Oppland og 18 typiske strekninger i Mære og Romsdal. I denne inndelingen inngår ikke betongstrekningen på HP 4 vest for Åndalsnes i Møre og Romsdal, samt diverse mindre strekninger hvor materialet i grunnen er klassifisert som ”Myr”. Det er antatt at M-E PDG ikke fungerer tilfredsstillende for slike strekninger. Noen nøkkeltall for de 36 typiske strekningene er vist i tabellene 1 og 2 nedenfor.

Bæreevne-gruppe	Materiale i grunnen	Antall oppgr.punkter	Tykkelse asfaltdekke	Tykkelse asfaltbærelag	Tykkelse ikke telef. granulære lag, T1	Tykkelse noe telef. granulære lag, T2	Tykkelse telef geranulære lag, T3
1	Fjell/stein	3	6.7	19.0	20.0		
		2	6.0	13.0		53.0	
		1	6.0	20.0	130.0	50.0	
2	T1 Grus	3	6.7	19.0	19.0		
		2	8.0	20.0	105.0	50.0	
		6	13.2	16.7			
3	T2 Grus	38	6.9	23.3	17.9		
		2	6.0	20.0	26.5	44.0	7.5
		3	5.4	21.3		31.0	
4	T2 Sand	1	6.0	14.0	22.0	75.0	
5	T3 Grus	10	7.2	18.2	37.0		
		2	7.4	13.0		62.5	
		16	10.1	12.2	28.9	33.1	
6	T4	8	18.1	6.1	22.4		15.0
		1	4.0	84.0			
		1	19.0		70.0		
		4	8.4	14.5	28.5	48.3	
		14	12.6	32.0	22.9	44.3	

Tabell 1. Inndeling i typiske vegstrekninger, Ev 136 i Oppland

Bæreevne-gruppe	Materiale i grunnen	Antall oppgr.punkter	Tykkelse asfalt	Tykkelse penetrert pukkk	Tykkelse ikke telef. granulære lag, T1	Tykkelse noe telef. granulære lag, T2
1	Fjell	7	12.7	9.6	42.9	
		15	13.7		59.9	
		13	14.8		41.3	21.2
2	T1 grus	7	12.0	9.1	46.6	
		9	17.6		36.8	
		7	14.6			82.1
3	T2 grus	3	14.7		32.0	21.7
		8	11.1	11.9	38.0	
		5	14.4		42.4	
4	T2 sand/grus	7	11.5	11.1	33.7	
		26	14.8		30.4	
		21	14.3			49.1
5	T3 Grus	15	13.3		32.0	34.3
		1	11.4		45.0	
		3	11.0			43.0
6	T4 leire	1	22.0		23.0	50.0
		5	11.4		78.4	
		7	14.3		26.3	36.0

Tabell 2. Inndeling i typiske vegstrekninger, Ev 136 i Møre og Romsdal

For hver av disse 36 typiske strekningene er det ved hjelp av programmet M-E PDG gjennomført beregninger av forventet årlig sporøkning på grunn av deformasjoner. Gjennomsnittlig årlig økning er definert som gjennomsnittet fra 5 år til 20 år etter at

vegen er åpnet for trafikk. Dette er gjort for å holde deformasjonene de første årene etter byggingen utenfor beregningene.

For hver delstrekning er det gjennomført beregninger basert på dagens situasjon (dvs. 2000-2008), og for fremtidig situasjon (dvs. 2070-2100). For Ev 136 i Oppland er klimadataene for stasjon 16 610 Fokstugu benyttet, for Ev 136 i Møre og Romsdal er klimadataene for stasjon 60 990 Vigra lagt til grunn for beregningene.

Som en separat analyse er i tillegg en del delstrekninger knyttet til Ev 136 i Møre og Romsdal fra Oppland grense til Romsdalshorn (fra HP 1 km 0 til HP 2 km 4,0) analysert basert på klimadata fra både 16 610 Fokstugu og 60 990 Vigra.

4 Beregningsforutsetninger

Beregningsforutsetningene i M-E PDG er i det alt vesentlige de samme som ble benyttet i vegkapitalprosjektet.¹

Med hensyn på tungtrafikkens sammensetning er dette basert på svenske BWIM-data² (Bridge Weigh-in-motion) tilpasset norske forhold (først og fremst med hensyn på forskjellen i tillatt totalvekt for vogntog). I denne analysen er trafikksammensetningen for stamveger benyttet.

De viktigste data for materialeegenskapene i programmet er gjengitt i Vedlegg 2. Dette er uendret i forhold til grunnlaget i Vegkapitalprosjektet.

Kalibrering av beregningene til norske forhold var basert på et sett av oppfølgingsstrekninger som ble etablert som en del av Vegkapitalprosjektet. Det alt overveiende del av disse strekningene var på Østlandet og i Sør-Trøndelag. Antall oppfølgingsstrekninger ble i NordFoU-prosjektet Pavement Models utvidet med strekninger i Troms og på Vestlandet. Kalibreringen i Vegkapitalprosjektet var basert på versjon 0.7 av M-E PDG. Kalibrering måtte derfor gjøres på nytt basert på versjon 1.1 som er den versjonen som er benyttet i denne analysen. I tillegg inngikk registrert tilstandsutvikling til og med 2009-målinger i kalibreringen.

Basert på resultatet av denne analysen er det i alle beregninger benyttet en kalibreringsfaktor 8,5. Programmet gir mulighet for å benytte separate faktorer for bituminøse lag, for granulære lag i overbygningen og for grunnen. Det hadde selvfølgelig vært ønskelig å utnytte denne muligheten, men vi har ikke data som gir noe grunnlag for å benytte forskjellige faktorer for disse. Samme verdi er benyttet for alle tre faktorer.

¹ Vegkapital, Delprosjekt Veg, Tilstandsutviklingsmodeller for vegfundament og vegdekke, rapport fra ViaNova Plan og Trafikk AS til Vegdirektoratet, desember 2005.

² BWIM-mätningar 2002 och 2003 Slutrapport, VV Publ 2003:165, samt detaljdata stilt til rådighet av Vägverket, Sverige.

5 Resultater Ev 136 i Møre og Romsdal

Noen av de viktigste resultatene er vist i figurene 3 – 7 nedenfor. Man må legge merke til at de vertikale skalaene for årlig sporutvikling ikke er den samme i disse figurene.

Resultatene i figurene 3 – 7 er fremkommet ved at man har tatt utgangspunkt i Vegdatabankens Oppgravingsregister hvor det i hovedsak finnes oppgravingsdata for hver 500 meter veg. For å holde analysemengden på et akseptabelt nivå, tids- og kostnadmessig, er det med utgangspunkt i oppgravingsdataene etablert et sett av typiske vegstrekninger som beskrevet ovenfor.

Forventet tilstandsutvikling med hensyn på spor er for hver av de typiske vegstrekningene analysert ved hjelp av programmet M-E PDG (Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide), versjon 1.1 fra FHWA i USA. Resultatene for de forskjellige typiske vegstrekninger er antatt å være representative for de oppgravingspunkter som var grunnlaget for etableringen av hver enkelt av de typiske vegstrekninger, med det resultat som er vist i figurene 3 – 7.

Vektete gjennomsnitt av sporøkning på grunn av deformasjoner er vist i tabell 3 nedenfor for Ev 136 i Møre og Romsdal.

	Dagens situasjon	Fremtidig situasjon	differanse
Totalt	0,677 mm/år	0,680 mm/år	0,003 mm/år
Asfalterte lag (dekke + bærelag)	0,252 mm/år	0,257 mm/år	0,006 mm/år
Granulære lag i overbygningen	0,188 mm/år	0,182 mm/år	-0,006 mm/år
Grunnen	0,239 mm/år	0,242 mm/år	0,003 mm/år

Tabell 3. Vektet middel for årlig økning i spordybde på grunn av permanente deformasjoner, Ev 136 i Møre og Romsdal

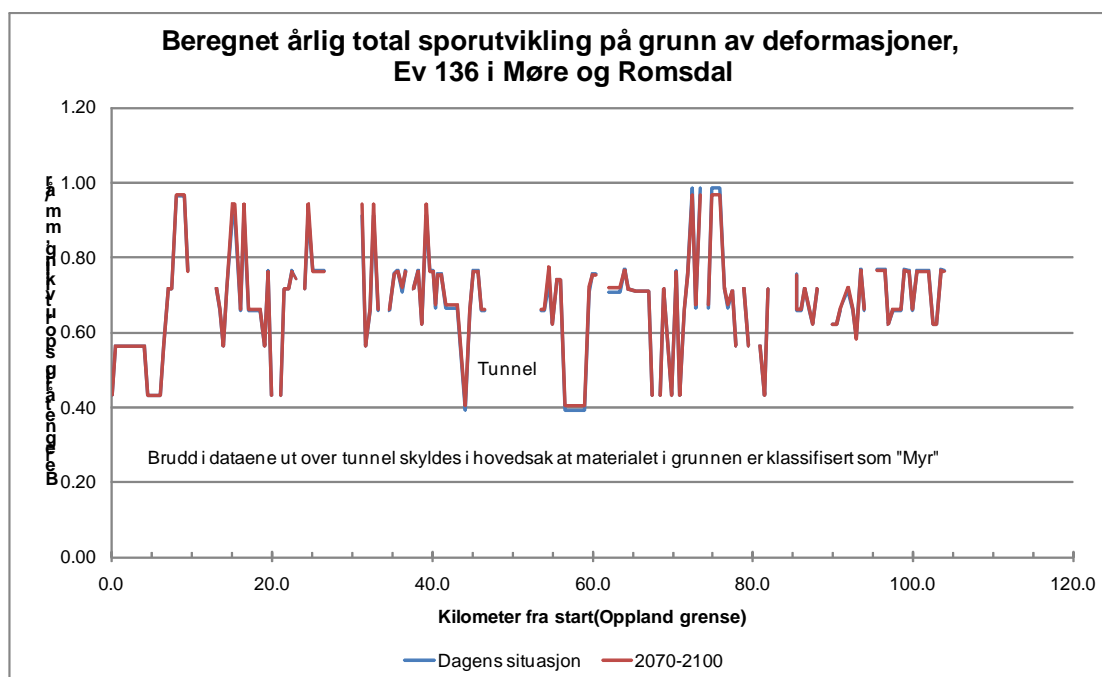
Det generelle inntrykk er at klimaendringene slik de er angitt for 60 990 Vigra, har en beskjeden innvirkning på beregnet sporutvikling. Av figur 9 ser en at det er en overvekt av delstrekninger som har en liten økning i forventet sporutvikling, men resultatene er ikke systematiske.

Man må spesielt legge merke til en systematisk reduksjon i sporutviklingen på grunn av permanente deformasjoner i de granulære lag i overbygningen. Dette innebærer sannsynligvis at reduksjonen i deformasjonen i teleløsningsperioden på grunn av mindre frost og telehiv mer enn oppveier den økning som skyldes mer nedbør. Noen nøkkeltall fra klimadataene i beregningene er vist i tabellen nedenfor.

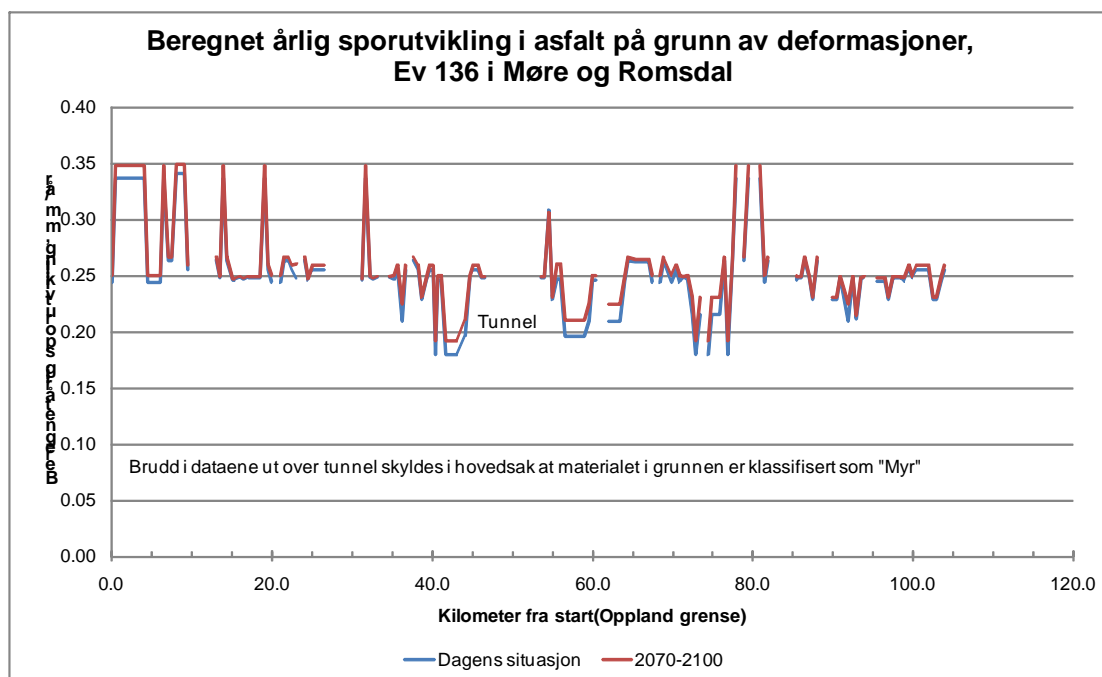
	Normalen 1961-1990 Håndbok 018	Dagens situasjon 1.1.2001-31.12.2008	Fremtidig situasjon 2070 - 2100
Årsmiddeltemperatur	6,9 °C	8,3 °C	9,7 °C
Årlig nedbør	1310 mm	1430 mm	1663 mm
Frostmengde, middel	0 h°C	800 h°C	90 h°C

Tabell 4. Nøkkeltall fra klimadataene i beregninger basert på 60 990 Vigra

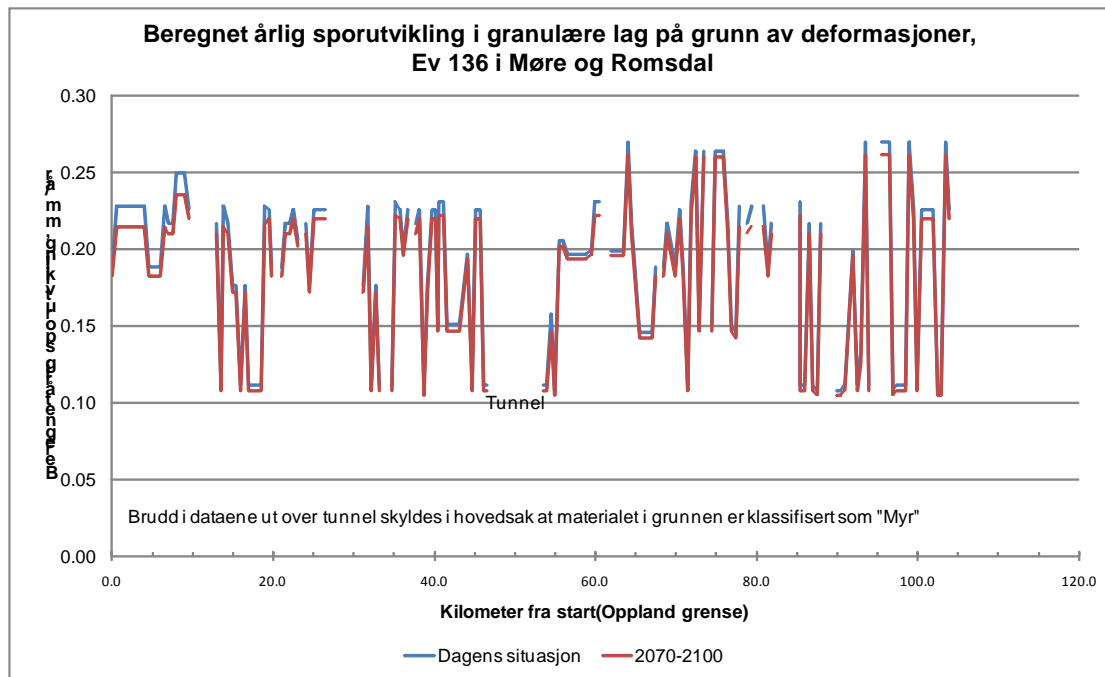
I forhold til normalen for Vigra basert på data i perioden 1961 – 1990 viser tidsseriene noe større spredning med hensyn på temperatur. Årsmiddeltemperaturen er høyere samtidig som frostmengden er noe høyere. Det må i den forbindelse bemerkes at normalverdien for frostmengde er hentet fra Vedlegg 2 i håndbok 018.



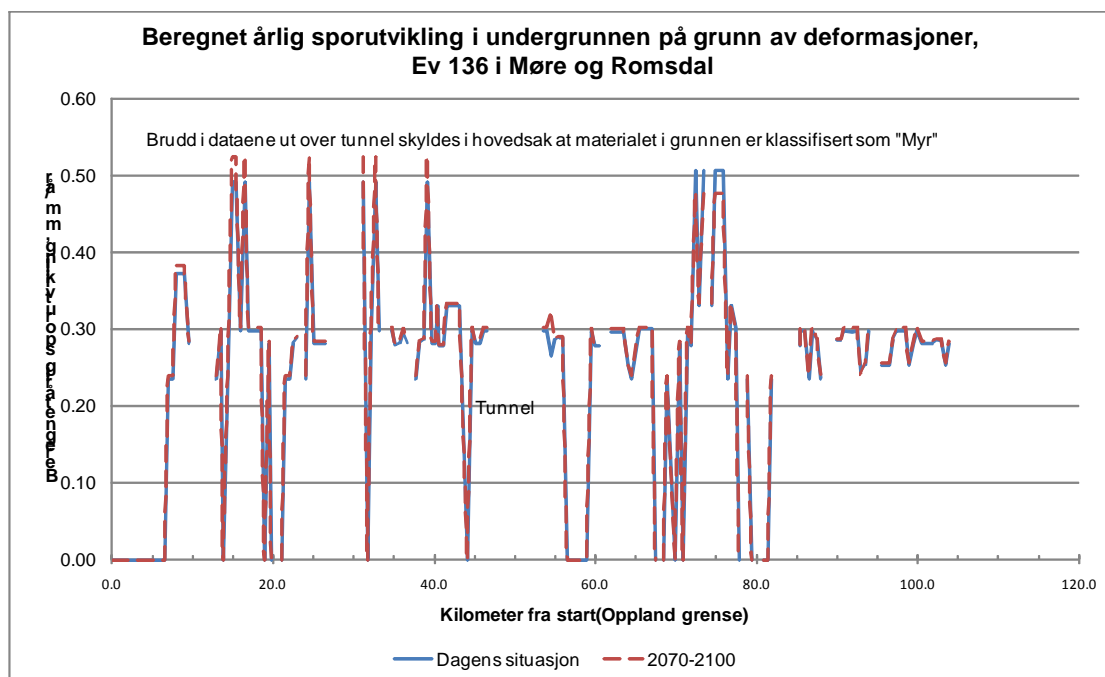
Figur 3. Beregnet årlig total sporutvikling på grunn av deformasjoner, Ev 136 i Møre og Romsdal



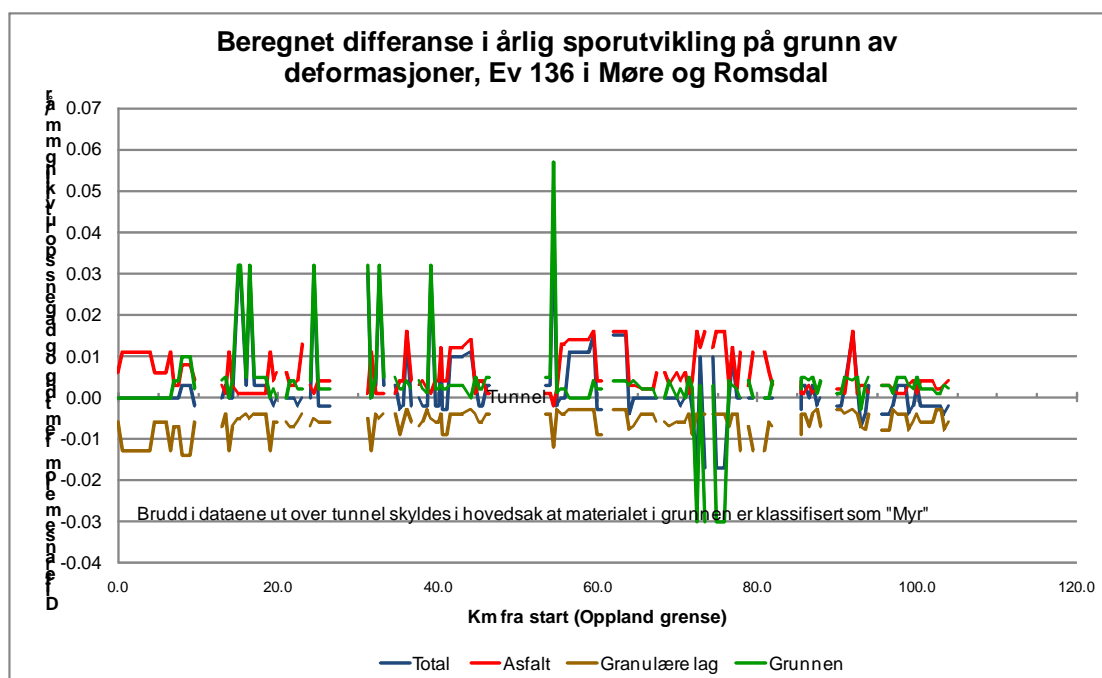
Figur 4. Beregnet årlig sporutvikling i asfaltlagene på grunn av deformasjoner, Ev-136 i Møre og Romsdal



Figur 5. Beregnet årlig sporutvikling i granulære lag på grunn av deformasjoner, Ev-136 i Møre og Romsdal



Figur 6. Beregnet årlig sporutvikling i grunnen på grunn av deformasjoner, Ev-136 i Møre og Romsdal



Figur 7. Beregnede differanser i årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner, Ev-136 i Møre og Romsdal

6 Resultater Ev 136 i Oppland

Figurene 8 – 12 viser beregningsresultatene for årlig sporutvikling på Ev 136 i Oppland. Det generelle inntrykk av disse resultatene er at total sporøkning på grunn av deformasjoner er større i Oppland (Fokstugu) enn i Møre og Romsdal (Vigra) samtidig som det er mindre variasjoner over strekningen enn det man fikk for Ev 136 i Møre og Romsdal. Dette er primært på grunn av mindre variasjoner i vegens overbygning.

Tabell 5 viser vektete middelerverdier for Ev 136 i Oppland. Totalsporene for Ev 136 i Oppland er under dagens situasjon ca 50 % høyere enn for strekningen av Ev 136 i Møre og Romsdal. Den største forskjellen mellom strekningen i Oppland og Møre og Romsdal finner man for deformasjoner i grunnen og i de granulære lagene i overbygningen.

	Dagens situasjon	Fremtidig situasjon	differanse
Totalt	1,022 mm/år	0,970 mm/år	-0,051 mm/år
Asfalterte lag (dekke + bærelag)	0,283 mm/år	0,312 mm/år	0,029 mm/år
Granulære lag i overbygningen	0,328 mm/år	0,313 mm/år	-0,015 mm/år
Grunnen	0,411 mm/år	0,345 mm/år	-0,066 mm/år

Tabell 5. Vektet middel for årlig økning i spordybde på grunn av permanente deformasjoner, Ev 136 i Oppland

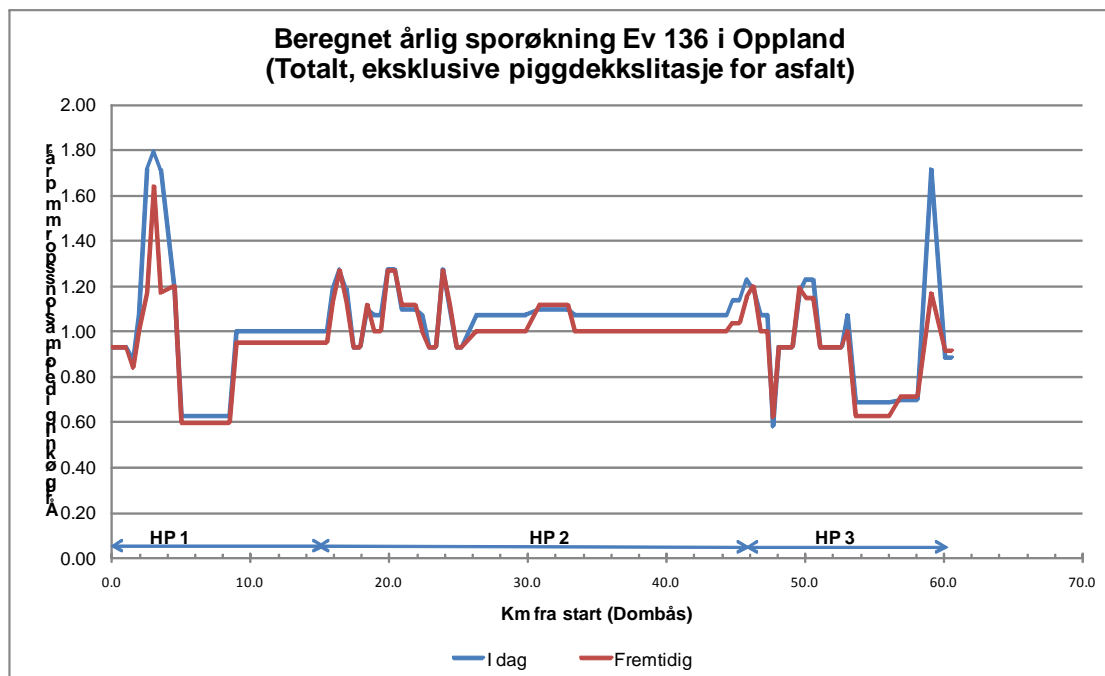
Tabell 5 viser også at man totalt har mindre sporutvikling på grunn av deformasjoner i den fremtidige situasjon enn man har under dagens situasjon. Det antas at årsaken til dette er deformasjoner i teleløsningsperioden, et forhold som kommer enda større til uttrykk for strekninger basert på klima relatert til klimastasjonen Fokstugu enn for strekninger relatert til klimastasjonen Vigra.

	Normalen 1961-1990 Håndbok 018	Dagens situasjon 1.1.2001-31.12.2008	Fremtidig situasjon 2070 - 2100
Årsmiddeltemperatur	-0,1 °C	1,1 °C	3,6 °C
Årlig nedbør	435 mm	454 mm	513 mm
Frostmengde, middel	25 000 h°C	25 000 h°C	14 000 h°C

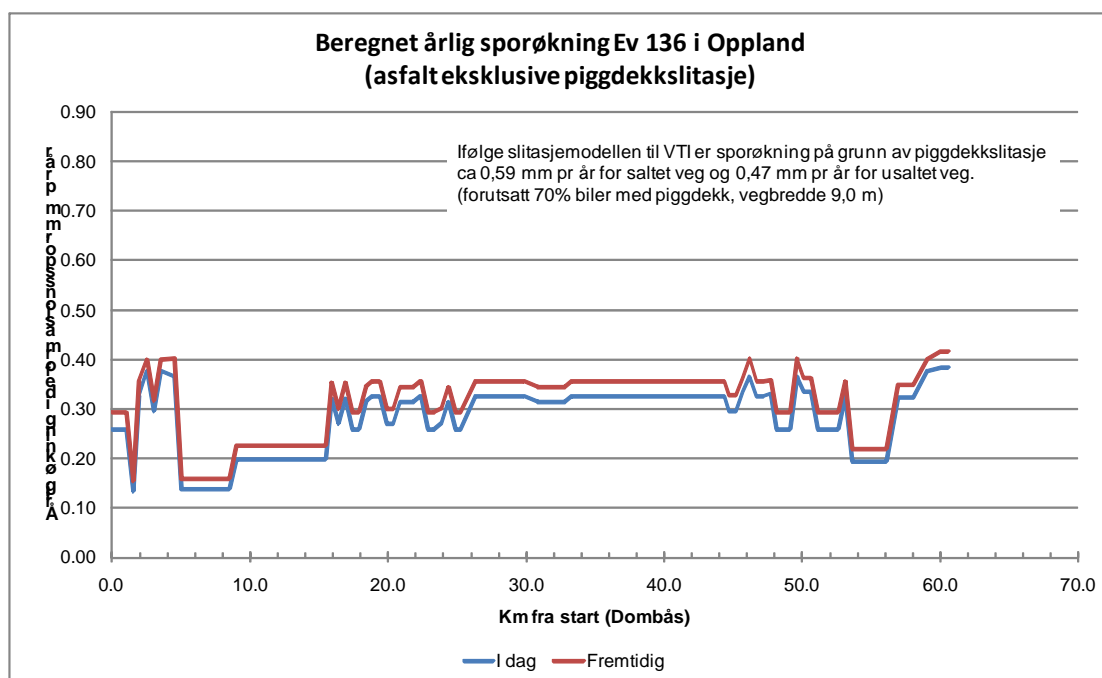
Tabell 6. Nøkkeltall fra klimadataene i beregninger basert på 16 610 Fokstugu

Noen nøkkeltall for klimadataene i beregningene basert på Fokstugu er vist i tabell 6. Spesielt med hensyn på frostmengden er det en betydelig forskjell mellom dagens situasjon og den fremtidige situasjon.

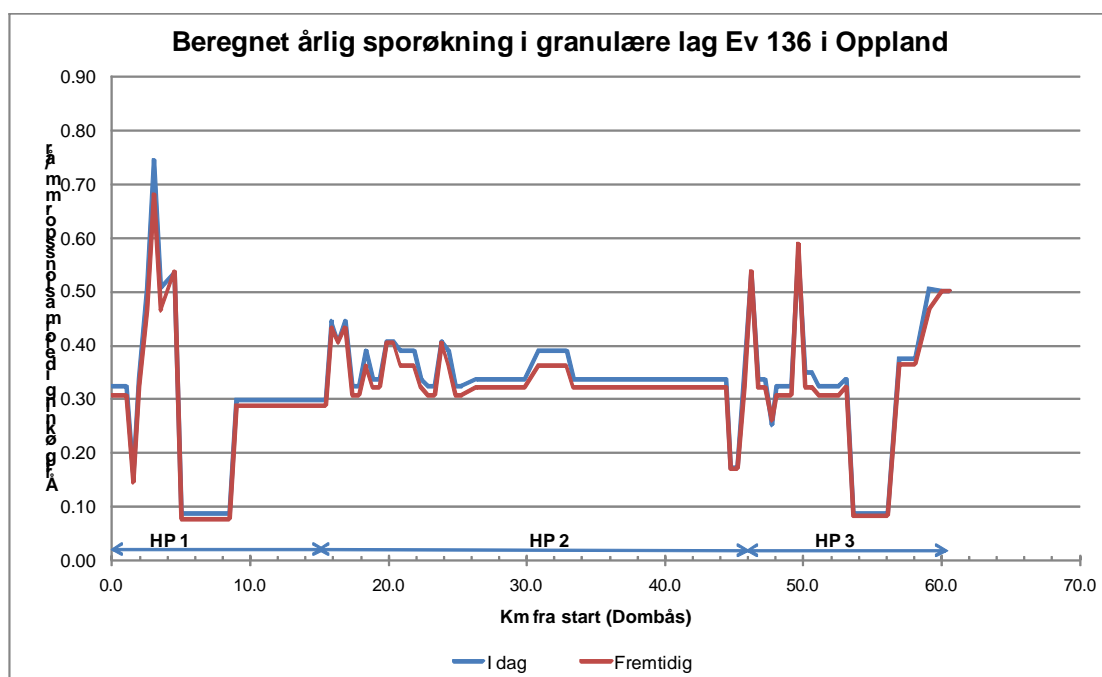
Resultatene viser en overvekt av strekninger hvor årlig sporutvikling er mindre ved de fremtidige klimadataene enn ved klimadata for dagens situasjon. Det er en tendens til at årlig utvikling i deformasjonssporene for asfalt øker, men dette blir overskygget av reduksjonene i deformasjonssporene i de granulære lagene og i grunnen.



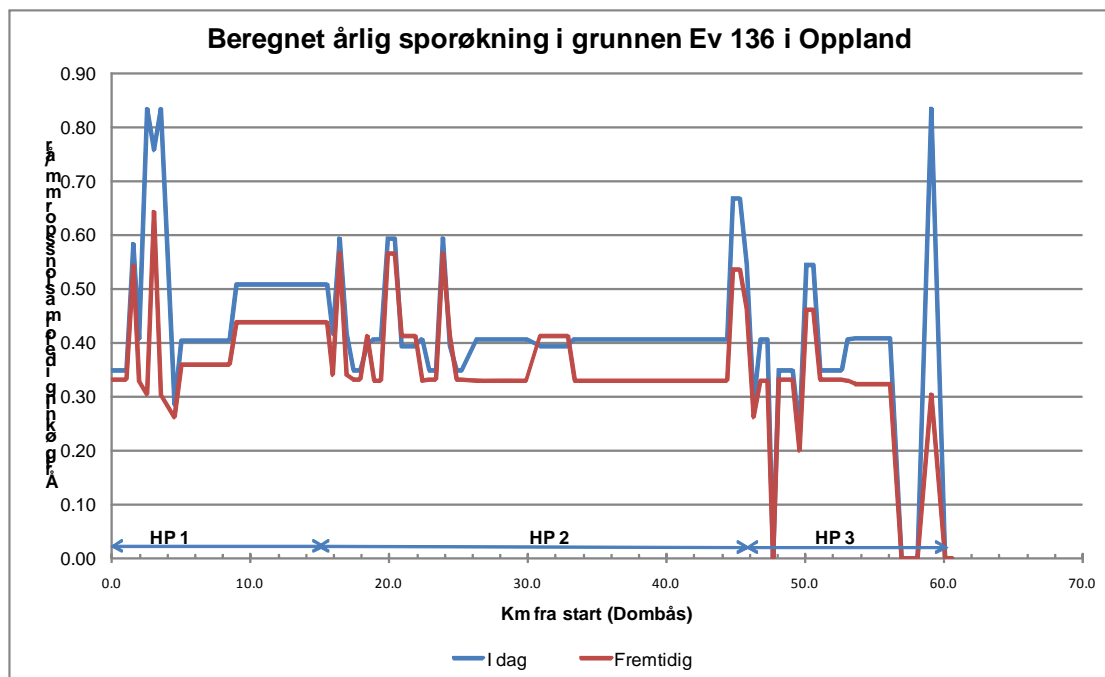
Figur 8. Beregnet årlig total sporutvikling på grunn av deformasjoner, Ev 136 i Oppland



Figur 9. Beregnet årlig sporutvikling i asfaltlagene på grunn av deformasjoner, Ev 136 i Oppland

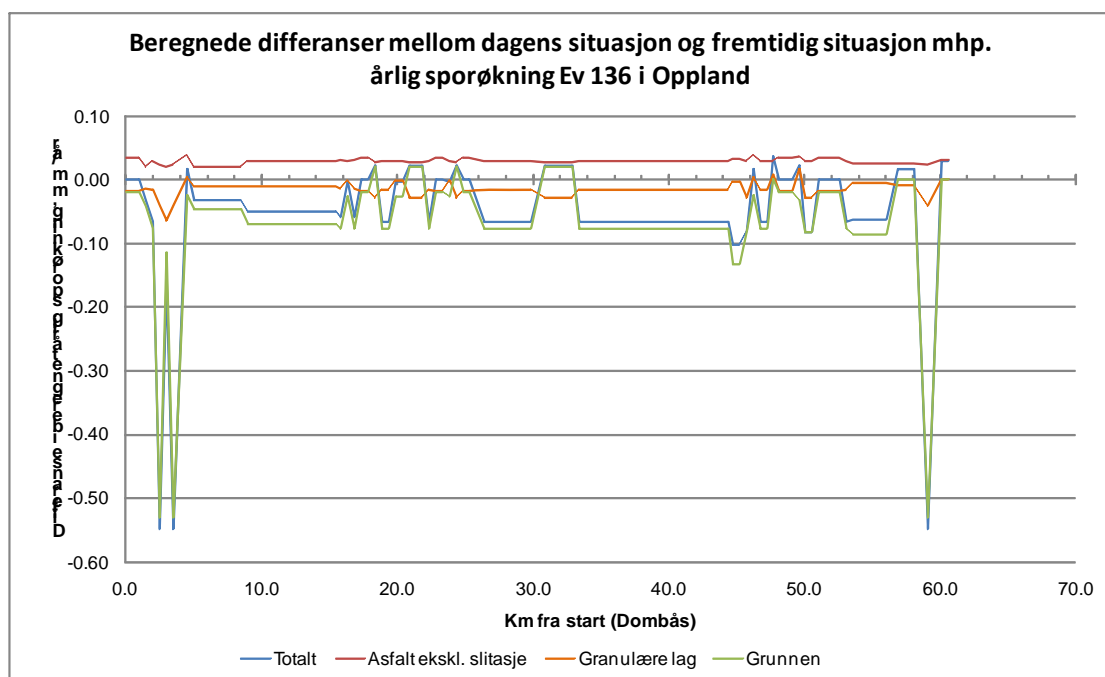


Figur 10. Beregnet årlig sporutvikling i de granulære lag på grunn av deformasjoner, Ev 136 i Oppland



Figur 11. Beregnet årlig sporutvikling i grunnen på grunn av deformasjoner, Ev 136 i Oppland

Figur 12 viser differensene i de resultatene som er vist i figurene 8 – 11, mer direkte.



Figur 12. Beregnede differanser i årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner, Ev-136 i Oppland

Av figur 12 ser en at endringene for deformasjonen i grunnen må oppfattes som ekstrem for tre av oppgravingspunktene. Resultatene for de tre oppgravingspunktene er basert på en typisk vegstrekning med kun 5 cm asfaltdekke og et vegfundament bestående av 21 cm ikke telefarlig og 31 cm telefarlig grus. Materialet i grunnen er i

Bæreevnegruppe 3. De store differensene skyldes spesielt store deformasjoner i dagens situasjon, som er nede på en mer normal sporutvikling i en fremtidig situasjon, sannsynligvis først og fremst på grunn av mindre frost.

7 Sammenlikning Fokstugu og Vigra klimastasjoner

Resultatene av den separate analysen av delstrekninger i Møre og Romsdal som er knyttet til strekningen fra Oppland grense til Romsdalshorn /HP 1 km 0,000 til HP 2 km 4,000) er vist i figurene 13-16. For hver delstrekning er det gjennomført følgende analyser:

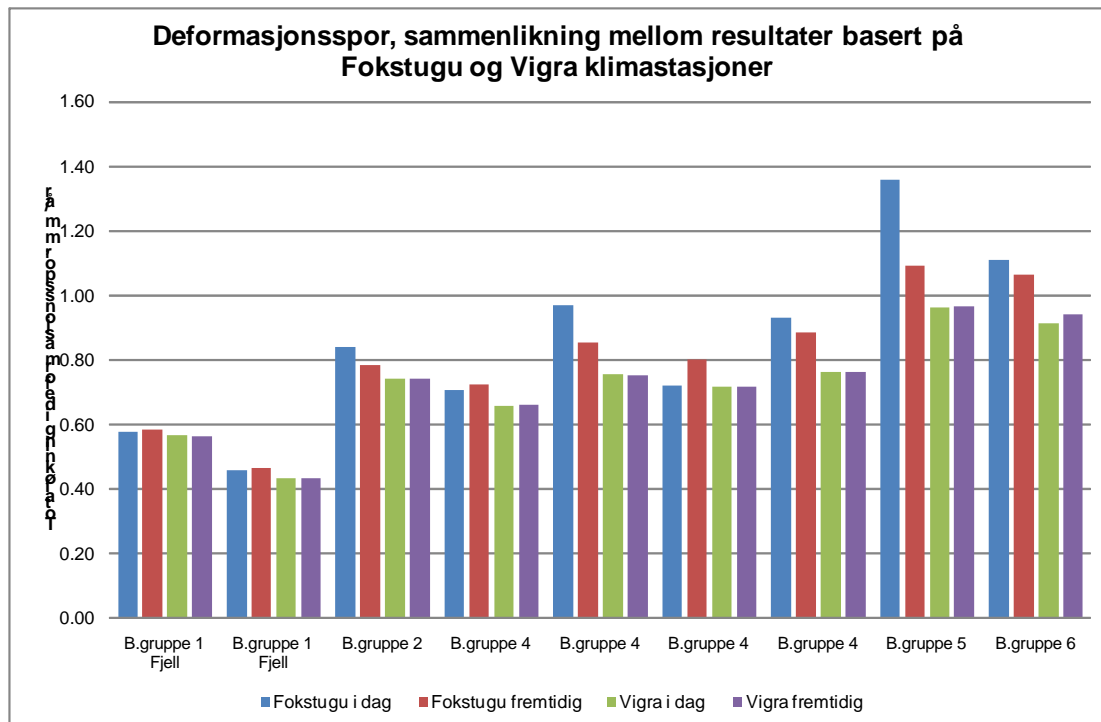
- Dagens klima Fokstugu klimastasjon
- Fremtidig klima, Fokstugu klimastasjon
- Dagens klima, Vigra klimastasjon
- Fremtidig klima, Vigra klimastasjon

Også ved vurdering av disse resultatene er det viktig å huske at de forskjellige delstrekninger må i liten grad vurderes opp mot hverandre all den stund både materialegenskaper og lagtykkelser varierer fra delstrekning til delstrekning.

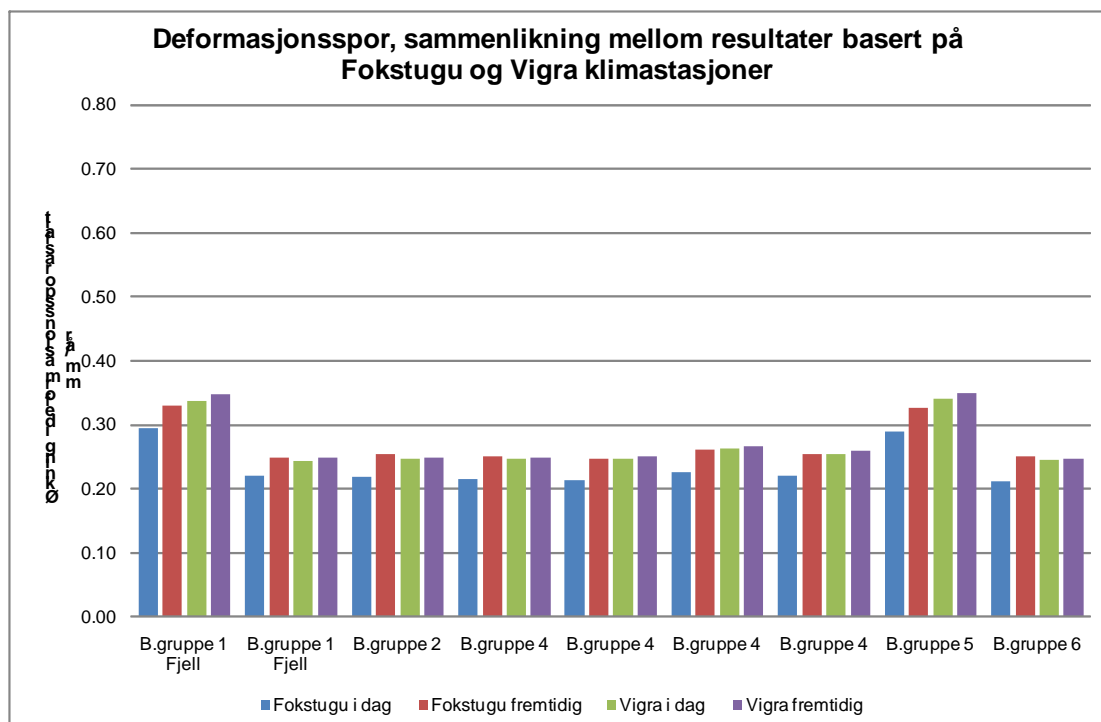
Av figur 13 ser en at man for noen av de typiske vegstrekningene har en tendens til at fremtidig sporutvikling er vesentlig mindre ved fremtidig klimadata enn ved dagens klimadata dersom man tar utgangspunkt i klimadataene for Fokstugu, mens forskjellen er ubetydelig dersom klimadataene for Vigra legges til grunn. For mange av delstrekningene er det for de fremtidige klimadataene små forskjeller mellom sporutviklingene basert på Fokstugu og Vigra.

For sporutviklingen i asfaltlagene er det en generell tendens til økning for beregninger basert på klimadataene for Fokstugu, mens forskjellen er mindre for klimadata for Vigra. Årsaken til dette er høyst sannsynlig forskjellen i forventede temperaturendringer. Endringen i årsmiddeltemperaturen er for Fokstugu 2,5°C (tabell 6) mens endringen er 1,4 °C for Vigra (tabell 4)

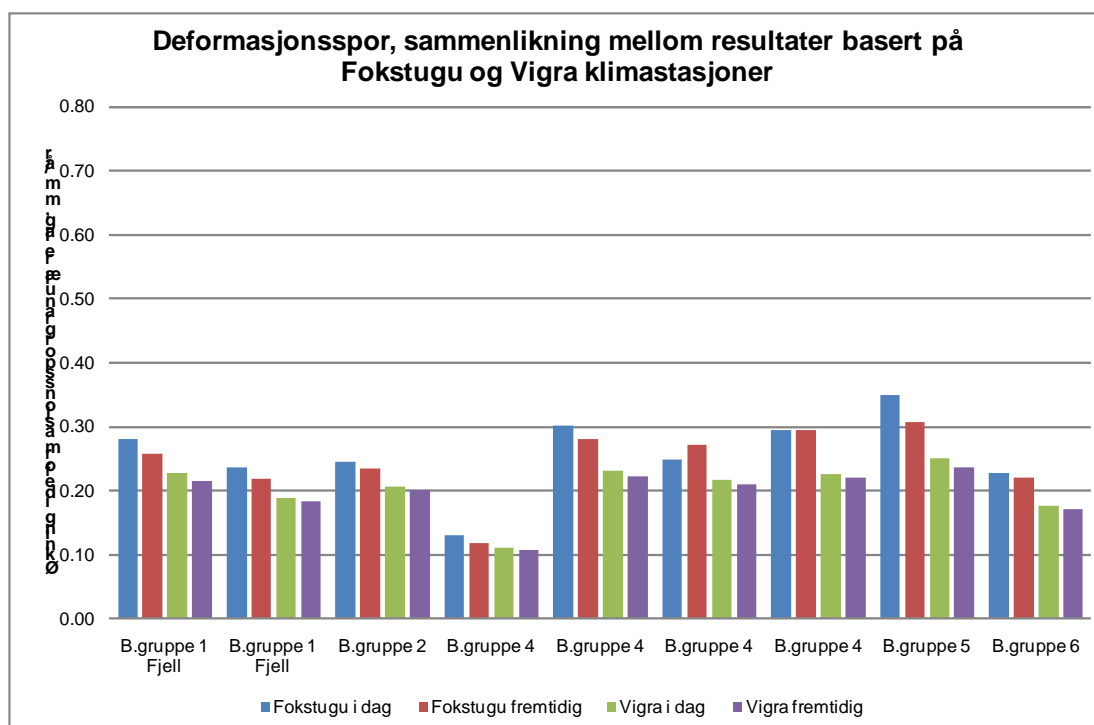
Man kan også legge merke til at tendensen til mindre sporutvikling for Fokstugu i en fremtidig situasjon enn i dagens situasjon er mer tydelig for deformasjoner i grunnen enn den er for deformasjoner i de granulære lag, antagelig på grunn av at frosten trenger i betydelig grad ned i grunnen, med tilhørende sporutvikling under teleløsningen om våren.



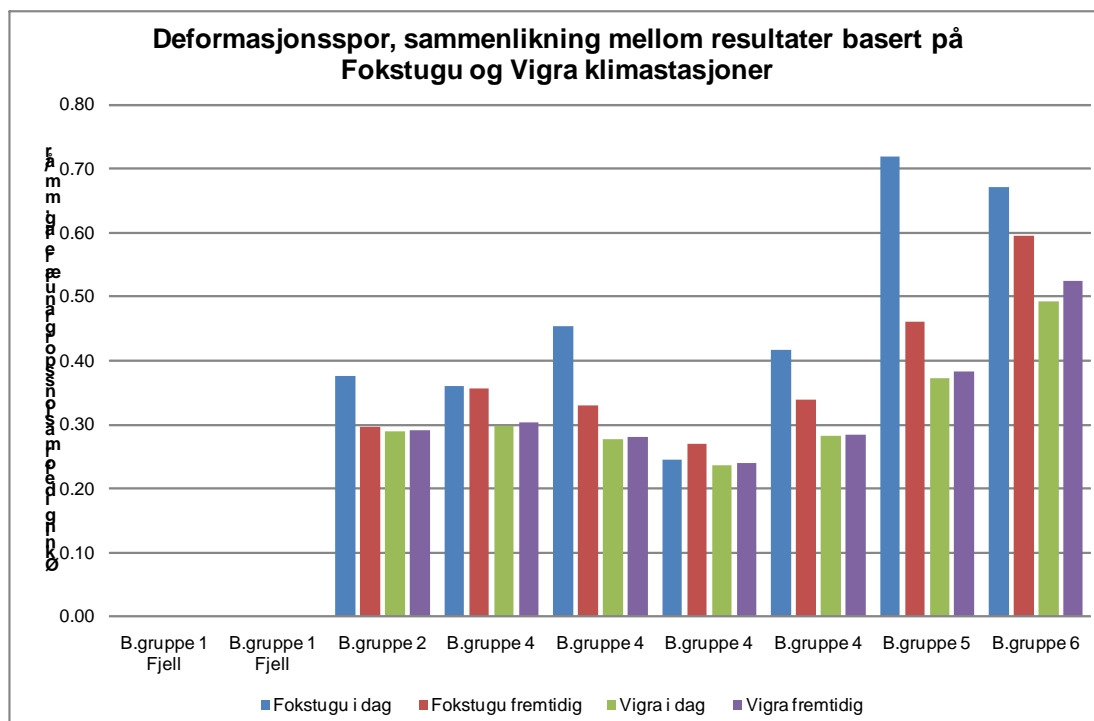
Figur 13. Beregnet årlig total sporutvikling på grunn av deformasjoner, Ev-136 i Møre og Romsdal, delstrekninger fra Oppland grense til Romsdalshorn. Sammenlikning Fokstugu og Vigra klimastasjoner.



Figur 14. Beregnet årlig sporutvikling i asfjallagene på grunn av deformasjoner, Ev-136 i Møre og Romsdal, delstrekninger fra Oppland grense til Romsdalshorn. Sammenlikning Fokstugu og Vigra klimastasjoner.



Figur 15. Beregnet årlig sporutvikling i de granulære lag på grunn av deformasjoner, Ev-136 i Møre og Romsdal, delstrekninger fra Oppland grense til Romsdalshorn. Sammenlikning Fokstugu og Vigra klimastasjoner.



Figur 16. Beregnet årlig sporutvikling i grunnen på grunn av deformasjoner, Ev-136 i Møre og Romsdal, delstrekninger fra Oppland grense til Romsdalshorn. Sammenlikning Fokstugu og Vigra klimastasjoner.

8 Sporutvikling på grunn av piggdekkslitasje

Alle vurderinger ovenfor er rettet mot deformasjonen i grunnen og i de forskjellige lagene i vegoverbygningen. For asfaltdekket har man i tillegg en ikke ubetydelig sporutvikling på grunn av piggdekkslitasje. Denne dekkes ikke av beregningsprogrammet M-E PDG og må analyseres særskilt.

Som et grunnlag for å estimere forventet sporutvikling er beregningsprogrammet til VTI benyttet. Basert på en antatt piggdekkandel på 70 % og gjennomsnittlig vegbredde inklusive skuldre på 9,0 m, får man en forventet årlig sporutvikling på 0,59 mm per år for saltet veg og 0,47 mm per år for usaltet veg.

Mildere klima, en lengre periode om vinteren med bar veg og en større andel av tiden med fuktig vegbane skulle tilsi en økning i piggdekkslitasjen. Ut fra klimadataene vil man imidlertid forvente at disse endringene er relativt små. Samtidig kan man forvente at mildere klima skulle tilsi en reduksjon i piggdekkbruken. Den viktigste enkeltfaktoren av betydning for piggdekkslitasjen er sannsynligvis vegholders strategi for vinterdriften, slik man bl.a. ser av forskjellen mellom saltet og usaltet veg ovenfor.

9 Konklusjoner

Den delen av Ev 139 som er analysert ved hjelp av programmet M-E PDG, omfatter 60,6 km i Oppland fylke og 81,1 km i Møre og Romsdal fylke. Dette utgjør ca 100 % av Ev 136 i Oppland og ca 70 % av Ev 136 i Møre og Romsdal. Manglende strekninger skyldes i hovedsak manglende oppgravingsdata. I tillegg kommer strekninger hvor grunnen består av myr hvor man har antatt at beregninger ved hjelp av M-E PDG ikke kan anvendes, samt veg i tunnel.

Totalt sett er vektet gjennomsnitt for beregnet sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalt, granulære lag i overbygningen og i grunnen, i størrelsesorden 1,022 mm/år for dagens klimasituasjon og 0,970 mm/år for den fremtidige klimasituasjon for den delen som ligger i Oppland. For den delen av Ev 136 som ligger i Møre og Romsdal er vektet gjennomsnitt for sporutviklingen i størrelsesorden 0,677 mm/år for dagens situasjon og 0,680 mm/år for den fremtidige situasjon. Dersom man i tillegg antar en sporutvikling i størrelsesorden 0,55 mm/år på grunn av piggdekkslitasje, får man at beregnet gjennomsnittlig dekkelevetid på grunn av spordybde er 8,9 år for dagens klimasituasjon og 9,2 år for den fremtidige klimasituasjon. For den delen som ligger i Møre og Romsdal er beregnet dekkelevetid på grunn av spordybde i størrelsesorden 11,4 år for både dagens og den fremtidige klimasituasjon. Tilstandsutviklingen med hensyn på jevnhet og/eller andre tilstandsparametre for vegdekkene inngår ikke i analysene i M-E PDG, men kan medvirke til å gjøre gjennomsnittlige dekkelevetider kortere.

I grunnlaget for beregningene over inngår det en antagelse om at forholdet mellom 90/10-verdier og middelerdier for spordybde er 1,43. Dette gjennomsnittlige forholdstallet har vært stabilt i de fleste årene hvor vegvesenet har gjennomført systematiske spormålinger på vegdekkene.

For alle delstrekninger som har vært analysert, er det en systematisk økning i sporutviklingen fra dagens situasjon til en fremtidig situasjon på grunn av

deformasjoner i asfaltlagene. Årsaken til denne økningen finner man i de forventede temperaturøkninger som gir temperaturøkninger i asfalten også.

Økningen i beregnet sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfaltlagene er relativt beskjeden. Det antas at dette skyldes at det er først og fremst er om vinteren at man får temperaturøkninger. Økningene i temperaturen på spesielt varme dager om sommeren, er relativt små. Man må kunne anta at det er relativt enkelt å kompensere for effekten av temperaturøkningene ved at man i fremtiden i noe større grad benytter hardere bindemidler i asfaltdekkene enn hva som er vanlig i dag. Risikoen for negative konsekvenser av dette, f.eks. i form av lavtemperatursprekker, er små som en følge av at temperaturspranget mellom varme dager om sommeren og kalde dager om vinteren blir mindre.

For sporutviklingen på grunn av deformasjoner i de granulære lagene i vegoverbygningen og i grunnen er mer gunstige ut fra den fremtidige enn ut fra dagens klimasituasjon. Noe forenklet kan det hevdes at den positive effekten av mindre frost og redusert telehiving, med tilhørende mindre sporutvikling i teleløsningsperiodene, er større enn den negative effekten av mer nedbør. Man kan legge merke til at reduksjonen i spordannelse på grunn av deformasjoner i de granulære lag og i grunnen er større for beregninger basert på klimadata fra Fokstugu enn for beregninger basert på klimadata fra Vigra, som en følge av at det er klimaet ved Fokstugu som forventes å få den største reduksjonen i frostmengde og telehiv.

Beregningsprogrammet M-E PDG legger til rette for at man kan benytte separate kalibreringsfaktorer for sporutviklingen som skyldes deformasjoner i asfaltlagene, i de granulære lagene i overbygningen, og i grunnen. For de oppfølgingsstrekninger som er benyttet for å kalibrere tilstandsutviklingsmodellene til norske forhold, har man bare data for den totale sporutvikling. Man har derfor vært nødt til å benytte de forholdstall som ligger som defaultverdier i programmet for det relative forhold mellom de tre bidragene til den totale sporutvikling på grunn av deformasjoner. Dette gir en usikkerhet for beregningsresultatene som det er vanskelig å vurdere konsekvensene av.

Vedlegg 1

Klima og Transport, DP 5 Tilstandsutvikling på vegnettet Klimaendringer frem til 2100

Til: Per Otto Aursand Statens vegvesen
Fra: Ragnar Evensen ViaNova Plan og Trafikk AS
Dato: 22. oktober 2009, 18. januar 2010
Arkiv: C:\Prosj\15185 Klima og transport DP5\Datagrunnlag klima 20091215.doc

Klimasoner og klimastasjoner

Basert på forslag fra meteorologisk institutt er riks- og fylkesvegnettet som inngår i analysene i Delprosjekt 5 knyttet til klimasoner som vist i figur 1. Denne inndeling er litt modifisert i forhold til forslaget fra meteorologisk institutt ved at grensene mellom klimasoner følger kommunegrensene. Dette er gjort for å forenkle koblingen mellom delvegnettene og klimasonene og de tilhørende klimastasjoner.

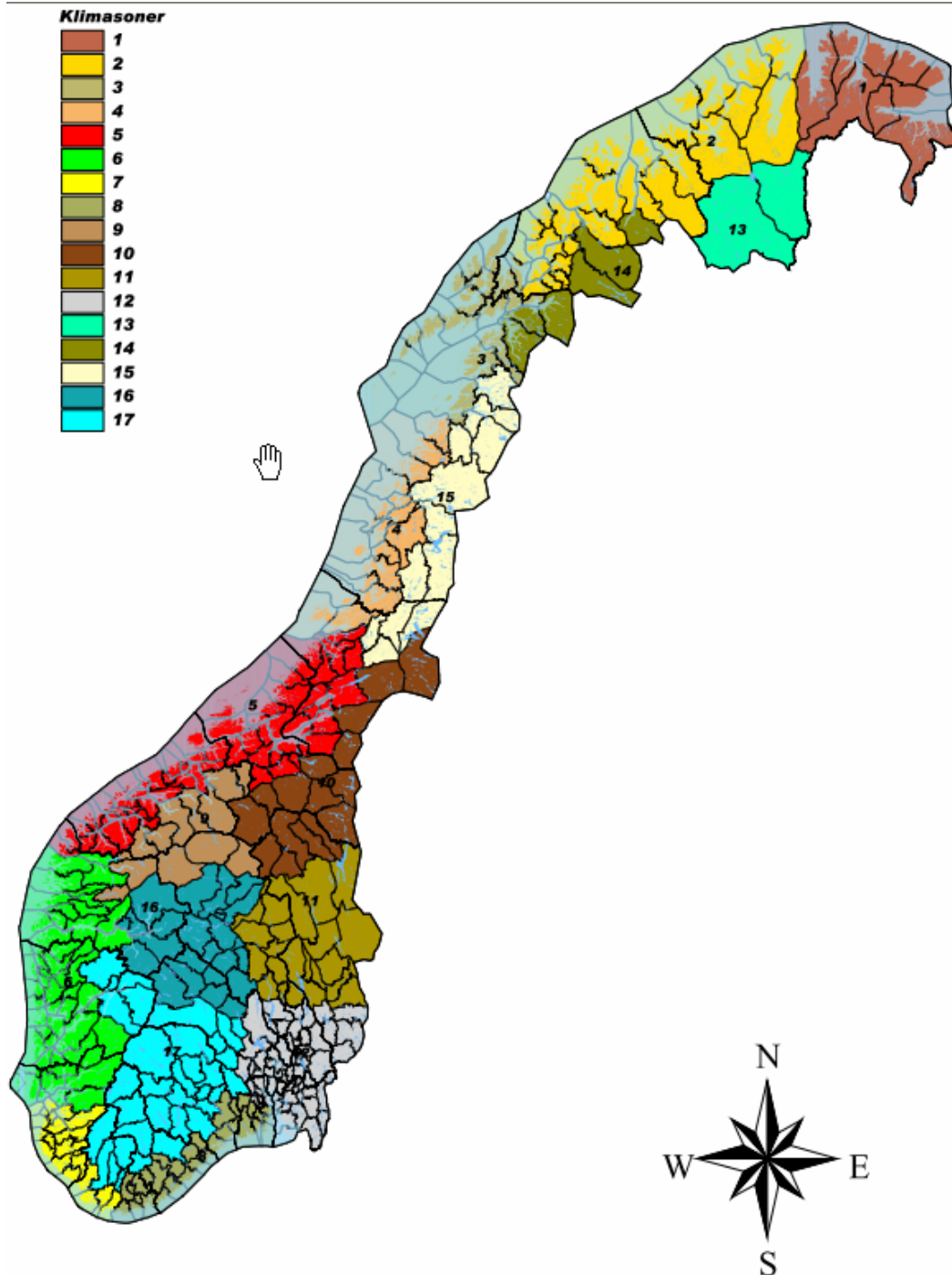
For å redusere analysevolumet er følgende klimasoner slått sammen, se figur 1.

- Klimasoner 3 og 4 er behandlet samlet
- Klimasoner 16 og 17 er behandlet samlet

fra Meteorologisk institutt ble det frarådet å foreta ytterligere sammenslåinger. Til hver av klimasonene er det knyttet en klimastasjon med tilhørende klimadata. Følgende klimastasjoner er valgt ut fra to kriterier: a) klimastasjonen skal være mest mulig representativ for klimasonen, b) datagrunnlaget skal være mest mulig komplett i perioden 1.1.2000 – 31.12.2008.

Klimasoner	Betegnelse	Klimastasjon, nr og navn
1	Varanger	98 550 Vardø Radio
2	Vestfinnmark og Troms ytre	90 450 Tromsø
3 og 4	Helgeland	82 290 Bodø IV
5	Møre og Trøndelag	60 990 Vigra og 69 100 Værnes 50/50
6	Vestlandet	50 540 Bergen Florida
7	Rogaland	44 560 Stavanger
8	Sørlandet	39 040 Kjevik
9	Nordvestlandet indre	63 705 Oppdal
10	Dovre og Trøndelag indre	10 400 Røros og 1038 Røros lufthavn
11	Østlandet indre	21 680 Vest-Torpa
12	Østlandet	18 700 Blindern
13	Finnmarksvidda	97 250 og 97 251 Karasjøk
14	Troms indre	89 350 Bardufoss
15	Nordland indre	78 800 Varntresk
16 og 17	Langfjella	31 620 Møsstrand

Tabell 1. Klimasoner med representative klimastasjoner



Figur 1. Inndeling i klimasoner i Delprosjekt 5.

Tidsserier for klima brukt i M-E PDG

For hver av de omtalte klimastasjonene er det ved hjelp av web-applikasjonen *eklima* hentet ut tidsserier for en rekke klimadata. Dette omfatter:

- Daglig maksimumstemperatur, TAX
- Daglig minimumstemperatur, TAN
- Nedbør per døgn, RR
- Gjennomsnittlig vindhastighet (hovedobservasjon), FFM
- Midlere skydekke, NNM

Tidsseriene må minst omfatte minst ett år for å fungere i M-E PDG. Hvor det er mulig, har man tatt ut daglige data for perioden fra 1.1.2000 til 31.12.2008.

I tillegg til de 16 klimastasjonene som antas å være representative for klimasonene, er det tatt ut tidsserier for stasjon nr 16 610 Fokstugu. Disse resultatene er benyttet ved analyser av tilstandsutviklingen på deler av Ev 136 Dombås – Ålesund.

Klimasone	Klimastasjon, nr og navn	Tidsseriene fra periode
1	98 550 Vardø Radio	1.1.2001 – 31.12.2008
2	90 450 Tromsø	1.1.2000 – 31.12.2008
3 og 4	82 290 Bodø IV	1.1.2001 – 31.12.2008
5	60 990 Vigra og 69 100 Værnes 50/50	1.1.2001 – 31.12.2008
6	50 540 Bergen Florida	1.1.2001 – 31.12.2008
7	44 560 Stavanger	1.1.2000 – 31.12.2008
8	39 040 Kjevik	1.1.2001 – 31.12.2008
9	63 705 Oppdal	1.1.2001 – 31.12.2008
10	10 400 Røros og 10 380 Røros l.h.	1.1.2001 – 31.12.2003
11	21 680 Vest-Torpa	1.1.2000 – 31.12.2008
12	18 700 Blindern	1.1.2000 – 31.12.2008
13	97 250 og 97 251 Karasjok	1.1.2000 – 31.12.2008
14	89 350 Bardufoss	1.1.2001 – 31.12.2008
15	78 800 Varntresk	1.1.2000 – 31.12.2008
16 og 17	31 620 Møsstrand	1.1.2000 – 31.12.2008
Ev 136	16 610 Fokstugu	1.1.2001 – 31.12.2003

Tabell 2. Tidsserier for de forskjellige målestasjoner

Forventede klimaendringer frem til 2070-2100

Forventede klimaendringer frem til 2070-2100 er estimert ut fra konklusjonene i rapporten "Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpasning", foreløpig utgave Juni 2009. I denne rapporten er endringer i temperatur og nedbør beregnet i forhold til normalen 1961-1990.

Uheldigvis er det i denne rapporten benyttet andre klimasoner enn det som er benyttet i Delprosjekt 5. For temperatur er det benyttet 6 regioner, for nedbør 13 regioner. En kobling mellom de målestasjoner som er benyttet i Delprosjekt 5 og de ovenfor nevnte temperaturregioner og nedbørsregioner er vist i tabell 3.

Temperaturregion	Nedbørsregion	Klimastasjon, nr og navn
6	13	98 550 Vardø Radio
4	11	90 450 Tromsø
4	11	82 290 Bodø IV
2	8	60 990 Vigra
3	10	69 100 Værnes
2	5	50 540 Bergen Florida
2	4	44 560 Stavanger
1	3	39 040 Kjevik
3	9	63 705 Oppdal
1	7	10380 Røros lufthavn
1	2	21 680 Vest-Torpa
1	2	18 700 Blindern
5	12	97 250 og 97 251 Karasjok
4	11	89 350 Bardufoss
4	10	78 800 Varntresk
1	2	31 620 Møsstrand

Tabell 3. Koblinger mellom klimastasjoner i DP 5 og temperatur- og nedbørsregioner

De estimerte endringer i nedbøren frem til 2070-2100 er gjengitt i tabell 4 nedenfor.

Region	Sesong	1961-90 til 2021-50: Endring (%) i nedbørssum			1961-90 til 2071-00: Endring (%) i nedbørssum		
		M	L	H	M	L	H
Norge	År	9,6	2,4	14,0	18,3	5,4	30,9
	Vinter DJF	11,1	3,8	18,4	21,4	8,5	39,9
	Vår MAM	10,0	3,7	20,0	19,4	7,2	41,5
	Sommer JJA	5,0	-1,6	9,7	9,2	-3,2	17,4
	Høst SON	12,2	2,1	16,1	23,3	4,6	33,4
NR-1 Østfold	År	6,7	1,5	12,1	12,2	2,7	22,2
	Vinter DJF	13,5	5,6	28,7	24,7	10,2	52,6
	Vår MAM	7,6	1,4	16,9	14,0	2,6	31,0
	Sommer JJA	-3,8	12,2	10,9	-7,0	-22,4	19,9
	Høst SON	9,2	-2,0	15,0	16,8	-3,7	27,5
NR-2 Østlandet	År	6,7	3,1	10,3	12,2	5,6	18,8
	Vinter DJF	15,8	7,0	26,6	28,9	12,9	48,8
	Vår MAM	7,6	2,9	15,5	14,0	5,4	28,5
	Sommer JJA	-2,4	-11,5	5,1	-4,4	-21,0	9,4
	Høst SON	8,2	1,0	12,5	15,1	1,8	22,9
NR-3 Sørlandet	År	4,6	-0,8	9,3	8,5	-1,5	17,0
	Vinter DJF	12,4	3,8	28,0	22,7	7,0	51,4
	Vår MAM	6,3	-0,4	16,6	11,6	-0,8	30,4
	Sommer JJA	-4,6	-15,4	5,0	-8,5	-28,2	9,2
	Høst SON	3,3	-4,8	8,7	6,0	-8,8	16,0
NR-4 Sør-Vestlandet	År	10,1	1,8	18,2	18,6	3,3	33,3
	Vinter DJF	13,7	2,6	24,7	25,1	4,7	45,2
	Vår MAM	11,3	4,8	17,2	20,8	8,8	31,6
	Sommer JJA	0,4	-11,2	12,8	0,8	-20,5	23,5
	Høst SON	12,2	0,3	20,3	22,4	0,5	37,2
NR-5 Sunnhordaland	År	10,2	3,3	17,8	18,7	6,1	32,6
	Vinter DJF	12,4	2,3	23,0	22,7	4,2	42,2
	Vår MAM	12,3	3,9	18,3	22,5	7,2	33,6
	Sommer JJA	1,5	-9,8	12,4	2,7	-18,0	22,7
	Høst SON	12,9	-0,1	19,6	23,6	-0,1	35,9
NR-6 Sogn og Nordhordaland	År	12,0	1,5	19,6	22,0	2,7	36,0
	Vinter DJF	12,1	3,6	21,9	22,2	6,6	40,2
	Vår MAM	14,1	4,7	24,8	25,9	8,6	45,4
	Sommer JJA	5,6	-5,8	14,2	10,3	-10,6	26,0
	Høst SON	15,4	0,4	24,1	28,2	0,8	44,2
NR-7 Dovre/ Nord- Østerdal	År	9,9	3,1	14,3	18,2	5,6	26,3
	Vinter DJF	15,3	7,4	27,4	28,0	13,6	50,2
	Vår MAM	10,3	5,5	17,1	18,9	10,1	31,3
	Sommer JJA	3,9	-2,8	7,6	7,1	-5,2	14,0
	Høst SON	13,3	1,0	22,8	24,3	1,8	41,8
NR-8 Møre og Roms- dal	År	12,0	-0,5	23,3	22,0	-1,0	42,7
	Vinter DJF	11,7	-4,0	23,3	21,4	-7,3	42,7
	Vår MAM	13,5	0,5	27,8	24,7	0,9	51,0
	Sommer JJA	9,3	-1,4	16,6	17,0	-2,6	30,4
	Høst SON	13,9	-0,8	25,7	25,5	-1,4	47,1
NR-9 Inntrøndelag	År	12,7	1,5	21,9	23,2	2,7	40,1
	Vinter DJF	14,7	-4,1	29,1	27,0	-7,5	53,4
	Vår MAM	13,9	3,5	27,1	25,5	6,4	49,6
	Sommer JJA	9,2	1,3	15,4	16,9	2,4	28,3
	Høst SON	14,5	0,5	24,9	26,5	1,0	45,6
NR-10 Trøndelag/ Helgeland	År	12,3	0,6	28,3	22,5	1,1	51,8
	Vinter DJF	10,1	-6,3	19,9	18,6	-11,6	36,5
	Vår MAM	12,3	3,1	31,3	22,6	5,7	57,4
	Sommer JJA	11,5	4,4	19,7	21,1	8,0	36,1
	Høst SON	15,4	0,5	33,2	28,3	0,9	60,8
NR-11 Hålogaland	År	10,4	2,7	23,2	19,0	4,9	42,6
	Vinter DJF	6,9	-6,4	21,1	12,7	-11,7	38,6
	Vår MAM	9,5	0,4	34,7	17,4	0,7	63,7
	Sommer JJA	10,5	6,5	18,0	19,2	11,9	33,0
	Høst SON	14,3	5,6	23,6	26,3	10,3	43,3
NR-12 Finnmarks- vidda	År	9,1	3,7	14,9	16,6	6,8	27,3
	Vinter DJF	8,5	0,4	19,8	15,6	0,8	36,3
	Vår MAM	8,8	1,7	22,3	16,2	3,2	40,9
	Sommer JJA	7,2	2,3	11,6	13,2	4,3	21,3
	Høst SON	12,3	5,6	20,3	22,6	10,3	37,3
NR-13 Varanger	År	8,3	0,9	15,9	15,3	1,6	29,2
	Vinter DJF	7,0	-5,3	23,5	12,8	-9,7	43,1
	Vår MAM	5,0	-2,7	23,8	9,1	-5,0	43,6
	Sommer JJA	9,7	1,0	17,0	17,8	1,9	31,2
	Høst SON	11,6	6,1	16,1	21,2	11,2	29,6

Tabell 4 Fremskrivning i nedbør frem til perioden 2071 – 2100

Kolonnene i tabell 4 angir prosentvis økning i nedbørssum i de forskjellige nedbørsregioner og årstider. Vurderingen av differansene mellom tidsseriene i forhold

til normalen 1961-90 inkluderer både middels prognose (angitt i kolonne M) og høy prognose (angitt i kolonne H).

Tabell 5 angir fremskrivning av temperaturen i de forskjellige temperaturregioner frem til 2070-2100 i forhold til normalen 1961-90.

Region	Sesong	Økning (°C) til 2021–2050			Økning (°C) til 2071–2100		
		M	L	H	M	L	H
Norge	År	1,9	1,2	2,5	3,4	2,3	4,6
	Vinter DJF	2,3	1,5	3,3	4,3	2,8	6,0
	Vår MAM	1,9	1,2	2,6	3,5	2,3	4,8
	Sommer JJA	1,3	0,8	1,9	2,4	1,4	3,5
	Høst SON	1,9	1,3	2,6	3,5	2,4	4,8
TR-1 Østlandet	År	1,9	1,2	2,6	3,4	2,3	4,8
	Vinter DJF	2,4	1,5	3,5	4,5	2,8	6,5
	Vår MAM	1,7	1,1	2,5	3,2	1,9	4,6
	Sommer JJA	1,3	0,8	2,0	2,5	1,5	3,8
	Høst SON	1,9	1,3	2,8	3,6	2,5	5,1
TR-2 Vestlandet	År	1,7	1,0	2,3	3,1	1,9	4,2
	Vinter DJF	2,1	1,2	2,9	3,8	2,3	5,4
	Vår MAM	1,7	1,0	2,3	3,1	1,8	4,3
	Sommer JJA	1,3	0,7	1,9	2,3	1,2	3,5
	Høst SON	1,7	1,2	2,3	3,2	2,2	4,3
TR-3 Trøndelag	År	1,7	1,2	2,4	3,2	2,2	4,4
	Vinter DJF	2,2	1,4	3,2	4,1	2,6	5,8
	Vår MAM	1,8	1,1	2,5	3,3	2,1	4,6
	Sommer JJA	1,0	0,5	1,6	1,9	1,0	3,0
	Høst SON	1,8	1,3	2,6	3,4	2,3	4,8
TR-4 Nordland/ Troms	År	1,9	1,3	2,5	3,4	2,3	4,6
	Vinter DJF	2,3	1,5	3,3	4,2	2,7	6,0
	Vår MAM	2,1	1,4	2,9	3,8	2,6	5,2
	Sommer JJA	1,2	0,7	1,8	2,2	1,3	3,3
	Høst SON	1,9	1,2	2,5	3,4	2,3	4,5
TR-5 Finnmarks- vidda	År	2,3	1,7	2,8	4,2	3,1	5,2
	Vinter DJF	2,9	2,0	3,9	5,3	3,6	7,1
	Vår MAM	2,3	1,6	3,1	4,3	3,0	5,8
	Sommer JJA	1,5	1,0	2,2	2,8	1,7	4,0
	Høst SON	2,3	1,6	3,0	4,1	2,9	5,5
TR-6 Varanger	År	2,3	1,6	2,9	4,2	3,0	5,4
	Vinter DJF	2,8	1,7	4,0	5,2	3,0	7,3
	Vår MAM	2,6	1,8	3,5	4,7	3,3	6,4
	Sommer JJA	1,6	0,9	2,2	2,9	1,7	4,0
	Høst SON	2,2	1,4	2,8	4,0	2,6	5,2

Tabell 5 Fremskrivning for temperatur frem til perioden 2071 – 2100

Ut fra de koblinger som er angitt i tabell 3 får man følgende endringer for nedbør og temperatur pr årstid ved de klimastasjoner som benyttes i Delprosjekt 5.

Klimastasjon, nr og navn	Endring i nedbør, middels prognose, %			
	Vinter	Vår	Sommer	Høst
98 550 Vardø Radio	12,8	9,1	17,5	21,2
90 450 Tromsø	18,6	22,6	21,1	28,3
82 290 Bodø IV	18,6	22,6	21,1	28,3
60 990 Vigra	21,4	24,7	17,0	25,5
69 100 Værnes	18,6	22,6	21,1	28,3
50 540 Bergen Florida	22,7	22,5	2,7	23,6
44 560 Stavanger	25,1	20,8	0,8	22,4
39 040 Kjevik	22,7	11,6	-8,5	6,0
63 705 Oppdal	27,0	25,5	16,9	26,5
10 400 Røros og 10 380 Røros l.h.	28,0	18,9	7,1	24,3
21 680 Vest-Torpa	28,9	14,0	-4,4	15,1
18 700 Blindern	28,9	14,0	-4,4	15,1
97 250 og 97 251 Karasjok	15,6	16,2	13,2	22,6
89 350 Bardufoss	18,6	22,6	21,1	28,3
78 800 Varntresk	18,6	22,6	21,1	28,3
31 620 Møsstrand	28,9	14,0	-4,4	15,1
16 610 Fokstugu	28,0	18,9	7,1	24,3

Tabell 6. Forventede endringer i nedbør fra 1961-1990 til 2070-2100, middels prognose

Klimastasjon, nr og navn	Endring i temperatur, middels prognose, °C			
	Vinter	Vår	Sommer	Høst
98 550 Vardø Radio	5,2	4,7	2,9	4,0
90 450 Tromsø	4,2	3,8	2,2	3,4
82 290 Bodø IV	4,2	3,8	2,2	3,4
60 990 Vigra	3,8	3,1	2,3	3,2
69 100 Værnes	4,1	3,3	1,9	3,4
50 540 Bergen Florida	3,8	3,1	2,3	3,2
44 560 Stavanger	3,8	3,1	2,3	3,2
39 040 Kjevik	4,5	3,2	2,5	3,6
63 705 Oppdal	4,1	3,3	1,9	3,4
10 400 Røros og 10 380 Røros l.h.	4,5	3,2	2,5	3,6
21 680 Vest-Torpa	4,5	3,2	2,5	3,6
18 700 Blindern	4,5	3,2	2,5	3,6
97 250 og 97 251 Karasjok	5,3	4,3	2,8	4,1
89 350 Bardufoss	4,2	3,8	2,2	3,4
78 800 Varntresk	4,2	3,8	2,2	3,4
31 620 Møsstrand	4,5	3,2	2,5	3,6
16 610 Fokstugu	4,5	3,2	2,5	3,6

Tabell 7. Forventede endringer i temperatur fra 1961-1990 til 2070-2100, middels prognose

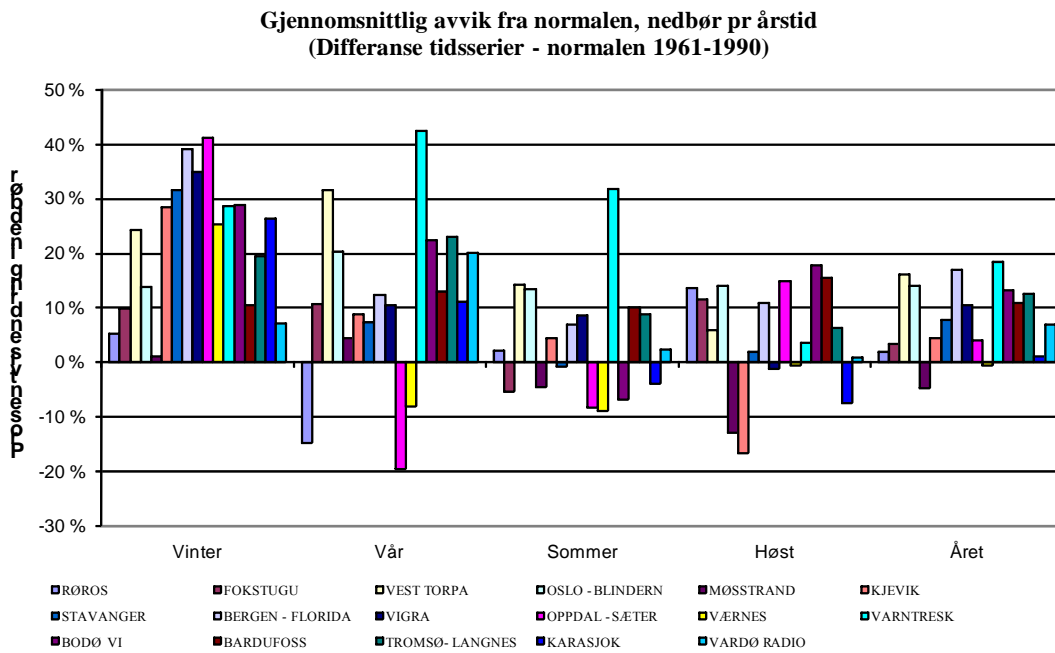
Registrerte endringer frem til 2000-2008

I denne analysen skal man vurdere effekten av klimaendringer på vegkonstruksjonens tilstandsutvikling og forventet dekkelevetid i forhold til referansene som er angitt i tabell 2. De klimaendringer som er angitt i tabellene 6 og 7, må derfor ta hensyn til de klimaendringer som allerede har funnet sted.

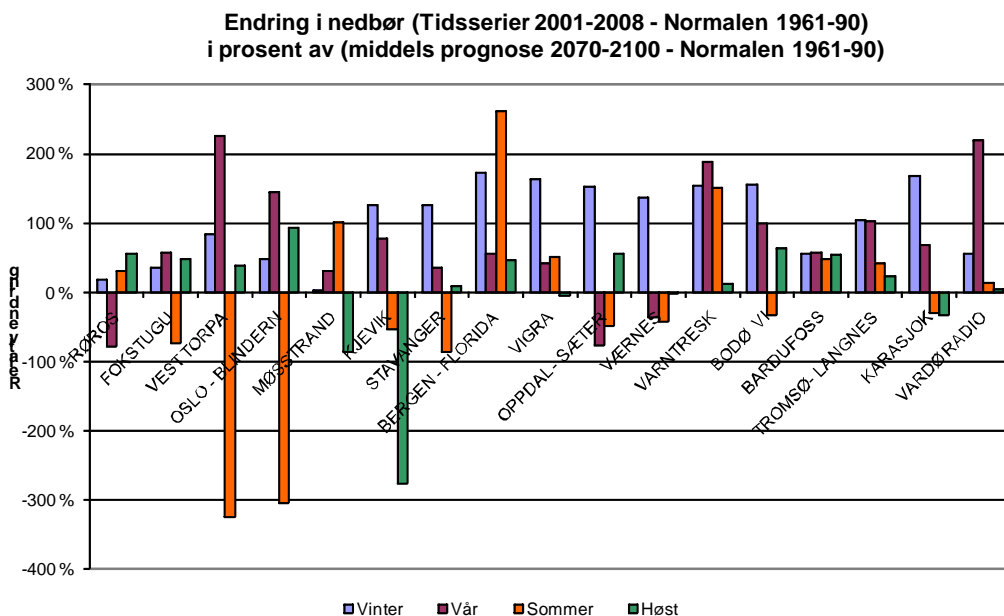
I figur 2 og 3 har man analysert nedbør pr årstid slik dette fremkommer i dataene fra tidsseriene i forhold til nedbørsnormalen basert på 1961-1990. Figur 2 viser nedbøren i tidsseriene i prosent av nedbørsnormalen. I figur 3 er denne nedbørsendringen sammenliknet med den endring frem til 2070-2100, slik den er angitt i tabell 6.

Figur 2 viser at vinternedbøren i tidsseriene konsekvent ligger over nedbørsnormalene for alle klimastasjonene. For de andre årstidene er endringene ikke like systematiske, men det er også for disse årstidene en klar overvekt av klimastasjoner med en økning i nedbøren.

I figur 3 er endringen i nedbør pr årstid sammenliknet med forventet endring frem til 2070-2100. Man kan legge merke til at figuren indikerer at en betydelig del av de nedbørsendringer som er forventet frem til 2070-2100, allerede er inne i dataene fra tidsseriene. Det bør i den forbindelse kommenteres at figuren også viser store negative endringer. I de fleste tilfeller skyldes dette at prognosen (spesielt for sommeren) viser en liten reduksjon i nedbørmengden, mens tidsseriene har en økning i nedbøren i forhold til normalen.



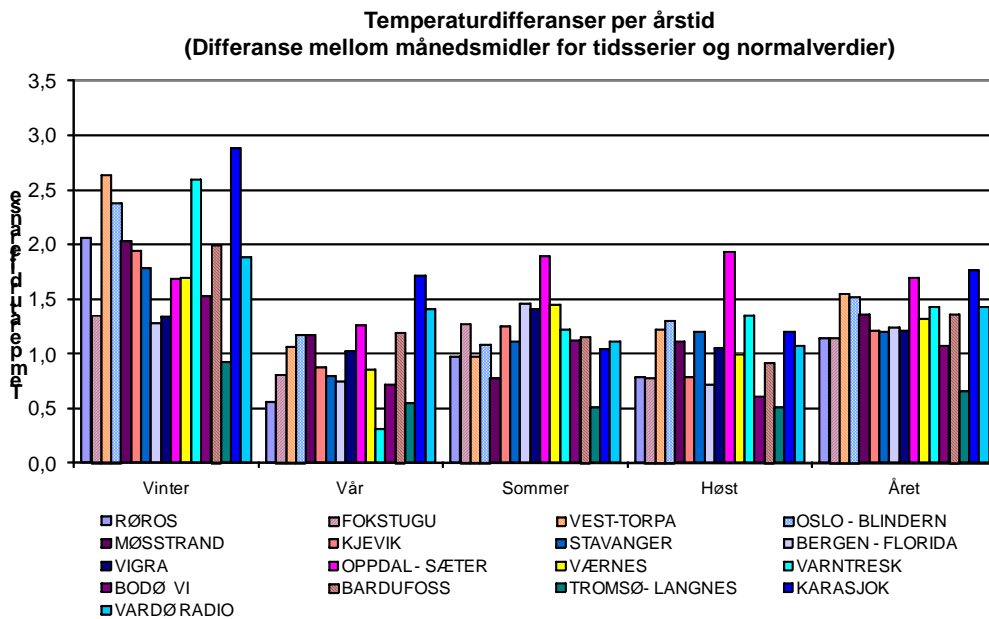
Figur 2. Nedbør pr årstid, tidsseriens avvik fra normalen 1961-1990.



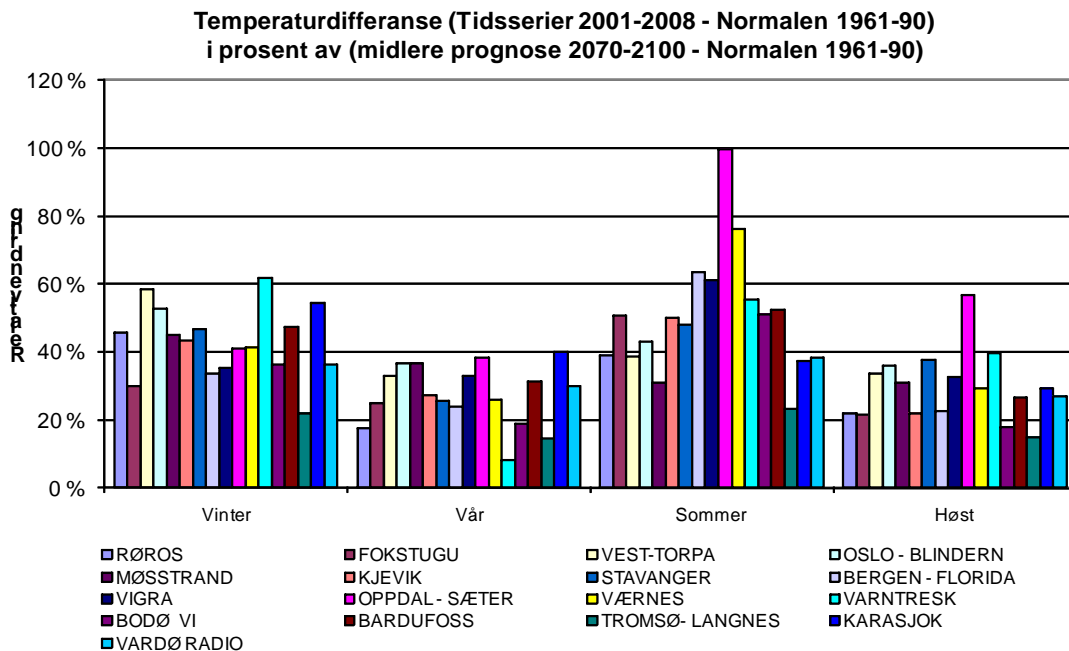
Figur 3. Nedbør pr årstid, tidsseriens avvik fra normalen 1961-1990 i forhold til forventet endring frem til 2070-2100.

Noe forenklet kan man av figur 2 anta at sommernedbøren i perioden 2000-2008 ligger ca 25 % over nedbørsnormalen, og for de øvrige årstider ca 10 % over nedbørsnormalen. De enkelte klimastasjoner har relativt store avvik fra dette gjennomsnittet.

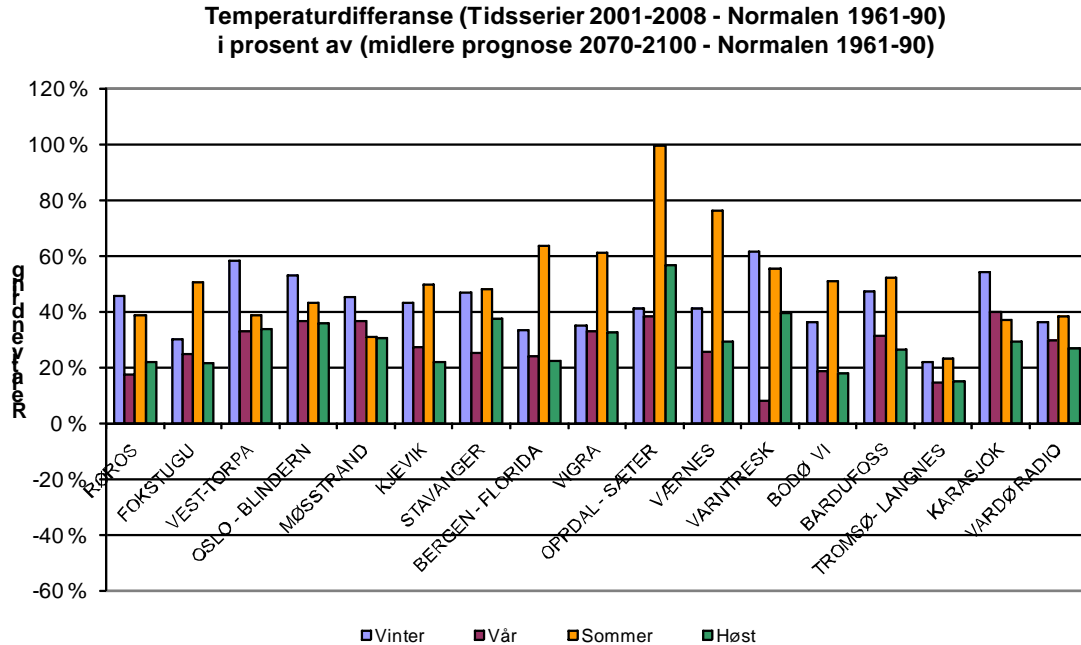
Figur 4, 5 og 6 viser på tilsvarende måte differansen mellom tidsseriene og normalen med hensyn på gjennomsnittlig temperatur pr årstid. Figur 4 viser differansene i °C, mens figur 5 viser differansene i prosent av forventede endringer fra 1961-1990 til 2070-2100. Differansene for temperatur viser generelt mindre variasjoner mellom klimastasjonene enn hva man kunne registrere for nedbør.



Figur 4. Differanse mellom månedsmiddeltemperaturer i Tidsserier og normalverdier.



Figur 5. Temperatur pr årstid, tidsseriens avvik fra normalen 1961-1990 i forhold til forventet endring frem til 2070-2100.



Figur 6. Temperatur pr årstid, tidsseriens avvik fra normalen 1961-1990 i forhold til forventet endring frem til 2070-2100.

Av figur 5 kan man grovt anslå at temperaturen i forhold til normalen 1961-1990 har øket i størrelsesorden 50 % om sommeren, 40 % om vinteren og 30 % om våren og høsten i forhold til det som er forventet frem til 2070-2100.

I tillegg til de endringer som fremgår av tabell 7, er det estimat av endringer i antall dager hvor temperaturen er nær 0°C, som kan være av stor betydning for vegkroppens tilstandsutvikling. Tabell 8 er hentet fra Virkninger av klimaendringer for transportsektoren, rapport fra en tverrfaglig arbeidsgruppe til NTP-arbeidet 2010-2019.

6a) T2max>0 T2min<0

Area	Winter				Spring				Summer				Autumn				Year			
	P	S	C	C[%]	P	S	C	C[%]	P	S	C	C[%]	P	S	C	C[%]	P	S	C	C[%]
1	16.9	17.8	0.9	24.2	19.5	15.2	-4.3	-25.1	5.3	0.3	-5.0	-94.9	13.3	8.4	-4.9	-43.2	55.0	41.7	-13.3	-24.1
2	20.5	16.7	-3.8	-12.6	18.1	11.9	-6.2	-38.6	1.8	0.0	-1.8	-99.6	11.8	5.4	-6.5	-62.5	52.2	33.9	-18.3	-37.2
3	18.0	10.2	-7.8	-44.5	11.8	5.8	-5.9	-57.1	0.1	0.0	-0.1	-49.8	6.5	2.0	-4.5	-80.0	36.4	18.1	-18.4	-55.2
4	17.0	11.7	-5.4	-34.9	12.6	7.2	-5.3	-54.8	0.2	0.0	-0.2	-17.0	7.5	3.1	-4.4	-73.0	37.2	22.0	-15.2	-49.3
5	16.4	12.0	-4.4	-40.3	13.5	7.9	-5.6	-58.2	0.1	0.0	-0.1	-34.3	7.7	3.1	-4.6	-76.3	37.7	22.9	-14.8	-53.2
6	11.5	6.8	-4.7	-59.2	8.5	4.6	-3.9	-71.0	0.0	0.0	0.0	-19.1	4.6	1.9	-2.8	-84.3	24.6	13.2	-11.4	-66.8
7	11.8	7.1	-4.8	-58.9	9.0	3.8	-5.2	-75.2	0.0	0.0	0.0	-14.3	4.2	1.4	-2.8	-85.7	25.1	12.3	-12.8	-68.3
8	18.6	11.6	-7.0	-49.2	12.9	5.8	-7.1	-68.9	0.0	0.0	0.0	-12.5	6.6	2.4	-4.2	-80.3	38.2	19.8	-18.3	-60.7
9	14.2	20.8	6.6	58.0	27.4	26.9	-0.5	-1.2	6.1	1.3	-4.8	-83.5	22.6	18.6	-4.0	-18.3	70.3	67.6	-2.8	-3.8
10	17.7	23.4	5.7	35.5	27.1	24.7	-2.3	-8.4	1.8	0.2	-1.6	-92.2	20.7	15.4	-5.3	-26.0	67.3	63.8	-3.5	-5.0
11	19.1	24.8	5.7	32.9	28.6	24.5	-4.0	-14.0	0.9	0.1	-0.8	-93.5	22.0	16.3	-5.7	-26.3	70.6	65.7	-4.8	-6.6
12	26.3	26.8	0.4	1.6	27.0	17.6	-9.3	-35.1	0.0	0.0	0.0	-85.7	18.3	10.1	-8.2	-45.8	71.6	54.4	-17.2	-24.3
13	7.8	13.8	6.0	76.9	23.3	22.4	-0.9	-3.9	3.8	0.2	-3.5	-93.8	17.8	17.0	-0.8	-4.4	52.7	53.4	0.7	1.4
14	7.3	12.8	5.4	78.5	21.3	22.1	0.8	4.1	5.5	0.7	-4.8	-89.3	18.9	18.1	-0.8	-4.2	53.1	53.7	0.6	1.2
15	13.4	19.1	5.8	48.6	23.7	23.4	-0.2	-0.7	2.9	0.3	-2.6	-92.2	19.7	15.9	-3.7	-18.9	59.6	58.7	-0.8	-1.0
16	14.7	20.5	5.8	53.9	26.8	26.4	-0.4	-1.0	5.8	1.2	-4.6	-82.6	23.1	18.9	-4.2	-19.0	70.5	67.0	-3.5	-4.7
17	20.4	25.4	5.0	30.9	30.7	26.5	-4.2	-13.2	2.7	0.5	-2.2	-88.1	24.4	17.3	-7.1	-29.6	78.3	69.7	-8.6	-10.6

Tabell 8. Estimerte endringer i antall dager hvor temperaturen svinger rundt 0°C.

Av tabell 8 ser en at antall dager hvor temperaturen svinger rundt 0°C forventes å øke om vinteren for innlandet, klimasone 1 og 9-17. Antall dager med slike svingninger blir imidlertid redusert for både høst og vår, slik at antall dager i året med temperatursvingninger går ned for alle klimasoner. For de kystnære klimasonene blir antall dager med svingninger rundt 0°C færre for alle årstider. Total sett er det grunn til å anta at endringer i antall dager i året med temperatursvingninger rundt 0°C har en liten, positiv innvirkning på vegens tilstandsutvikling når det gjelder frysing og tining av grusmaterialet o.l. Hvorvidt denne innvirkningen totalt sett er positiv eller negativ med hensyn på vegdekkenes piggdekkslitasje, er det vanskeligere å ha en klar oppfatning om. Et lavere antall temperaturvekslinger rundt 0°C gir sannsynligvis mindre nedbrytning av vegdekkene, mens temperaturvekslinger over en større del av året øker sannsynligvis påkjenningene.

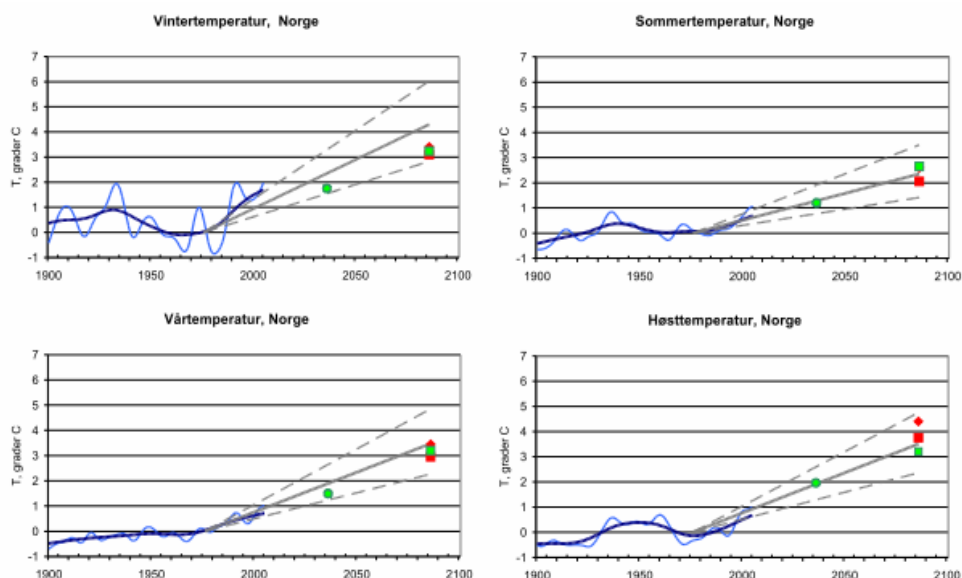
Vurderingene over må ikke forveksles med innvirkningen av klimaendringene på asfaltdekkenes piggdekkslitasje. Mildere klima og lengre perioder med våt vegbane er ugunstig for piggdekkslitasjen. I hvor stor grad denne effekten blir redusert på grunn av mindre behov for bruk av piggdekk, blir dermed et viktig spørsmål.

Prognose for endringer fra 2000-2008 til 2070-2100

Analysene i Delprosjekt 5 har som en viktig del av målet å analysere effekten av klimaendringer frem til 2070-2100 på vegkroppens tilstandsutvikling. I dette inngår det at dagens situasjon er referansen for analysene. Klimaendringene skal derfor fokusere på de endringer som forventes i inntreffe i tiden fra 2000-2008 til 2070-2100.

En mulig angrepsvinkel for dette er å ta utgangspunkt i de endringer som bl.a. er angitt i tabellene 6 og 7, og redusere for de endringer som allerede har funnet sted, uttrykt gjennom figurene 2 – 6. Denne metoden må antas å være relativt usikker siden dataene for noen utvalgte klimastasjoner i en begrenset periode har stor innvirkning på beregningsforutsetningene.

Et alternativ er å se nærmere på de endringer som er beskrevet i rapporten ”Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpasning”, foreløpig utgave juni 2009, hvor figur 7 er hentet fra.



Figur 7. Forventede endringer i gjennomsnittstemperatur for vinter, vår, sommer og høst.

Figur 7 beskriver en lineær temperaturutvikling fra midten av perioden 1961-1990 og frem til midten av perioden 2070-2100. Tilsvarende fremstillinger foreligger for de forventede endringer i nedbøren.

Dersom man skal legge dette til grunn for utarbeidelse av prognoser for perioden fra 2000-2008 til 2070-2100, kan følgende forholdstall benyttes.

$$\text{Forholdstall} = \frac{2085 - 2004}{2085 - 1975} = 0,74$$

En rimelig prognose vil med dette være å multiplisere de endringer som er gjengitt i tabellene 6 og 7, med faktoren 0,74. Dette gir følgende endringer i temperatur og nedbør.

Klimastasjon, nr og navn	Endring i nedbør, middels prognose, %			
	Vinter	Vår	Sommer	Høst
98 550 Vardø Radio	9,5	6,7	13,0	15,7
90 450 Tromsø	13,8	16,7	15,6	20,9
82 290 Bodø IV	13,8	16,7	15,6	20,9
60 990 Vigra	15,8	18,3	12,6	18,9
69 100 Værnes	13,8	16,7	15,6	20,9
50 540 Bergen Florida	16,8	16,7	2,0	17,5
44 560 Stavanger	18,6	15,4	0,6	16,6
39 040 Kjevik	16,8	16,7	2,0	17,5
63 705 Oppdal	20,0	18,9	12,5	19,6
10 400 Røros og 10 380 Røros l.h.	20,7	14,0	5,3	18,0
21 680 Vest-Torpa	21,4	10,4	-3,3	11,2
18 700 Blindern	21,4	10,4	-3,3	11,2
97 250 og 97 251 Karasjok	11,5	12,0	9,8	16,7
89 350 Bardufoss	13,8	16,7	15,6	20,9
78 800 Varntresk	13,8	16,7	15,6	20,9
31 620 Møsstrand	21,4	10,4	-3,3	11,2
16 610 Fokstugu	20,7	14,0	5,3	18,0

Tabell 9. Forventede endringer i nedbør fra 2000-2008 til 2070-2100, middels prognose

Klimastasjon, nr og navn	Endring i temperatur, middels prognose, °C			
	Vinter	Vår	Sommer	Høst
98 550 Vardø Radio	3,8	3,5	2,1	3,0
90 450 Tromsø	3,1	2,8	1,6	2,5
82 290 Bodø IV	3,1	2,8	1,6	2,5
60 990 Vigra	2,8	2,3	1,7	2,4
69 100 Værnes	3,0	2,4	1,4	2,5
50 540 Bergen Florida	2,8	2,3	1,7	2,4
44 560 Stavanger	2,8	2,3	1,7	2,4
39 040 Kjevik	3,3	2,4	1,9	2,7
63 705 Oppdal	3,0	2,4	1,4	2,5
10 400 Røros og 10 380 Røros l.h.	3,3	2,4	1,9	2,7
21 680 Vest-Torpa	3,3	2,4	1,9	2,7
18 700 Blindern	3,3	2,4	1,9	2,7
97 250 og 97 251 Karasjok	3,9	3,2	2,1	3,0
89 350 Bardufoss	3,1	2,8	1,6	2,5
78 800 Varntresk	3,1	2,8	1,6	2,5
31 620 Møsstrand	3,3	2,4	1,9	2,7
16 610 Fokstugu	3,3	2,4	1,9	2,7

Tabell 10. Forventede endringer i temperatur fra 2000-2008 til 2070-2100, middels prognose

Av tabell 10 kan en legge merke til at temperaturøkningen er størst om vinteren hvor temperaturen i utgangspunktet er lavest, og minst om sommeren. For temperaturøkningene om høsten og våren når gjennomsnittstemperaturene i utgangspunktet er relativt like, er endringene ikke like systematiske. Ved klimastasjoner i Sør-Norge er økningen om høsten størst, mens ved stasjoner i Nord-Norge er økningen om våren størst.

Tidsserier representative for 2070-2100

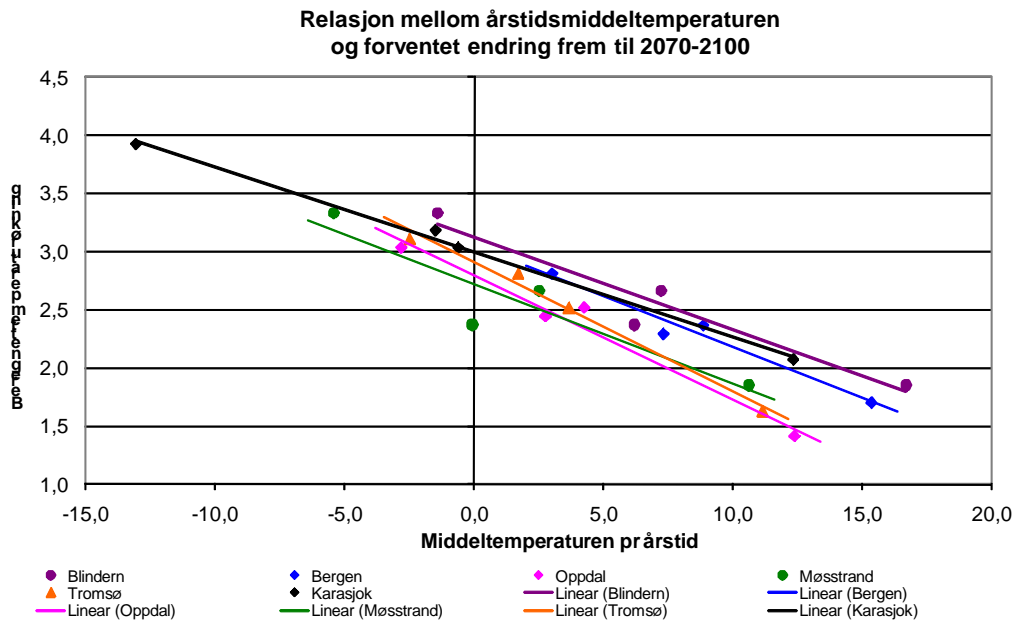
De endringer som er beskrevet i tabell 10 og 11 gjelder gjennomsnittlige endringer i nedbør og temperatur pr årstid. For at disse endringene skal inngå i beregningsprogrammet M-E PDG, må det lages nye tidsserier for nedbør, temperatur, vind og skydekke med det filformat som kreves av M-E PDG.

Tidsserier for temperatur

Uten mer detaljert informasjon om hvordan klimaendringene innvirker på daglige maksimums- og minimumstemperaturer, vil man være nødt til å benytte relativt enkle modeller for endringer. Man har valgt å se på to alternative teknikker.

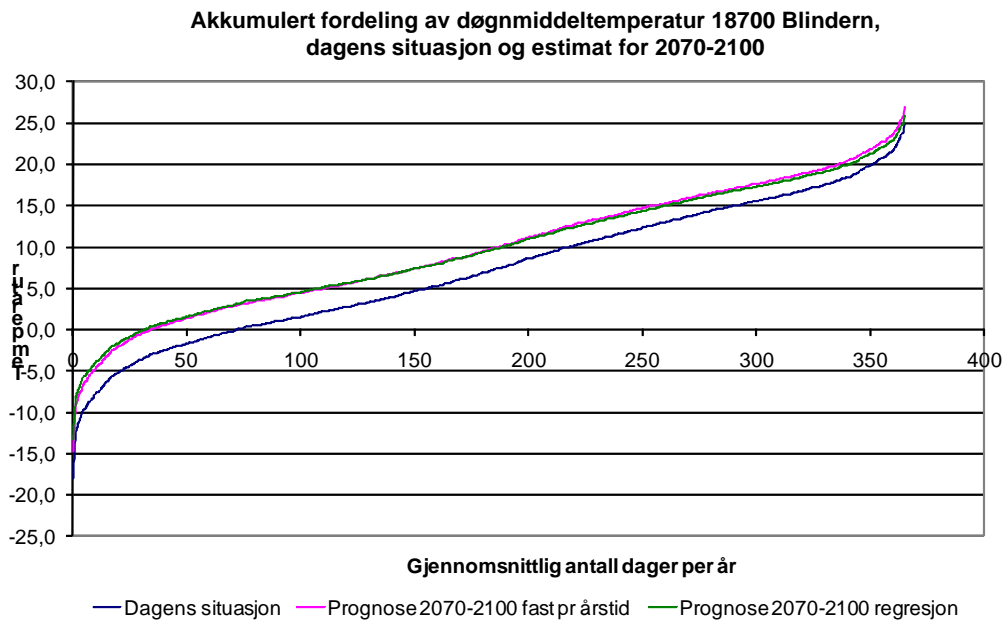
- Legge inn faste endringer pr årstid i de registrerte temperaturer pr dag basert på de verdier som er gjengitt i tabell 11.
- Estimere daglige temperaturer i en tidsserie for 2070-2100 ut fra en lineær regresjon mellom utgangstemperaturen og forventet temperaturendring.

Det siste alternativet er illustrert i figur 8 nedenfor. Figuren omfatter i alt 6 klimastasjoner hvor middeltemperaturen per årstid er angitt langs x-aksen og forventet endring i gjennomsnittstemperatur per årstid er angitt langs y-aksen.

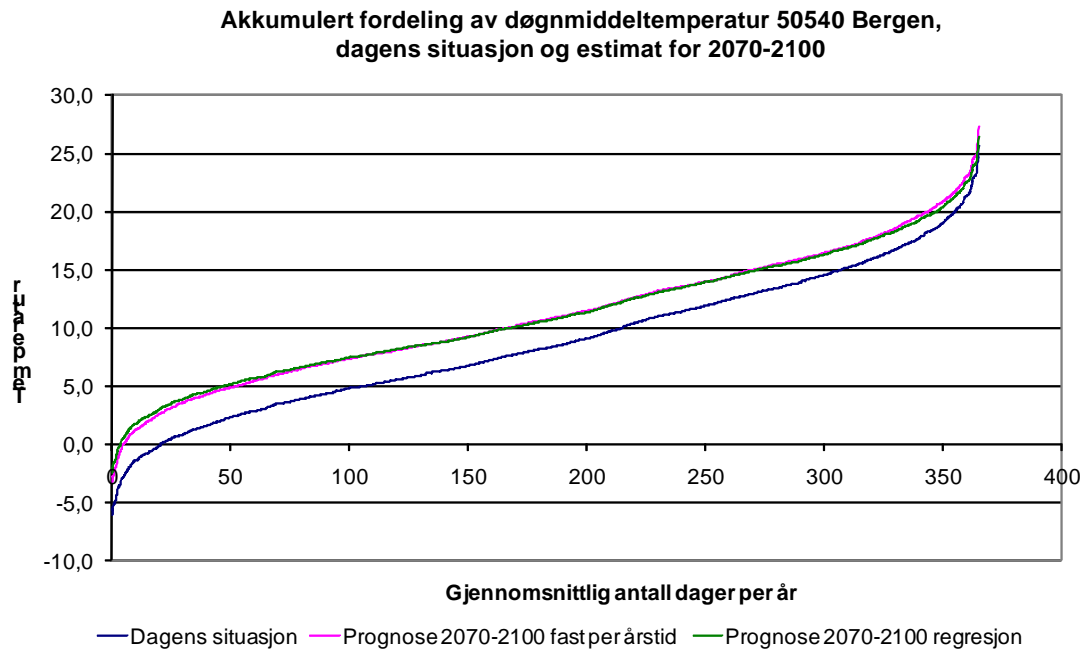


Figur 8. Forventet temperaturendring frem til 2070-2100.

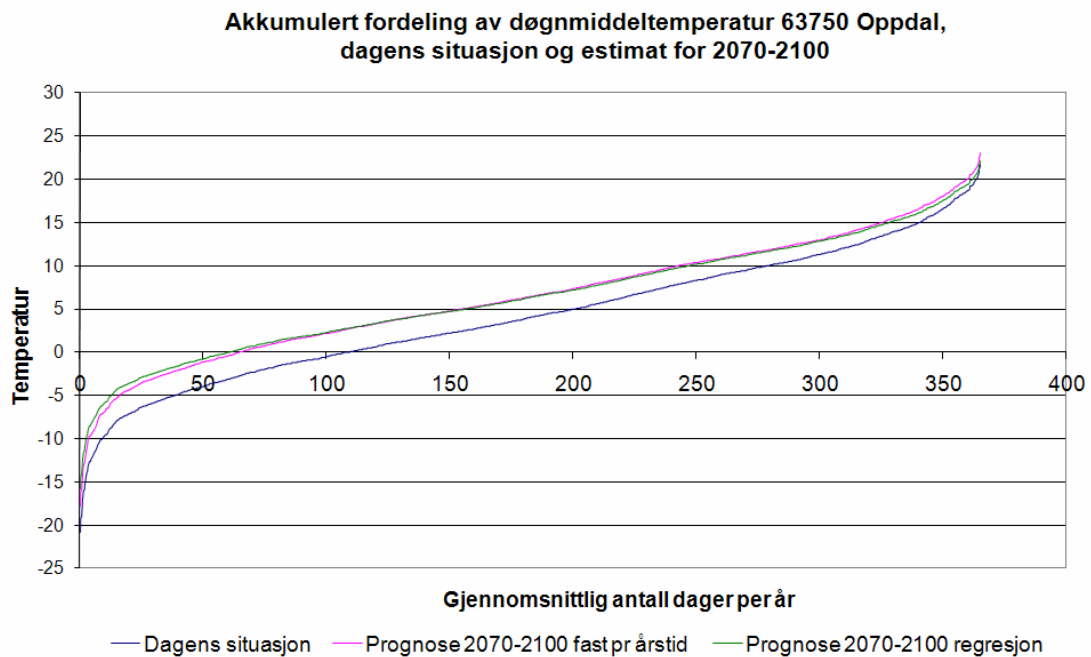
Basert på tidsseriene for middeltemperaturen per døgn er det i figurene 9 – 14 vist fordelingskurver for temperatur. Figurene omfatter fordelingskurver for dagens situasjon (ca. 1.1.2000- 31.12.2008) og prognoser for fordelingen for 2070-2100 basert på de to alternative beregninger som er omtalt ovenfor.



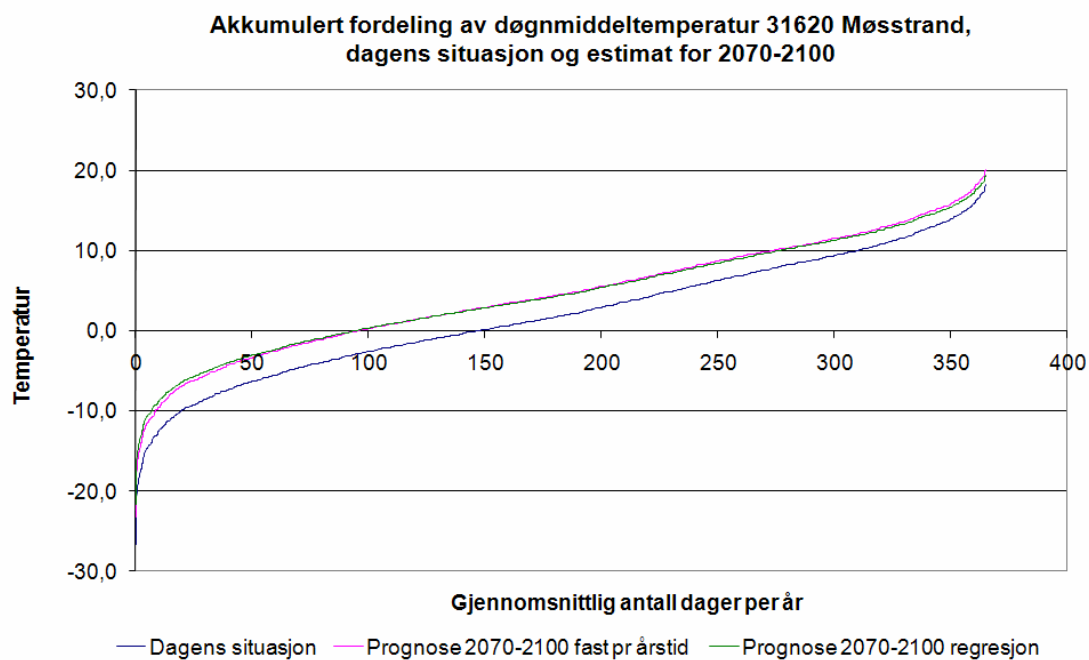
Figur 9. Fordelingskurver for daglig gjennomsnittstemperatur, Blindern



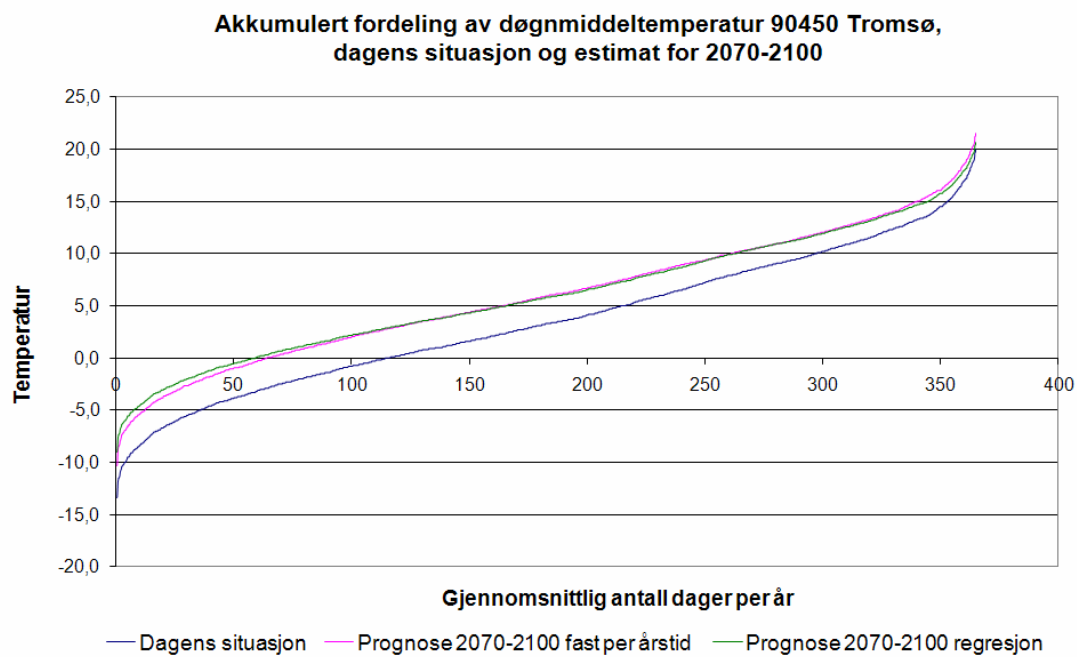
Figur 10. Fordelingskurver for daglig gjennomsnittstemperatur, Bergen



Figur 11. Fordelingskurver for daglig gjennomsnittstemperatur, Oppdal

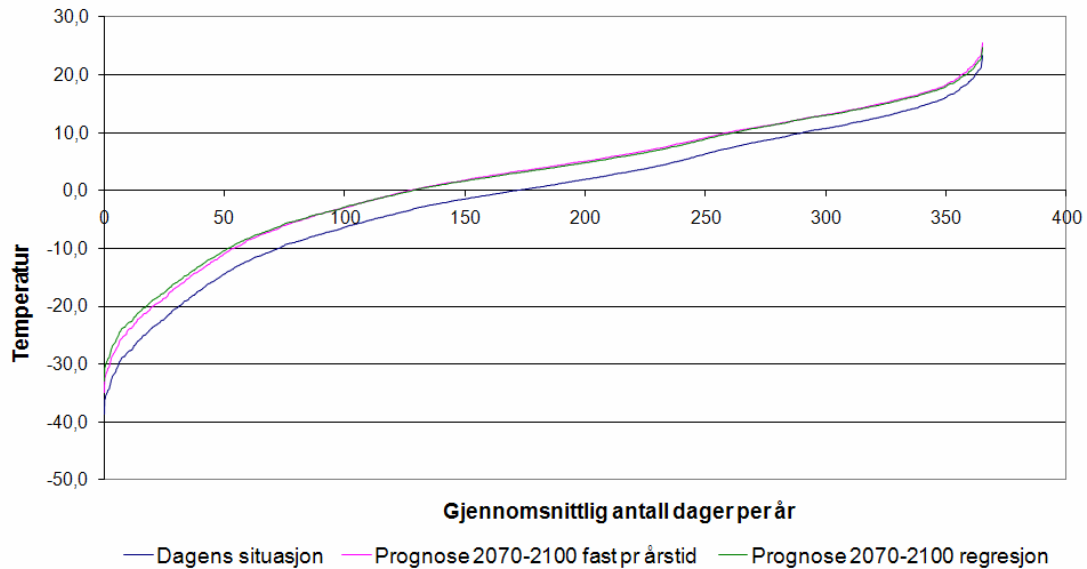


Figur 12. Fordelingskurver for daglig gjennomsnittstemperatur, Møsstrand



Figur 13. Fordelingskurver for daglig gjennomsnittstemperatur, Tromsø

Akkumulert fordeling av døgnmiddeltemperatur Karasjok, dagens situasjon og estimat for 2070-2100



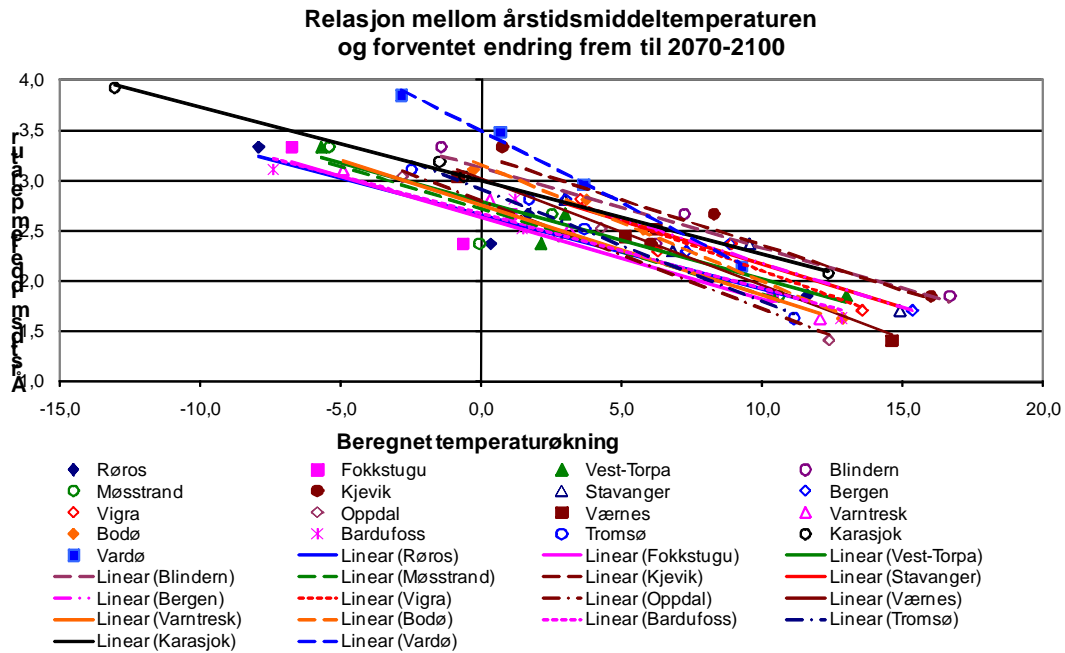
Figur 14. Fordelingskurver for daglig gjennomsnittstemperatur, Karasjok

Som det fremgår av figur 9-14, synes det å være relativt små forskjeller mellom de to metodene for å estimere middeltemperaturene i 2070-2100. Et kriterium for å vurdere de to metodene opp mot hverandre, er å bestemme antall dager i året hvor døgngjennomsnittet overstiger 20°C slik det bl.a. er vist i figur 5.2.5 i ”Klima i Norge 2100”, foreløpig utgave juni 2009.

	Antall dager per år med middeltemperatur over 20°C		
	Dagens situasjon	2070-2100 fast endring per årstid	2070-2100 endring ut fra regresjon
Blindern	15	30	25
Bergen	10	22	17
Oppdal	2	6	3
Møsstrand	0	0	0
Tromsø	0	2	0
Karasjok	3	9	7

Tabell 11. Antall dager per år med gjennomsnittstemperatur over 20°C

Dersom en antar at prognosene som ligger til grunn for presentasjonene i ”Klima i Norge 2100” representerer en fasit, synes beregningene basert på regresjonslikninger å gi litt bedre resultater enn anvendelse av faste endringer per årstid. En (relativ uoversiktlig) sammenstilling av resultatene og regresjonslikningene for samtlige klimastasjoner er vidt i figur 15 nedenfor.



Figur 15. Regresjonslinjer for beregning av forventede døgntemperaturer 2070-2100, alle klimastasjoner

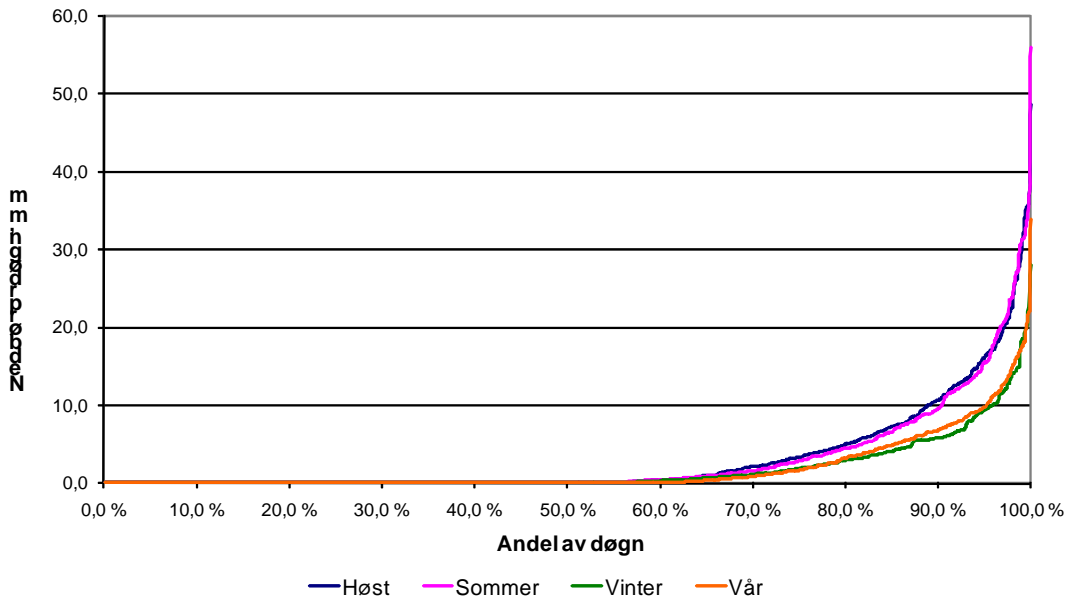
Beregning av temperaturendringenes innvirkning på vegens tilstandsutvikling foreslås basert på datafiler for klimaet hvor endringene i temperatur baseres på regresjonslikninger som vist i figur 15.

Tidsserier for nedbør

Ved siden av endringer i temperaturen forventes endringer i nedbørsmengdene å ha en signifikant innvirkning på vegens tilstandsutvikling.

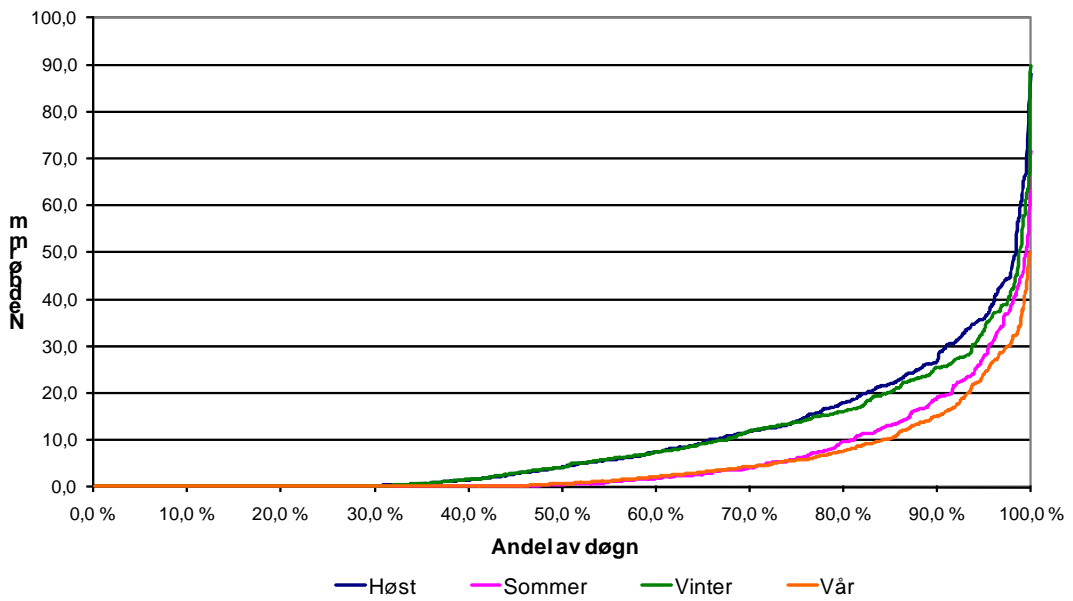
For de samme tidsperioder som er vist i tabell 2, er det tatt utgangspunkt i fordelingskurver for nedbørsmengdene ved den enkelte klimastasjon. I figurene 16-21 er det vist typiske eksempler på fordelingskurver for nedbør per døgn.

Fordeling Nedbør per døgn Blindern

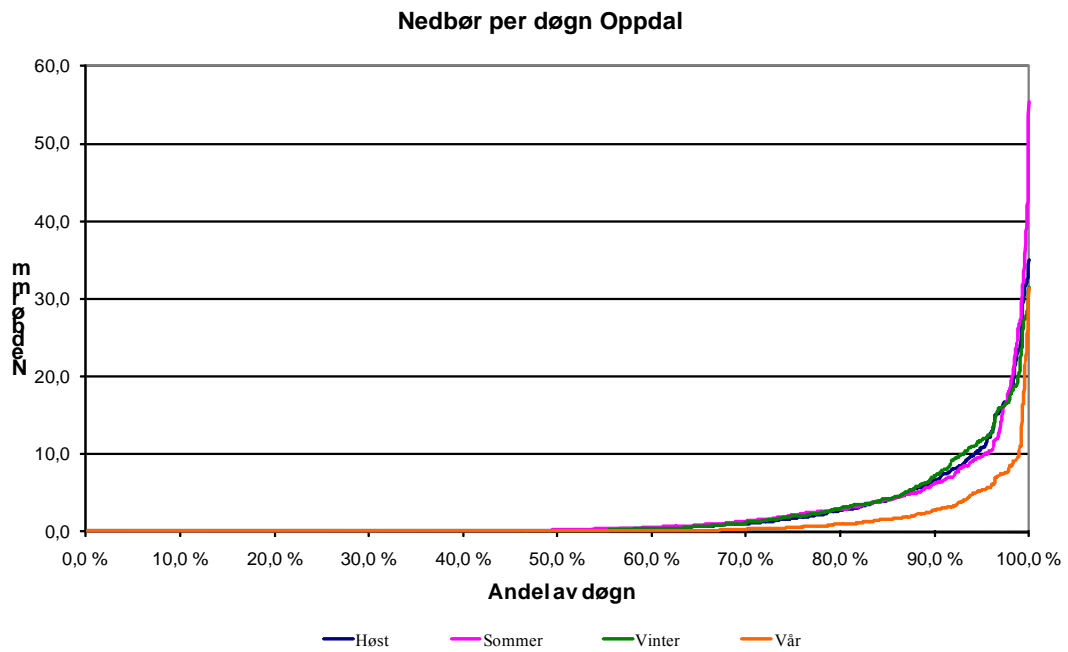


Figur 16. Fordelingskurver for daglig nedbør, målestasjon Blindern

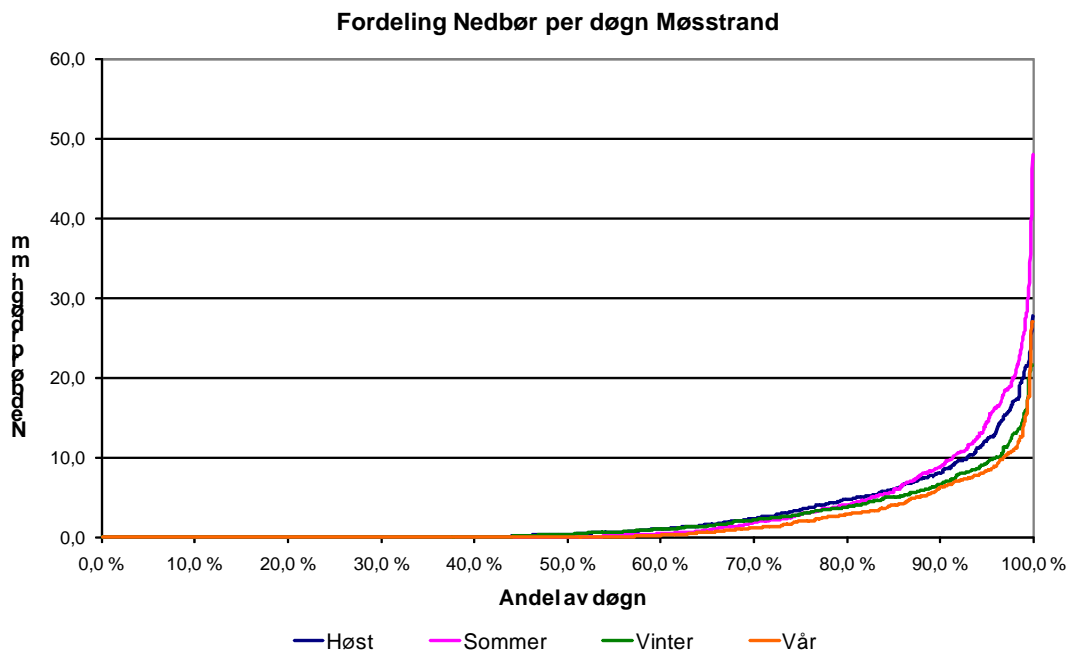
Nedbør per døgn, Bergen Florida



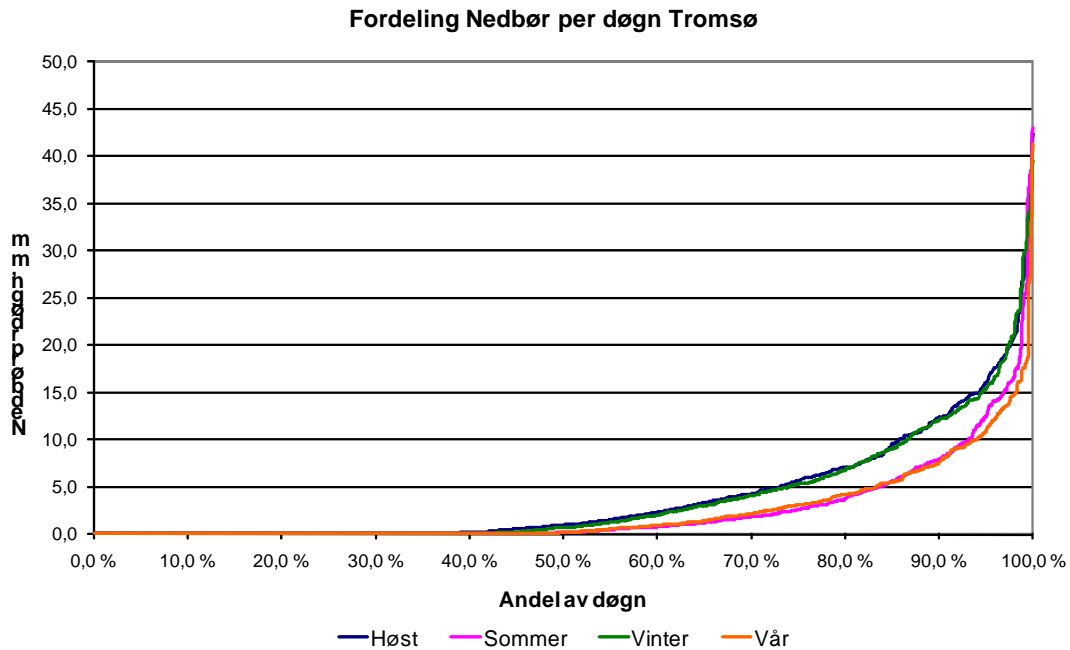
Figur 17. Fordelingskurver for daglig nedbør, målestasjon Bergen, Florida



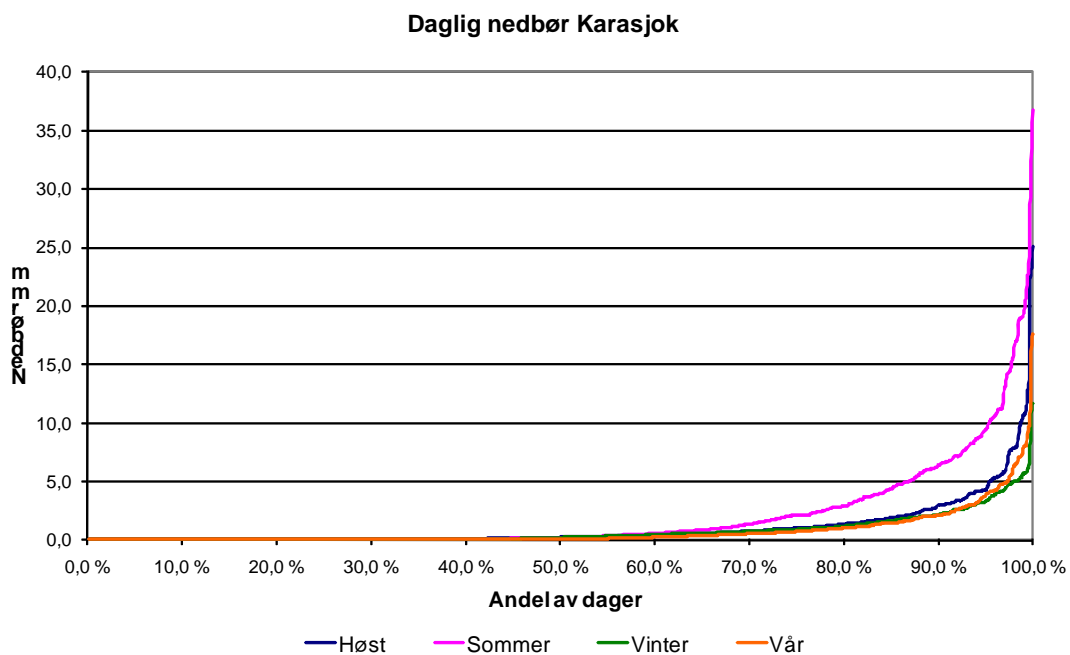
Figur 18. Fordelingskurver for daglig nedbør, målestasjon Oppdal



Figur 19. Fordelingskurver for daglig nedbør, målestasjon Møsstrand



Figur 20. Fordelingskurver for daglig nedbør, målestasjon Tromsø

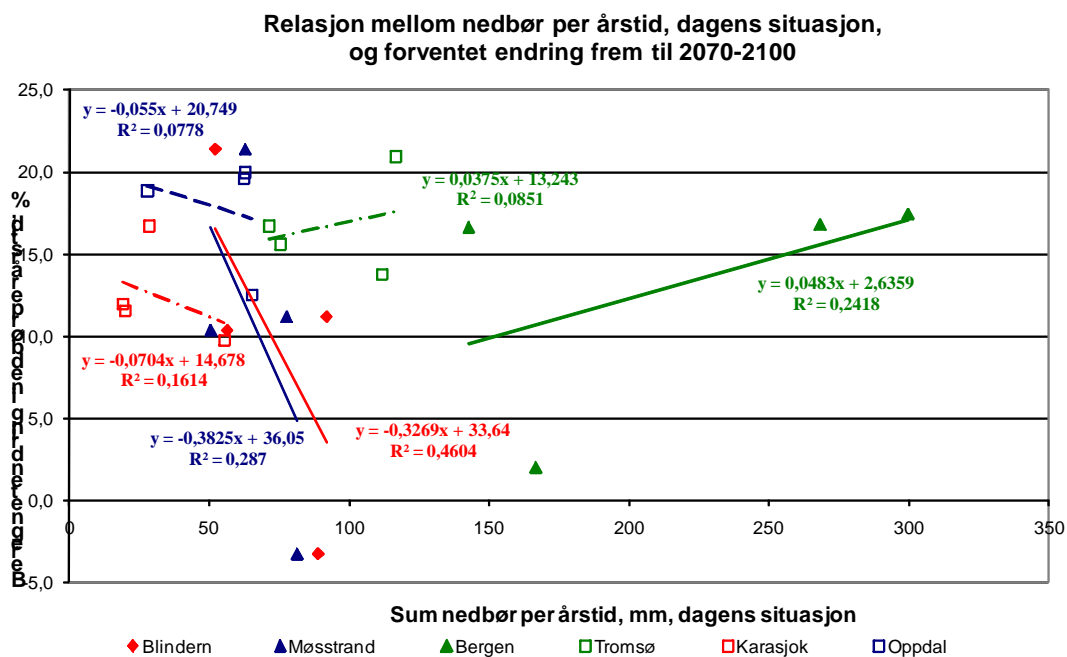


Figur 21. Fordelingskurver for daglig nedbør, målestasjonene 97250 og 97251 Karasjok

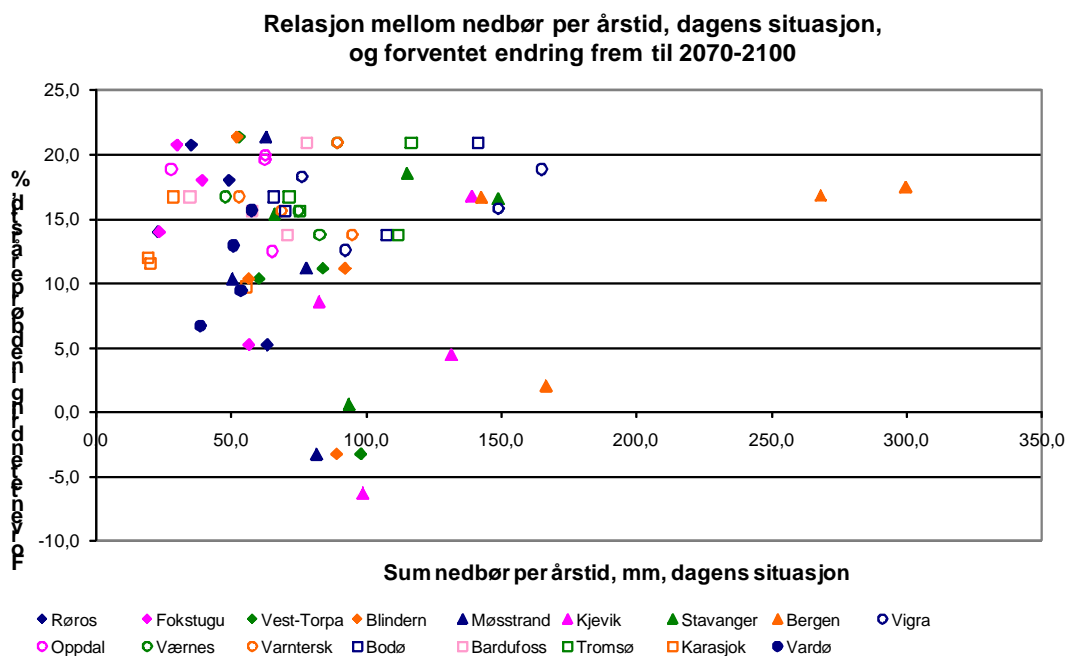
Bruk av regresjonslikninger på samme måte som man har beskrevet for endringer i temperaturen, synes å være en svært usikker metode for å estimere forventede endringer i nedbøren. Dette kan man bl.a. se av figurene 22 og 23 nedenfor. Figur 22 omfatter de samme seks klimastasjonene som innledningsvis ble brukt for temperatur i figur 8. Figur 23 omfatter samtlige klimastasjoner.

Uten tilgang til mer detaljerte modeller har man derfor ved utarbeidelse av tidsserier for nedbøren i 2070-2100 valgt å legge til grunn de prosentvise endringer som er gjengitt i tabell 10 ovenfor. Estimer basert på prinsippet ovenfor innebærer at alle

dager uten registrert nedbør vil forbli uten nedbør. Denne forutsetningen er vurdert i et seinere avsnitt i dette notatet.



Figur 22. Relasjon mellom nedbør per årstid og forventet endring frem til 2070-2100, utvalgte klimastasjoner



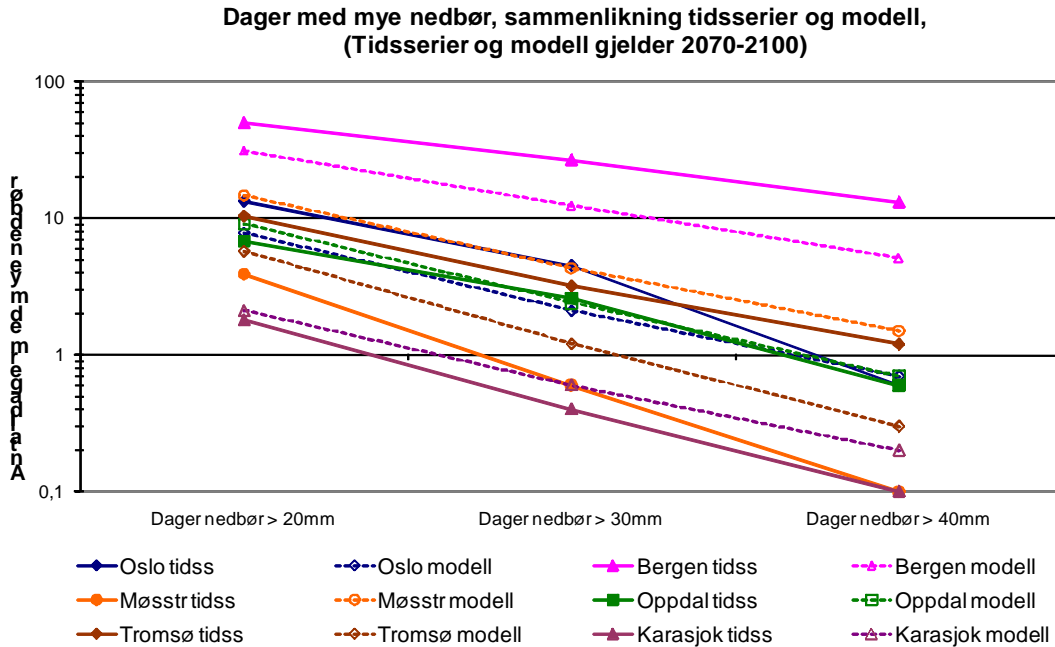
Figur 23. Relasjon mellom nedbør per årstid og forventet endring frem til 2070-2100, alle klimastasjoner

Resultatet av den enkle modellen er testet mot de regionale klimascenarier av mai 2009 ved en sammenlikning med hensyn på følgende parametre.

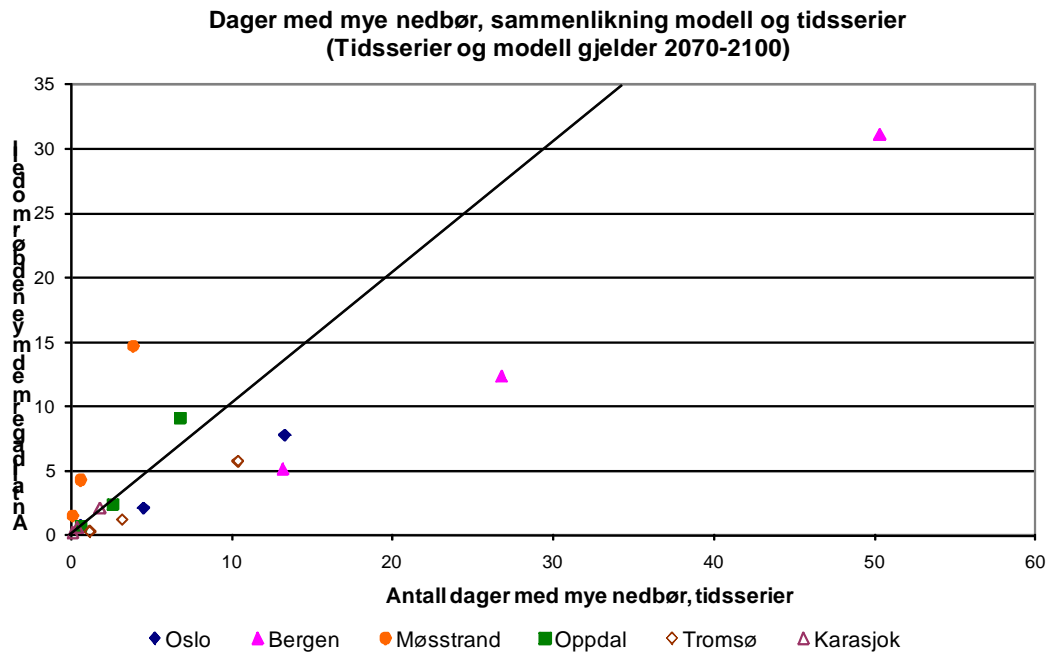
- antall dager i året med nedbør mer enn 20 mm/dag,
- antall dager i året med nedbør mer enn 30 mm/dag

- antall dager i året med nedbør mer enn 40 mm/dag.
- antall dager i året med nedbør > 0,2 mm

For de tre første parametrene er resultatene vist i figurene 24 og 25. Figuren omfatter resultater fra 6 klimasoner med de tilhørende klimastasjoner.



Figur 24. Antall dager i året med nedbør mer enn 20, 30 og 40 mm, perioden 2070-2100, fra tidsserier og fra klimamodellene.



Figur 25. X-Y plot av antall dager i året med nedbør mer enn 20, 30 og 40 mm, perioden 2070-2100, fra tidsserier og fra klimamodellene.

Figur 25 er et X-Y plot av de samme dataene som i figur 24. For hver klimastasjon vil man i figur 25 ha tre punkter som representerer antall dagen mer nedbør mer enn hhv. 20, 30 og 40 mm.

Av figurene 24 og 25 kan en se at samsvaret mellom antall dager med mye nedbør beregnet ut fra tidsseriene for klimastasjonene stemmer relativt dårlig. I figur 25 er det trukket en linje som angir hvor punktene burde ligge langs dersom det var 100 % samsvar mellom resultatene fra klimamodellene og tidsseriene. Gjennomsnittet er antagelig ikke veldig galt, men sen ser f.eks. at man for Bergen får vesentlig flere dager med mye nedbør dersom man tar utgangspunkt i nedbørsdataene fra tidsserien enn om man tar utgangspunkt i klimamodellene. Den motsatte situasjon har man for Møsstrand.

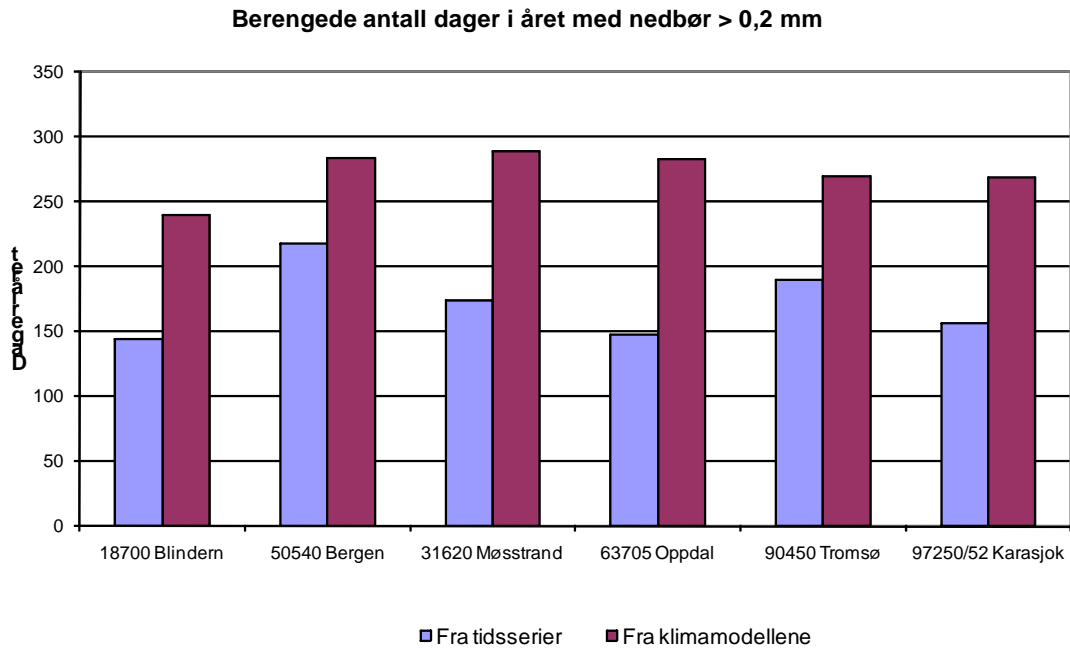
Tabell 12 viser resultatene av klimamodellenes beregning av forventede endringer i antall dager med nedbør > 0,2 mm. Av tabellen ser en at det i alle årstider er klimasoner med en økning i antall dager med nedbør, og klimasoner med en reduksjon i antall dager. For alle årstider er det en overvekt av klimasoner med en reduksjon i antall dager med nedbør. De største endringene finner man om sommeren, hvor bl.a. klimasone 4 har en økning på 4 dager, mens det i klimasone 17 er en reduksjon på 7 dager.

Tabell 7: Precip > 0.2mm/day

Area	Winter				Spring				Summer				Autumn				Year			
	P	S	C	C[%]	P	S	C	C[%]	P	S	C	C[%]	P	S	C	C[%]	P	S	C	C[%]
1	75.0	70.9	-4.1	-5.4	74.7	71.7	-3.0	-4.1	63.2	63.2	-0.1	-0.1	75.4	72.9	-2.5	-3.4	288.3	278.6	-9.6	-3.4
2	72.2	67.0	-5.2	-7.3	68.2	67.4	-0.8	-1.1	62.8	64.5	1.7	2.7	71.0	70.7	-0.3	-0.4	274.3	269.6	-4.6	-1.7
3	75.5	71.4	-4.1	-5.4	66.7	65.6	-1.1	-1.6	63.6	66.7	3.1	5.0	71.5	71.9	0.4	0.6	277.3	275.6	-1.6	-0.6
4	72.1	69.3	-2.8	-3.9	64.6	64.7	0.1	0.2	65.1	69.3	4.2	6.4	69.1	70.0	0.9	1.3	270.9	273.2	2.3	0.9
5	70.3	69.3	-1.0	-1.4	65.0	64.8	-0.2	-0.3	67.4	71.4	3.9	5.9	68.6	69.4	0.8	1.2	271.2	274.8	3.6	1.3
6	74.6	75.9	1.3	1.8	66.2	66.7	0.5	0.8	66.2	69.4	3.2	4.8	71.7	71.9	0.2	0.3	278.7	283.9	5.2	1.9
7	73.4	74.8	1.4	1.9	63.2	65.3	2.1	3.4	59.6	60.3	0.8	1.0	69.5	69.3	-0.2	-0.3	265.7	269.8	4.1	1.5
8	69.0	68.5	-0.5	-0.8	60.3	60.7	0.4	0.7	45.8	42.5	-3.3	-6.9	64.3	62.4	-1.9	-3.0	239.4	234.1	-5.4	-2.3
9	70.9	71.9	1.0	1.4	71.4	70.8	-0.6	-0.8	73.9	72.9	-1.0	-1.4	69.2	67.4	-1.8	-2.6	285.4	283.1	-2.3	-0.8
10	68.1	69.7	1.6	2.3	71.6	70.9	-0.7	-1.0	72.1	73.2	1.1	1.6	68.7	67.7	-1.0	-1.4	280.5	281.5	0.9	0.4
11	63.0	65.2	2.2	3.5	72.9	71.1	-1.8	-2.5	65.4	61.0	-4.4	-6.8	64.7	62.9	-1.9	-2.9	266.1	260.1	-5.9	-2.2
12	62.0	62.6	0.6	1.0	66.7	64.9	-1.8	-2.7	52.5	46.7	-5.8	-11.1	59.0	56.4	-2.6	-4.5	240.3	230.6	-9.7	-4.1
13	66.1	64.9	-1.1	-1.7	72.7	71.5	-1.2	-1.6	65.6	63.9	-1.7	-2.6	71.0	68.6	-2.4	-3.3	275.4	269.0	-6.4	-2.3
14	68.4	66.0	-2.4	-3.5	69.4	68.8	-0.6	-0.8	66.5	65.4	-1.1	-1.7	69.4	68.0	-1.4	-2.0	273.7	268.2	-5.5	-2.0
15	69.0	68.6	-0.4	-0.7	68.8	69.0	0.2	0.3	68.9	70.3	1.4	2.0	68.8	68.7	-0.2	-0.2	275.6	276.6	1.0	0.4
16	70.3	72.3	2.0	2.9	72.3	71.5	-0.8	-1.0	72.0	69.7	-2.3	-3.2	69.1	67.6	-1.6	-2.3	283.7	281.1	-2.6	-0.9
17	66.5	68.2	1.7	2.5	69.5	68.9	-0.7	-0.9	65.0	58.2	-6.8	-10.7	63.8	61.4	-2.4	-3.8	264.8	256.7	-8.2	-3.1

Tabell 12. Forventede endringer i antall dager med nedbør > 0,2 mm

Det er heller ingen god overensstemmelse mellom resultatene med hensyn på antall dager i året med nedbør > 0,2 mm. Dette er vist i figur 26 nedenfor.

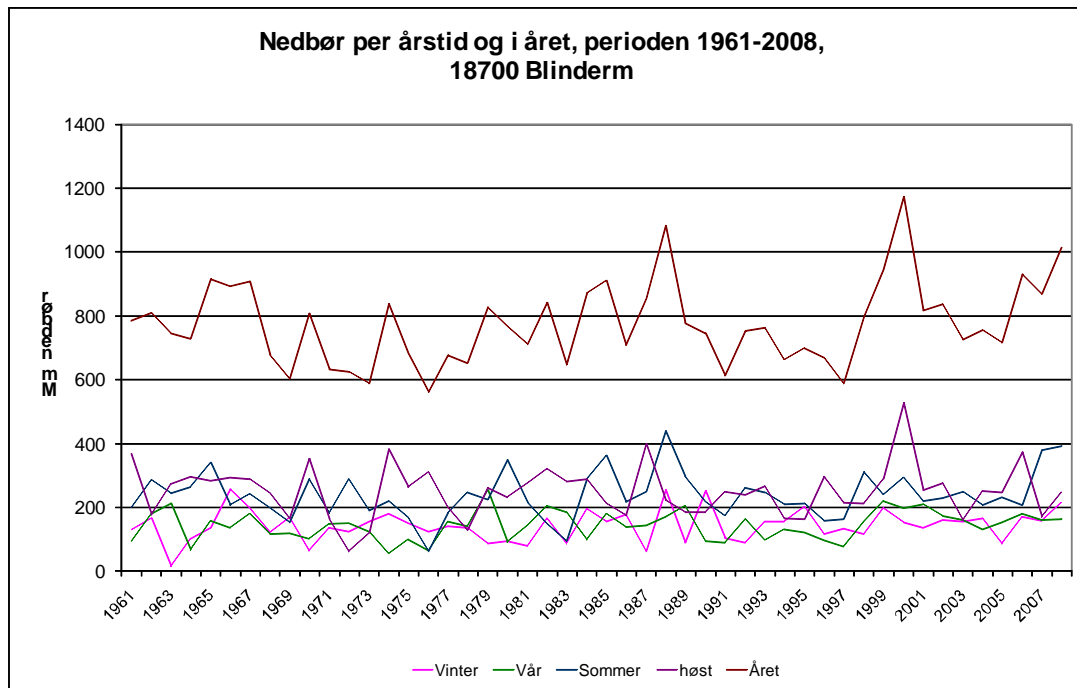


Figur 26. Dager i året med nedbør > 0,2 mm, perioden 2070-2100, beregnet med basis i tidsseriene og fra klimamodellene

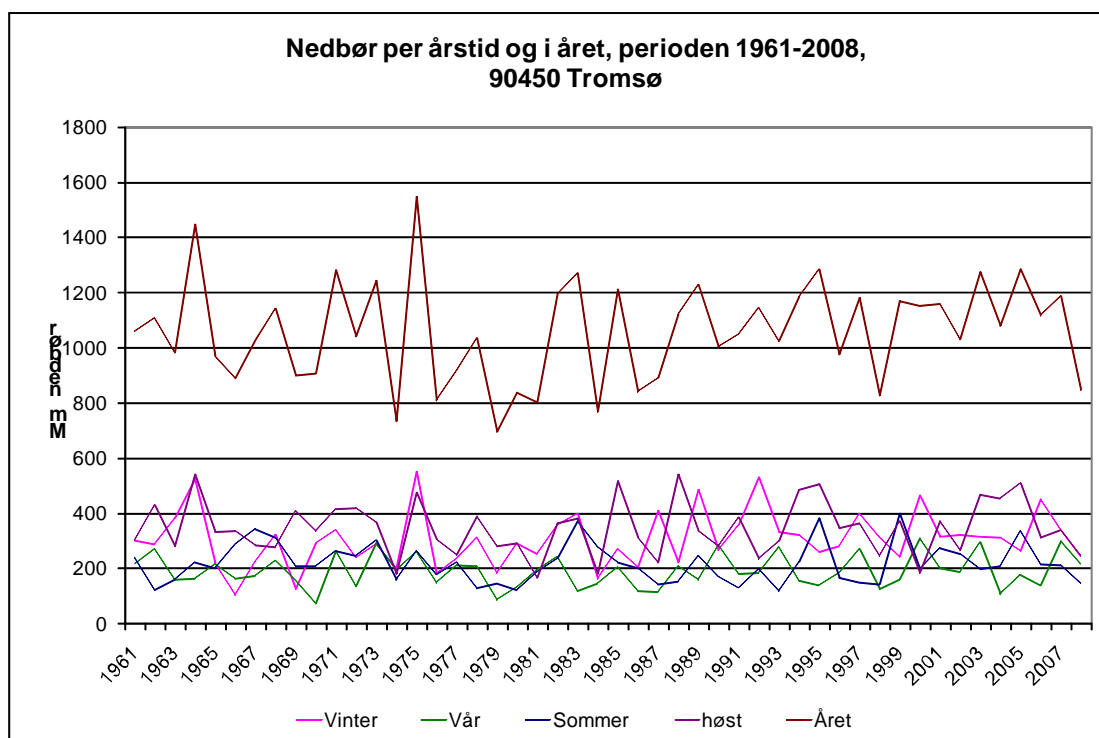
Forholdstallet mellom resultatene fra de to beregningene varierer fra 1,30 (Bergen) til 1,91 (Oppdal).

En mulig årsak til det dårlige samsvaret mellom resultater beregnet ut fra observerte data fra noen klimastasjoner og fra klimamodellene, kan man se av figurene 27-29 nedenfor. De tre klimastasjonene som er valgt, har komplette data for hele perioden fra 1961 til 2008, med en liten usikkerhet ved at Karasjok er dels fra stasjon 97250 og dels fra 97251.

Som det fremgår av figurene, er det relativt store variasjoner i nedbøren fra år til år, og man må kanskje forvente at det er en betydelig forskjell mellom resultater fra noen utvalgte klimastasjoner og fra klimamodellene for de tilhørende klimasoner.



Figur 27. Nedbør per årstid og i året, 1961-2008, Blindern



Figur 28. Nedbør per årstid og i året, 1961-2008, Tromsø

Vedlegg 2

Beregningsforutsetninger i M-E PDG, materialer

Granulære lag

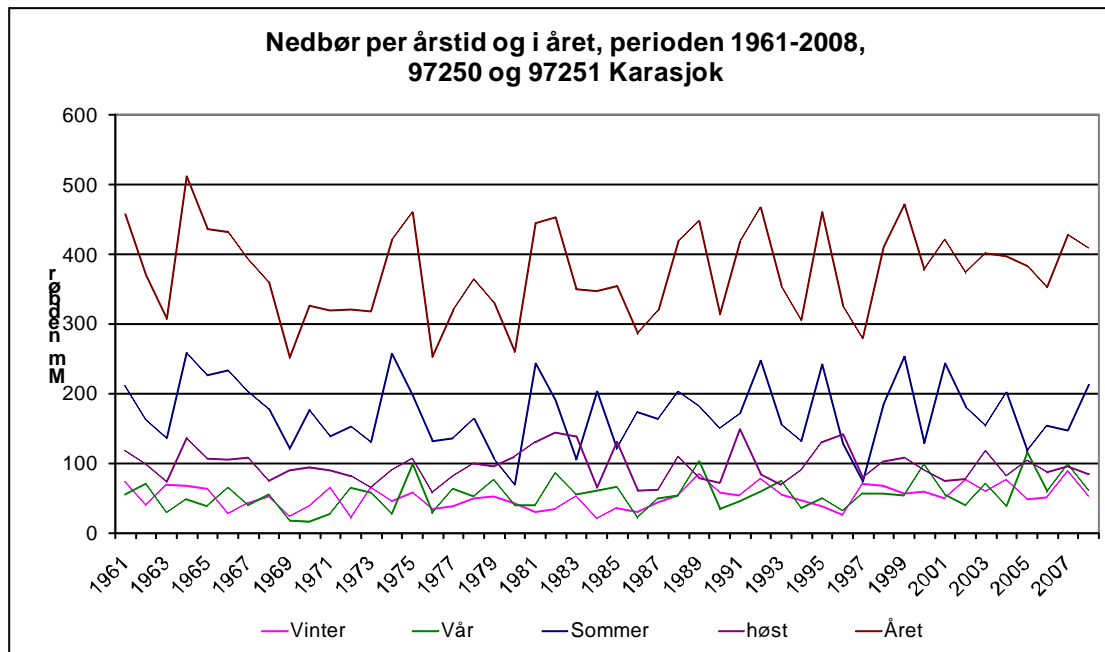
	Knust grus ikke telef.	Telefarlig bærelag	Knust fjell crushed rock	Sprengt stein	Permeable aggregate
	crushed gravel	A-2-4			
E-modul	40000	32500	55000	42000	40000
Sikt					
200	8.7	22.4	8.7		3
80	12.9	42.3	12.9		4
40	20	67.2	20		7
10	33.8	82.5	33.8		10
4	44.7	87.2	44.7		12
3/8	57.2	91.6	57.2		20
1/2	63.1	93.5	63.1		22
3/4	72.7	95.9	72.7		25
1	78.8	97.2	78.8		30
1 1/2	85.8	98.5	85.8		35
2	91.6	99	91.6		50
3 1/2	97.6	99.6	97.6		95
PL	1	2	1	1	1
LL	6	14	6	6	2

Asfalt

	Asfaltdekke Ab	Asfaltdekke Agb	Asfaltbærelag Ag	Asfaltbærelag Ag	Ap
>3/4	0	0	5	5	5
>3/8	5	5	20	20	60
>#4	20	20	40	40	80
<#200	7	7	4	4	6
Bitumen	85/100	120/150	85/100	120/150	85/100
Eff bit	14.3	14.3	10.5	10.5	6.5
Hulrom	4.0	4.0	6.0	6.0	20.0
Densitet	153	153	147	147	135
Thermal	0.67	0.67	0.67	0.67	0.5
Heat	0.23	0.23	0.23	0.23	0.5

Materialer i grunnen

	B.gr 1 og 2	B.gr 3	B.gr 4	B.gr 5	B.gr 6	Bedrock fractured	
Matr.type	A-1-A	A 3	A-1-b	A-2-4	A 5		A 4
E-modul	29 500	24 500	25 500	21 500	15 500	500 000	16 500
200	8.7	5.2	13.4	22.4	54.3		
80	12.9	33	20.8	42.3	66.2		
40	20	76.8	37.6	67.2	74.3		
10	33.8	93.4	64	82.5	82.6		
4	44.7	95.3	74.2	87.2	86.9		
3/8	57.2	96.6	82.3	91.6	90.2		
1/2	63.1	97.1	85.8	93.5	91.9		
3/4	72.7	98	90.8	95.9	94.1		
1	78.8	98.6	93.6	97.2	95.9		
1 1/2	85.8	99.2	96.7	98.5	97.5		
2	91.6	99.7	98.4	99.0	98.5		
3 1/2	97.6	99.9	99.4	99.6	99.5		
PL	1	0	1	2	5		5
LL	6	11	11	14	45		21



Figur 29. Nedbør per årstid og i året, 1961-2008, Karasjok

Når man vurderer resultatene som viser dårlig overensstemmelse mellom nedbør beregnet ut fra nedbør i tidsseriene og nedbør i klimamodellene beregnet for klimasoner, må man legge vekt på at den manglende overensstemmelse gjelder absoluttnivåene for nedbør. Også for de nedbørsmengder som er beregnet ut fra tidsseriene, er endringene fra 2000-2008 til 2070-2100 basert på estimerte endringer slik de er utviklet i klimamodellene.

Forslag

Beregning av klimaendringenes forventede innvirkning på tilstandsutvikling for vegnettet i Norge, baseres på datafiler for klimaet i 2070-2100 på datafilene for tidsserier som angitt i tabell 2, med følgende endringer.

- Daglige temperaturer endres ut fra regresjonslikninger som vist i figur 15
- Nedbør per dag endres prosentvis som angitt i tabell 10.

For de øvrige klimadataene (prosent solskinn per dag, gjennomsnittlig vindhastighet) antas det at innvirkningen på vegkroppens tilstandsutvikling er liten sammenliknet med innvirkningen av temperatur og nedbør. De daglige data endres ikke.

Basert på disse forutsetningene utarbeides det icm-filer som inngangsdata for analyser i M-E PDG versjon 1.1 (Transportation Research Board: Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide)

I tillegg til de beregninger som er omtalt ovenfor gjøres det et mindre, separat studium hvor endringer i nedbør kombineres med antatte endringer i grunnvannstanden.

Vedlegg 1

Klima og Transport, DP 5 Tilstandsutvikling på vegnettet Klimaendringer frem til 2100

Til: Per Otto Aursand Statens vegvesen
Fra: Ragnar Evensen ViaNova Plan og Trafikk AS
Dato: 22. oktober 2009, 18. januar 2010
Arkiv: C:\Prosj\15185 Klima og transport DP5\Datagrunnlag klima 20091215.doc

Klimasoner og klimastasjoner

Basert på forslag fra meteorologisk institutt er riks- og fylkesvegnettet som inngår i analysene i Delprosjekt 5 knyttet til klimasoner som vist i figur 1. Denne inndeling er litt modifisert i forhold til forslaget fra meteorologisk institutt ved at grensene mellom klimasoner følger kommunegrensene. Dette er gjort for å forenkle koblingen mellom delvegnettene og klimasonene og de tilhørende klimastasjoner.

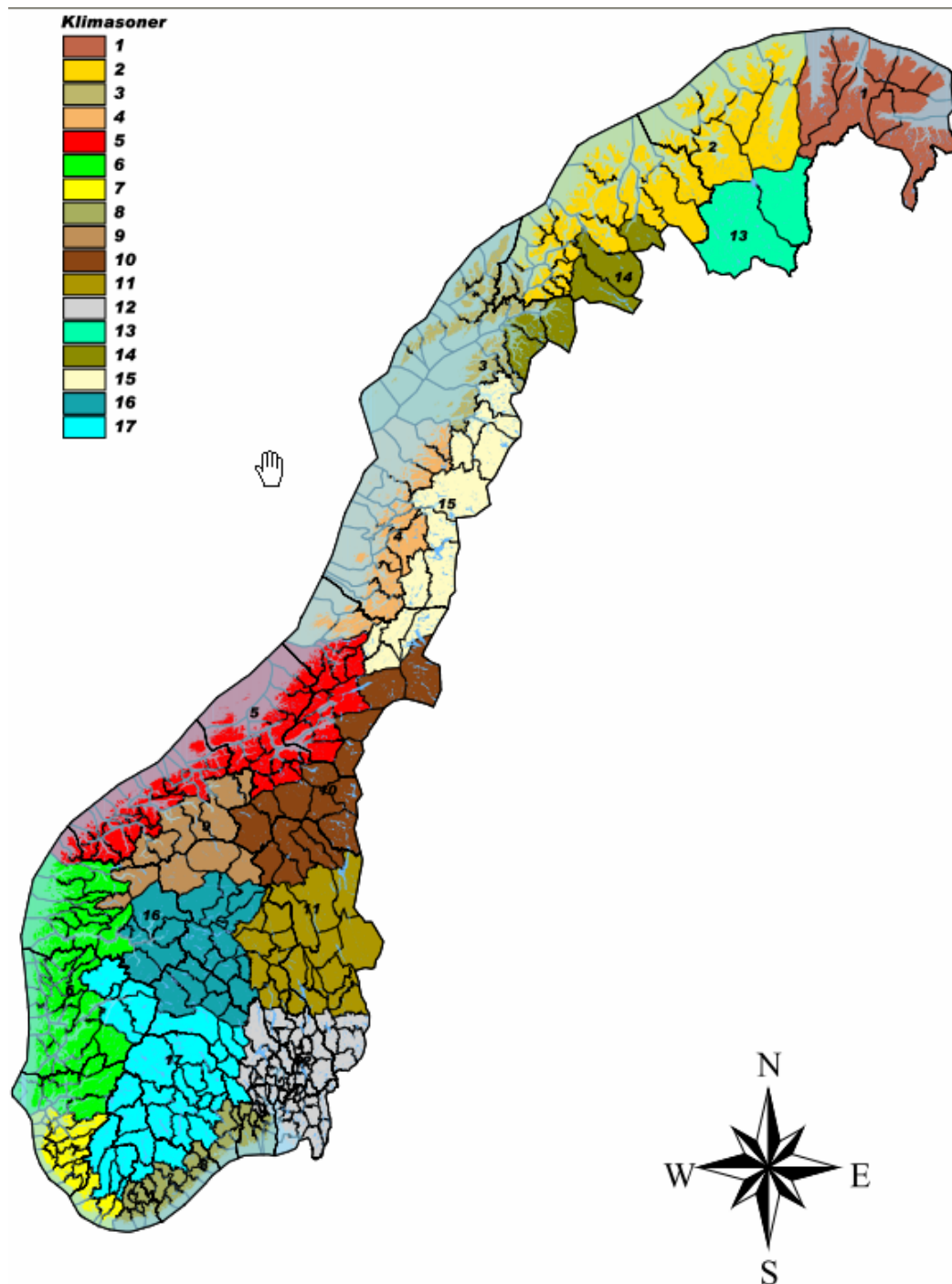
For å redusere analysevolumet er følgende klimasoner slått sammen, se figur 1.

- Klimasone 3 og 4 er behandlet samlet
- Klimasone 16 og 17 er behandlet samlet

fra Meteorologisk institutt ble det frarådet å foreta ytterligere sammenslåinger. Til hver av klimasonene er det knyttet en klimastasjon med tilhørende klimadata. Følgende klimastasjoner er valgt ut fra to kriterier: a) klimastasjonen skal være mest mulig representativ for klimasonen, b) datagrunnlaget skal være mest mulig komplett i perioden 1.1.2000 – 31.12.2008.

Klimasone	Betegnelse	Klimastasjon, nr og navn
1	Varanger	98 550 Vardø Radio
2	Vestfinnmark og Troms ytre	90 450 Tromsø
3 og 4	Helgeland	82 290 Bodø IV
5	Møre og Trøndelag	60 990 Vigra og 69 100 Værnes 50/50
6	Vestlandet	50 540 Bergen Florida
7	Rogaland	44 560 Stavanger
8	Sørlandet	39 040 Kjevik
9	Nordvestlandet indre	63 705 Oppdal
10	Dovre og Trøndelag indre	10 400 Røros og 1038 Røros lufthavn
11	Østlandet indre	21 680 Vest-Torpa
12	Østlandet	18 700 Blindern
13	Finnmarksvidda	97 250 og 97 251 Karasjøk
14	Troms indre	89 350 Bardufoss
15	Nordland indre	78 800 Varntresk
16 og 17	Langfjella	31 620 Møsstrand

Tabell 1. Klimasoner med representative klimastasjoner



Figur 1. Inndeling i klimasoner i Delprosjekt 5.

Tidsserier for klima brukt i M-E PDG

For hver av de omtalte klimastasjonene er det ved hjelp av web-applikasjonen *e klima* hentet ut tidsserier for en rekke klimadata. Dette omfatter:

- Daglig maksimumstemperatur, TAX
- Daglig minimumstemperatur, TAN
- Nedbør per døgn, RR
- Gjennomsnittlig vindhastighet (hovedobservasjon), FFM
- Midlere skydekke. NNM

Tidsseriene må minst omfatte minst ett år for å fungere i M-E PDG. Hvor det er mulig, har man tatt ut daglige data for perioden fra 1.1.2000 til 31.12.2008.

I tillegg til de 16 klimastasjonene som antas å være representative for klimasonene, er det tatt ut tidsserier for stasjon nr 16 610 Fokstugu. Disse resultatene er benyttet ved analyser av tilstandsutviklingen på deler av Ev 136 Dombås – Ålesund.

Klimasone	Klimastasjon, nr og navn	Tidsseriene fra periode
1	98 550 Vardø Radio	1.1.2001 – 31.12.2008
2	90 450 Tromsø	1.1.2000 – 31.12.2008
3 og 4	82 290 Bodø IV	1.1.2001 – 31.12.2008
5	60 990 Vigra og 69 100 Værnes 50/50	1.1.2001 – 31.12.2008
6	50 540 Bergen Florida	1.1.2001 – 31.12.2008
7	44 560 Stavanger	1.1.2000 – 31.12.2008
8	39 040 Kjevik	1.1.2001 – 31.12.2008
9	63 705 Oppdal	1.1.2001 – 31.12.2008
10	10 400 Røros og 10 380 Røros l.h.	1.1.2001 – 31.12.2003
11	21 680 Vest-Torpa	1.1.2000 – 31.12.2008
12	18 700 Blindern	1.1.2000 – 31.12.2008
13	97 250 og 97 251 Karasjok	1.1.2000 – 31.12.2008
14	89 350 Bardufoss	1.1.2001 – 31.12.2008
15	78 800 Vartresk	1.1.2000 – 31.12.2008
16 og 17	31 620 Møsstrand	1.1.2000 – 31.12.2008
Ev 136	16 610 Fokstugu	1.1.2001 – 31.12.2003

Tabell 2. Tidsserier for de forskjellige målestasjoner

Forventede klimaendringer frem til 2070-2100

Forventede klimaendringer frem til 2070-2100 er estimert ut fra konklusjonene i rapporten ”Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpasning”, foreløpig utgave Juni 2009. I denne rapporten er endringer i temperatur og nedbør beregnet i forhold til normalen 1961-1990.

Uheldigvis er det i denne rapporten benyttet andre klimasoner enn det som er benyttet i Delprosjekt 5. For temperatur er det benyttet 6 regioner, for nedbør 13 regioner. En kobling mellom de målestasjoner som er benyttet i Delprosjekt 5 og de ovenfor nevnte temperaturregioner og nedbørsregioner er vist i tabell 3.

Temperaturregion	Nedbørsregion	Klimastasjon, nr og navn
6	13	98 550 Vardø Radio
4	11	90 450 Tromsø
4	11	82 290 Bodø IV
2	8	60 990 Vigra
3	10	69 100 Værnes
2	5	50 540 Bergen Florida
2	4	44 560 Stavanger
1	3	39 040 Kjevik
3	9	63 705 Oppdal
1	7	10380 Røros lufthavn
1	2	21 680 Vest-Torpa
1	2	18 700 Blindern
5	12	97 250 og 97 251 Karasjok
4	11	89 350 Bardufoss
4	10	78 800 Vartresk
1	2	31 620 Møsstrand

Tabell 3. Koblinger mellom klimastasjoner i DP 5 og temperatur- og nedbørsregioner

De estimerte endringer i nedbøren frem til 2070-2100 er gjengitt i tabell 4 nedenfor.

Region	Sesong	1961-90 til 2021-50:			1961-90 til 2071-00:		
		Endring (%) i nedbørssum			Endring (%) i nedbørssum		
		M	L	H	M	L	H
Norge	År	9,6	2,4	14,0	18,3	5,4	30,9
	Vinter DJF	11,1	3,8	18,4	21,4	8,5	39,9
	Vår MAM	10,0	3,7	20,0	19,4	7,2	41,5
	Sommer JJA	5,0	-1,6	9,7	9,2	-3,2	17,4
	Høst SON	12,2	2,1	16,1	23,3	4,6	33,4
NR-1 Østfold	År	6,7	1,5	12,1	12,2	2,7	22,2
	Vinter DJF	13,5	5,6	28,7	24,7	10,2	52,6
	Vår MAM	7,6	1,4	16,9	14,0	2,6	31,0
	Sommer JJA	-3,8	12,2	10,9	-7,0	-22,4	19,9
	Høst SON	9,2	-2,0	15,0	16,8	-3,7	27,5
NR-2 Østlandet	År	6,7	3,1	10,3	12,2	5,6	18,8
	Vinter DJF	15,8	7,0	26,6	28,9	12,9	48,8
	Vår MAM	7,6	2,9	15,5	14,0	5,4	28,5
	Sommer JJA	-2,4	-11,5	5,1	-4,4	-21,0	9,4
	Høst SON	8,2	1,0	12,5	15,1	1,8	22,9
NR-3 Sørlandet	År	4,6	-0,8	9,3	8,5	-1,5	17,0
	Vinter DJF	12,4	3,8	28,0	22,7	7,0	51,4
	Vår MAM	6,3	-0,4	16,6	11,6	-0,8	30,4
	Sommer JJA	-4,6	-15,4	5,0	-8,5	-28,2	9,2
	Høst SON	3,3	-4,8	8,7	6,0	-8,8	16,0
NR-4 Sør-Vestlandet	År	10,1	1,8	18,2	18,6	3,3	33,3
	Vinter DJF	13,7	2,6	24,7	25,1	4,7	45,2
	Vår MAM	11,3	4,8	17,2	20,8	8,8	31,6
	Sommer JJA	0,4	-11,2	12,8	0,8	-20,5	23,5
	Høst SON	12,2	0,3	20,3	22,4	0,5	37,2
NR-5 Sunnhordaland	År	10,2	3,3	17,8	18,7	6,1	32,6
	Vinter DJF	12,4	2,3	23,0	22,7	4,2	42,2
	Vår MAM	12,3	3,9	18,3	22,5	7,2	33,6
	Sommer JJA	1,5	-9,8	12,4	2,7	-18,0	22,7
	Høst SON	12,9	-0,1	19,6	23,6	-0,1	35,9
NR-6 Sogn og Nordhordaland	År	12,0	1,5	19,6	22,0	2,7	36,0
	Vinter DJF	12,1	3,6	21,9	22,2	6,6	40,2
	Vår MAM	14,1	4,7	24,8	25,9	8,6	45,4
	Sommer JJA	5,6	-5,8	14,2	10,3	-10,6	26,0
	Høst SON	15,4	0,4	24,1	28,2	0,8	44,2
NR-7 Dovre/ Nord- Østerdal	År	9,9	3,1	14,3	18,2	5,6	26,3
	Vinter DJF	15,3	7,4	27,4	28,0	13,6	50,2
	Vår MAM	10,3	5,5	17,1	18,9	10,1	31,3
	Sommer JJA	3,9	-2,8	7,6	7,1	-5,2	14,0
	Høst SON	13,3	1,0	22,8	24,3	1,8	41,8
NR-8 Møre og Roms- dal	År	12,0	-0,5	23,3	22,0	-1,0	42,7
	Vinter DJF	11,7	-4,0	23,3	21,4	-7,3	42,7
	Vår MAM	13,5	0,5	27,8	24,7	0,9	51,0
	Sommer JJA	9,3	-1,4	16,6	17,0	-2,6	30,4
	Høst SON	13,9	-0,8	25,7	25,5	-1,4	47,1
NR-9 Inntrøndelag	År	12,7	1,5	21,9	23,2	2,7	40,1
	Vinter DJF	14,7	-4,1	29,1	27,0	-7,5	53,4
	Vår MAM	13,9	3,5	27,1	25,5	6,4	49,6
	Sommer JJA	9,2	1,3	15,4	16,9	2,4	28,3
	Høst SON	14,5	0,5	24,9	26,5	1,0	45,6
NR-10 Trøndelag/ Helgeland	År	12,3	0,6	28,3	22,5	1,1	51,8
	Vinter DJF	10,1	-6,3	19,9	18,6	-11,6	36,5
	Vår MAM	12,3	3,1	31,3	22,6	5,7	57,4
	Sommer JJA	11,5	4,4	19,7	21,1	8,0	36,1
	Høst SON	15,4	0,5	33,2	28,3	0,9	60,8
NR-11 Hålogaland	År	10,4	2,7	23,2	19,0	4,9	42,6
	Vinter DJF	6,9	-6,4	21,1	12,7	-11,7	38,6
	Vår MAM	9,5	0,4	34,7	17,4	0,7	63,7
	Sommer JJA	10,5	6,5	18,0	19,2	11,9	33,0
	Høst SON	14,3	5,6	23,6	26,3	10,3	43,3
NR-12 Finnmarks- vidda	År	9,1	3,7	14,9	16,6	6,8	27,3
	Vinter DJF	8,5	0,4	19,8	15,6	0,8	36,3
	Vår MAM	8,8	1,7	22,3	16,2	3,2	40,9
	Sommer JJA	7,2	2,3	11,6	13,2	4,3	21,3
	Høst SON	12,3	5,6	20,3	22,6	10,3	37,3
NR-13 Varanger	År	8,3	0,9	15,9	15,3	1,6	29,2
	Vinter DJF	7,0	-5,3	23,5	12,8	-9,7	43,1
	Vår MAM	5,0	-2,7	23,8	9,1	-5,0	43,6
	Sommer JJA	9,7	1,0	17,0	17,8	1,9	31,2
	Høst SON	11,6	6,1	16,1	21,2	11,2	29,6

Tabell 4 Fremskrivning i nedbør frem til perioden 2071 – 2100

Kolonnene i tabell 4 angir prosentvis økning i nedbørssum i de forskjellige nedbørsregioner og årstider. Vurderingen av differansene mellom tidsseriene i forhold til normalen 1961-90 inkluderer både middels prognose (angitt i kolonne M) og høy prognose (angitt i kolonne H).

Tabell 5 angir fremskrivning av temperaturen i de forskjellige temperaturregioner frem til 2070-2100 i forhold til normalen 1961-90.

Region	Sesong	Økning (°C) til 2021–2050			Økning (°C) til 2071–2100		
		M	L	H	M	L	H
Norge	År	1,9	1,2	2,5	3,4	2,3	4,6
	Vinter DJF	2,3	1,5	3,3	4,3	2,8	6,0
	Vår MAM	1,9	1,2	2,6	3,5	2,3	4,8
	Sommer JJA	1,3	0,8	1,9	2,4	1,4	3,5
	Høst SON	1,9	1,3	2,6	3,5	2,4	4,8
TR-1 Østlandet	År	1,9	1,2	2,6	3,4	2,3	4,8
	Vinter DJF	2,4	1,5	3,5	4,5	2,8	6,5
	Vår MAM	1,7	1,1	2,5	3,2	1,9	4,6
	Sommer JJA	1,3	0,8	2,0	2,5	1,5	3,8
	Høst SON	1,9	1,3	2,8	3,6	2,5	5,1
TR-2 Vestlandet	År	1,7	1,0	2,3	3,1	1,9	4,2
	Vinter DJF	2,1	1,2	2,9	3,8	2,3	5,4
	Vår MAM	1,7	1,0	2,3	3,1	1,8	4,3
	Sommer JJA	1,3	0,7	1,9	2,3	1,2	3,5
	Høst SON	1,7	1,2	2,3	3,2	2,2	4,3
TR-3 Trøndelag	År	1,7	1,2	2,4	3,2	2,2	4,4
	Vinter DJF	2,2	1,4	3,2	4,1	2,6	5,8
	Vår MAM	1,8	1,1	2,5	3,3	2,1	4,6
	Sommer JJA	1,0	0,5	1,6	1,9	1,0	3,0
	Høst SON	1,8	1,3	2,6	3,4	2,3	4,8
TR-4 Nordland/ Troms	År	1,9	1,3	2,5	3,4	2,3	4,6
	Vinter DJF	2,3	1,5	3,3	4,2	2,7	6,0
	Vår MAM	2,1	1,4	2,9	3,8	2,6	5,2
	Sommer JJA	1,2	0,7	1,8	2,2	1,3	3,3
	Høst SON	1,9	1,2	2,5	3,4	2,3	4,5
TR-5 Finnmarks- vidda	År	2,3	1,7	2,8	4,2	3,1	5,2
	Vinter DJF	2,9	2,0	3,9	5,3	3,6	7,1
	Vår MAM	2,3	1,6	3,1	4,3	3,0	5,8
	Sommer JJA	1,5	1,0	2,2	2,8	1,7	4,0
	Høst SON	2,3	1,6	3,0	4,1	2,9	5,5
TR-6 Varanger	År	2,3	1,6	2,9	4,2	3,0	5,4
	Vinter DJF	2,8	1,7	4,0	5,2	3,0	7,3
	Vår MAM	2,6	1,8	3,5	4,7	3,3	6,4
	Sommer JJA	1,6	0,9	2,2	2,9	1,7	4,0
	Høst SON	2,2	1,4	2,8	4,0	2,6	5,2

Tabell 5 Fremskrivning for temperatur frem til perioden 2071 – 2100

Ut fra de koblinger som er angitt i tabell 3 får man følgende endringer for nedbør og temperatur pr årstid ved de klimastasjoner som benyttes i Delprosjekt 5.

Klimastasjon, nr og navn	Endring i nedbør, middels prognose, %			
	Vinter	Vår	Sommer	Høst
98 550 Vardø Radio	12,8	9,1	17,5	21,2
90 450 Tromsø	18,6	22,6	21,1	28,3
82 290 Bodø IV	18,6	22,6	21,1	28,3
60 990 Vigra	21,4	24,7	17,0	25,5
69 100 Værnes	18,6	22,6	21,1	28,3
50 540 Bergen Florida	22,7	22,5	2,7	23,6
44 560 Stavanger	25,1	20,8	0,8	22,4
39 040 Kjevik	22,7	11,6	-8,5	6,0
63 705 Oppdal	27,0	25,5	16,9	26,5
10 400 Røros og 10 380 Røros l.h.	28,0	18,9	7,1	24,3
21 680 Vest-Torpa	28,9	14,0	-4,4	15,1
18 700 Blindern	28,9	14,0	-4,4	15,1
97 250 og 97 251 Karasjok	15,6	16,2	13,2	22,6
89 350 Bardufoss	18,6	22,6	21,1	28,3
78 800 Varntresk	18,6	22,6	21,1	28,3
31 620 Møsstrand	28,9	14,0	-4,4	15,1
16 610 Fokstugu	28,0	18,9	7,1	24,3

Tabell 6. Forventede endringer i nedbør fra 1961-1990 til 2070-2100, middels prognose

Klimastasjon, nr og navn	Endring i temperatur, middels prognose, °C			
	Vinter	Vår	Sommer	Høst
98 550 Vardø Radio	5,2	4,7	2,9	4,0
90 450 Tromsø	4,2	3,8	2,2	3,4
82 290 Bodø IV	4,2	3,8	2,2	3,4
60 990 Vigra	3,8	3,1	2,3	3,2
69 100 Værnes	4,1	3,3	1,9	3,4
50 540 Bergen Florida	3,8	3,1	2,3	3,2
44 560 Stavanger	3,8	3,1	2,3	3,2
39 040 Kjevik	4,5	3,2	2,5	3,6
63 705 Oppdal	4,1	3,3	1,9	3,4
10 400 Røros og 10 380 Røros l.h.	4,5	3,2	2,5	3,6
21 680 Vest-Torpa	4,5	3,2	2,5	3,6
18 700 Blindern	4,5	3,2	2,5	3,6
97 250 og 97 251 Karasjok	5,3	4,3	2,8	4,1
89 350 Bardufoss	4,2	3,8	2,2	3,4
78 800 Varntresk	4,2	3,8	2,2	3,4
31 620 Møsstrand	4,5	3,2	2,5	3,6
16 610 Fokstugu	4,5	3,2	2,5	3,6

Tabell 7. Forventede endringer i temperatur fra 1961-1990 til 2070-2100, middels prognose

Registrerte endringer frem til 2000-2008

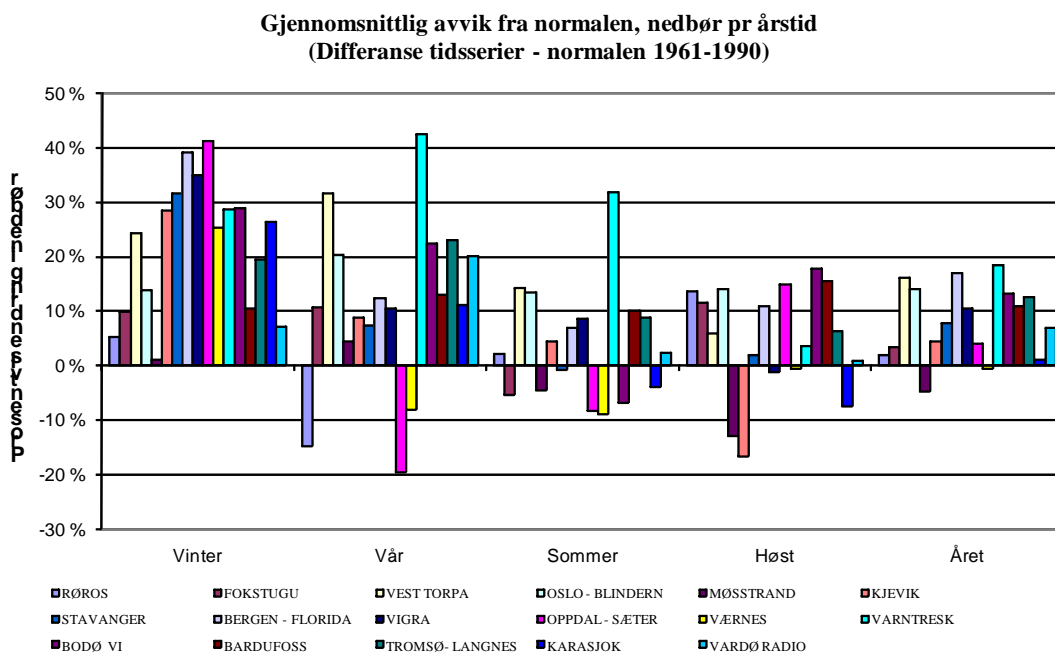
I denne analysen skal man vurdere effekten av klimaendringer på vegkonstruksjonens tilstandsutvikling og forventet dekkelevetid i forhold til referansene som er angitt i tabell 2. De klimaendringer som er angitt i tabellene 6 og 7, må derfor ta hensyn til de klimaendringer som allerede har funnet sted.

I figur 2 og 3 har man analysert nedbør pr årstid slik dette fremkommer i dataene fra tidsseriene i forhold til nedbørnormalen basert på 1961-1990. Figur 2 viser nedbøren i

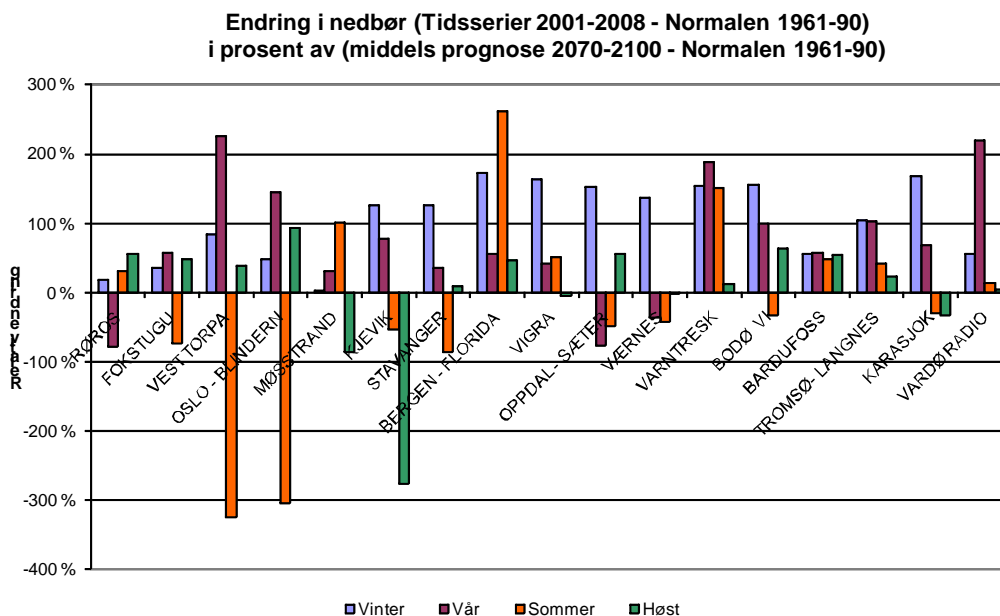
tidsseriene i prosent av nedbørsnormalen. I figur 3 er denne nedbørsendringen sammenliknet med den endring frem til 2070-2100, slik den er angitt i tabell 6.

Figur 2 viser at vinternedbøren i tidsseriene konsekvent ligger over nedbørsnormalene for alle klimastasjonene. For de andre årstidene er endringene ikke like systematiske, men det er også for disse årstidene en klar overvekt av klimastasjoner med en økning i nedbøren.

I figur 3 er endringen i nedbør pr årstid sammenliknet med forventet endring frem til 2070-2100. Man kan legge merke til at figuren indikerer at en betydelig del av de nedbørsendringer som er forventet frem til 2070-2100, allerede er inne i dataene fra tidsseriene. Det bør i den forbindelse kommenteres at figuren også viser store negative endringer. I de fleste tilfeller skyldes dette at prognosen (spesielt for sommeren) viser en liten reduksjon i nedbørsmengden, mens tidsseriene har en økning i nedbøren i forhold til normalen.



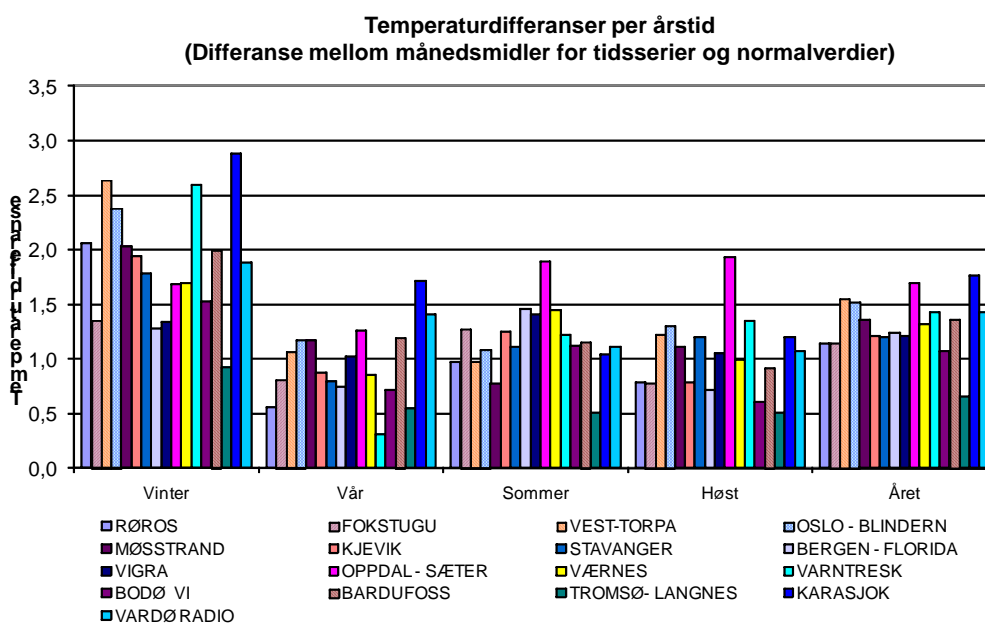
Figur 2. Nedbør pr årstid, tidsserienes avvik fra normalen 1961-1990.



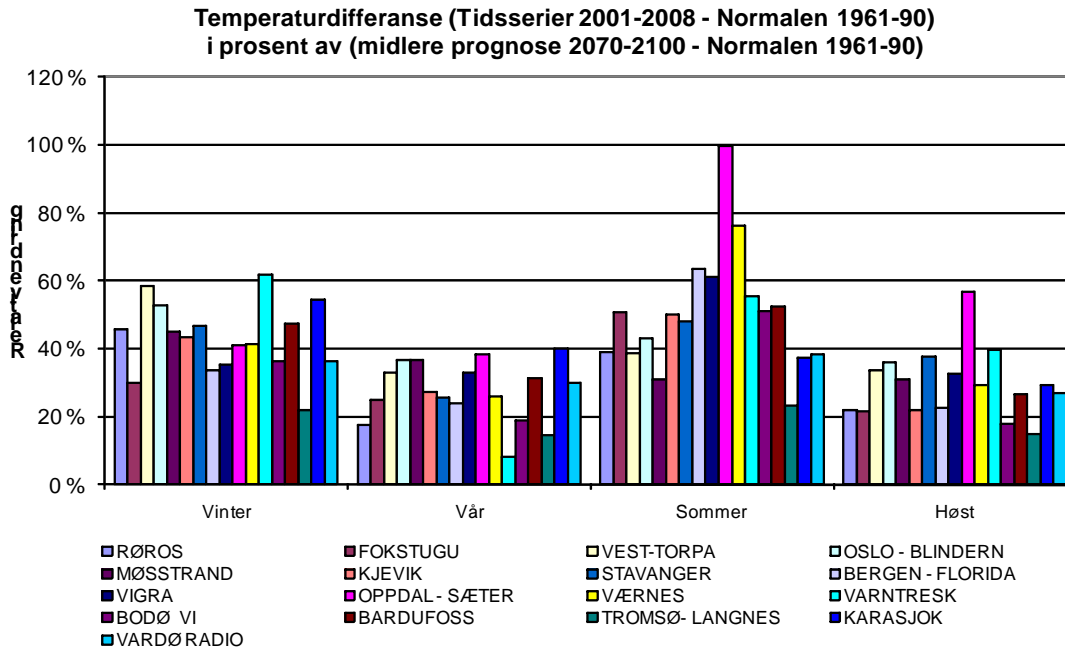
Figur 3. Nedbør pr årstid, tidsseriens avvik fra normalen 1961-1990 i forhold til forventet endring frem til 2070-2100.

Noe forenklet kan man av figur 2 anta at sommernedbøren i perioden 2000-2008 ligger ca 25 % over nedbørsnormalen, og for de øvrige årstider ca 10 % over nedbørsnormalen. De enkelte klimastasjoner har relativt store avvik fra dette gjennomsnittet.

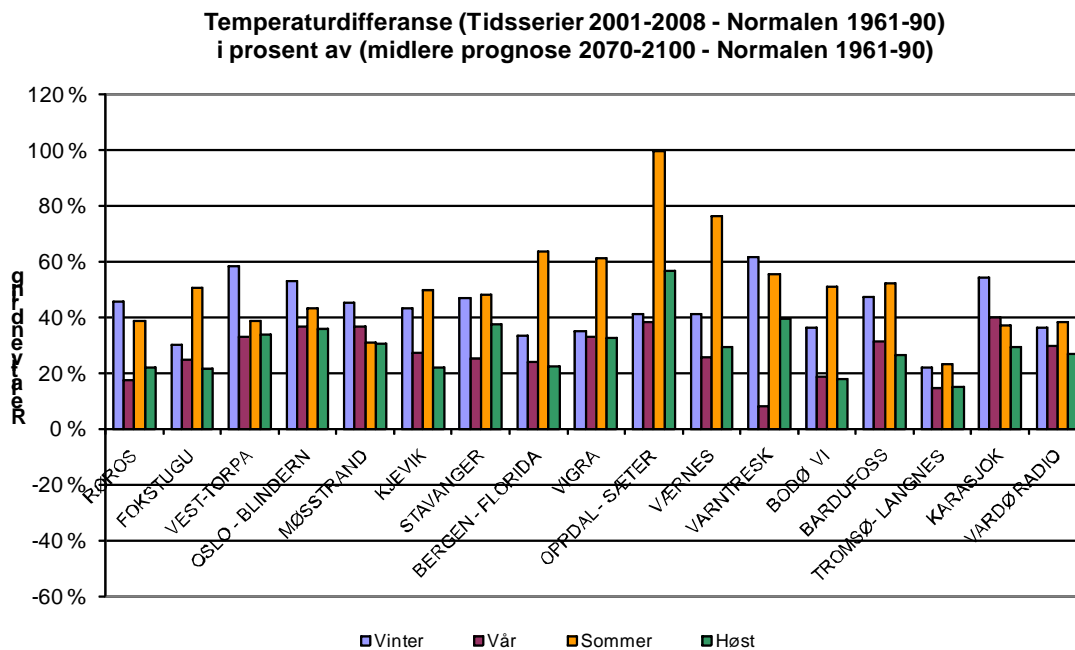
Figur 4, 5 og 6 viser på tilsvarende måte differansen mellom tidsseriene og normalen med hensyn på gjennomsnittlig temperatur pr årstid. Figur 4 viser differansene i °C, mens figur 5 viser differansene i prosent av forventede endringer fra 1961-1990 til 2070-2100. Differansene for temperatur viser generelt mindre variasjoner mellom klimastasjonene enn hva man kunne registrere for nedbør.



Figur 4. Differanse mellom månedsmiddeltemperaturer i Tidsserier og normalverdier.



Figur 5. Temperatur pr årstid, tidsseriens avvik fra normalen 1961-1990 i forhold til forventet endring frem til 2070-2100.



Figur 6. Temperatur pr årstid, tidsseriens avvik fra normalen 1961-1990 i forhold til forventet endring frem til 2070-2100.

Av figur 5 kan man grovt anslå at temperaturen i forhold til normalen 1961-1990 har øket i størrelsesorden 50 % om sommeren, 40 % om vinteren og 30 % om våren og høsten i forhold til det som er forventet frem til 2070-2100.

I tillegg til de endringer som fremgår av tabell 7, er det estimat av endringer i antall dager hvor temperaturen er nær 0°C, som kan være av stor betydning for vegkroppens tilstandsutvikling. Tabell 8 er hentet fra Virkninger av klimaendringer for transportsektoren, rapport fra en tverrfaglig arbeidsgruppe til NTP-arbeidet 2010-2019.

6a) T2max>0 T2min<0

Area	Winter				Spring				Summer				Autumn				Year			
	P	S	C	C[%]	P	S	C	C[%]	P	S	C	C[%]	P	S	C	C[%]	P	S	C	C[%]
1	16.9	17.8	0.9	24.2	19.5	15.2	-4.3	-25.1	5.3	0.3	-5.0	-94.9	13.3	8.4	-4.9	-43.2	55.0	41.7	-13.3	-24.1
2	20.5	16.7	-3.8	-12.6	18.1	11.9	-6.2	-38.6	1.8	0.0	-1.8	-99.6	11.8	5.4	-6.5	-62.5	52.2	33.9	-18.3	-37.2
3	18.0	10.2	-7.8	-44.5	11.8	5.8	-5.9	-57.1	0.1	0.0	-0.1	-49.8	6.5	2.0	-4.5	-80.0	36.4	18.1	-18.4	-55.2
4	17.0	11.7	-5.4	-34.9	12.6	7.2	-5.3	-54.8	0.2	0.0	-0.2	-17.0	7.5	3.1	-4.4	-73.0	37.2	22.0	-15.2	-49.3
5	16.4	12.0	-4.4	-40.3	13.5	7.9	-5.6	-58.2	0.1	0.0	-0.1	-34.3	7.7	3.1	-4.6	-76.3	37.7	22.9	-14.8	-53.2
6	11.5	6.8	-4.7	-59.2	8.5	4.6	-3.9	-71.0	0.0	0.0	0.0	-19.1	4.6	1.9	-2.8	-84.3	24.6	13.2	-11.4	-66.8
7	11.8	7.1	-4.8	-58.9	9.0	3.8	-5.2	-75.2	0.0	0.0	0.0	-14.3	4.2	1.4	-2.8	-85.7	25.1	12.3	-12.8	-68.3
8	18.6	11.6	-7.0	-49.2	12.9	5.8	-7.1	-68.9	0.0	0.0	0.0	-12.5	6.6	2.4	-4.2	-80.3	38.2	19.8	-18.3	-60.7
9	14.2	20.8	6.6	58.0	27.4	26.9	-0.5	-1.2	6.1	1.3	-4.8	-83.5	22.6	18.6	-4.0	-18.3	70.3	67.6	-2.8	-3.8
10	17.7	23.4	5.7	35.5	27.1	24.7	-2.3	-8.4	1.8	0.2	-1.6	-92.2	20.7	15.4	-5.3	-26.0	67.3	63.8	-3.5	-5.0
11	19.1	24.8	5.7	32.9	28.6	24.5	-4.0	-14.0	0.9	0.1	-0.8	-93.5	22.0	16.3	-5.7	-26.3	70.6	65.7	-4.8	-6.6
12	26.3	26.8	0.4	1.6	27.0	17.6	-9.3	-35.1	0.0	0.0	0.0	-85.7	18.3	10.1	-8.2	-45.8	71.6	54.4	-17.2	-24.3
13	7.8	13.8	6.0	76.9	23.3	22.4	-0.9	-3.9	3.8	0.2	-3.5	-93.8	17.8	17.0	-0.8	-4.4	52.7	53.4	0.7	1.4
14	7.3	12.8	5.4	78.5	21.3	22.1	0.8	4.1	5.5	0.7	-4.8	-89.3	18.9	18.1	-0.8	-4.2	53.1	53.7	0.6	1.2
15	13.4	19.1	5.8	48.6	23.7	23.4	-0.2	-0.7	2.9	0.3	-2.6	-92.2	19.7	15.9	-3.7	-18.9	59.6	58.7	-0.8	-1.0
16	14.7	20.5	5.8	53.9	26.8	26.4	-0.4	-1.0	5.8	1.2	-4.6	-82.6	23.1	18.9	-4.2	-19.0	70.5	67.0	-3.5	-4.7
17	20.4	25.4	5.0	30.9	30.7	26.5	-4.2	-13.2	2.7	0.5	-2.2	-88.1	24.4	17.3	-7.1	-29.6	78.3	69.7	-8.6	-10.6

Tabell 8. Estimerte endringer i antall dager hvor temperaturen svinger rundt 0°C.

Av tabell 8 ser en at antall dager hvor temperaturen svinger rundt 0°C forventes å øke om vinteren for innlandet, klimasone 1 og 9-17. Antall dager med slike svingninger blir imidlertid redusert for både høst og vår, slik at antall dager i året med temperatursvingninger går ned for alle klimasoner. For de kystnære klimasonene blir antall dager med svingninger rundt 0°C færre for alle årstider. Total sett er det grunn til å anta at endringer i antall dager i året med temperatursvingninger rundt 0°C har en liten, positiv innvirkning på vegens tilstandsutvikling når det gjelder frysing og tining av grusmaterialet o.l. Hvorvidt denne innvirkningen totalt sett er positiv eller negativ med hensyn på vegdekkenes piggedekkslitasje, er det vanskeligere å ha en klar oppfatning om. Et lavere antall temperaturvekslinger rundt 0°C gir sannsynligvis mindre nedbrytning av vegdekkene, mens temperaturvekslinger over en større del av året øker sannsynligvis påkjenningene.

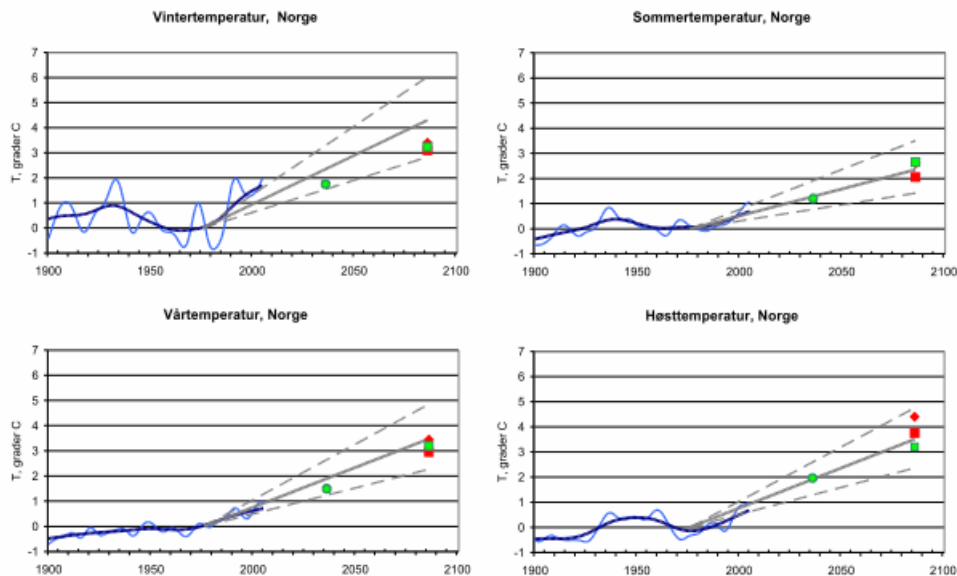
Vurderingene over må ikke forveksles med innvirkningen av klimaendringene på asfaltdekkenes piggedekkslitasje. Mildere klima og lengre perioder med våt vegbane er ugunstig for piggedekkslitasjen. I hvor stor grad denne effekten blir redusert på grunn av mindre behov for bruk av piggedekk, blir dermed et viktig spørsmål.

Prognose for endringer fra 2000-2008 til 2070-2100

Analysene i Delprosjekt 5 har som en viktig del av målet å analysere effekten av klimaendringer frem til 2070-2100 på vegkroppens tilstandsutvikling. I dette inngår det at dagens situasjon er referansen for analysene. Klimaendringene skal derfor fokusere på de endringer som forventes i inntreffe i tiden fra 2000-2008 til 2070-2100.

En mulig angrepsvinkel for dette er å ta utgangspunkt i de endringer som bl.a. er angitt i tabellene 6 og 7, og redusere for de endringer som allerede har funnet sted, uttrykt gjennom figurene 2 – 6. Denne metoden må antas å være relativt usikker siden dataene for noen utvalgte klimastasjoner i en begrenset periode har stor innvirkning på beregningsforutsetningene.

Et alternativ er å se nærmere på de endringer som er beskrevet i rapporten ”Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpasning”, foreløpig utgave juni 2009, hvor figur 7 er hentet fra.



Figur 7. Forventede endringer i gjennomsnittstemperatur for vinter, vår, sommer og høst.

Figur 7 beskriver en lineær temperaturutvikling fra midten av perioden 1961-1990 og frem til midten av perioden 2070-2100. Tilsvarende fremstillinger foreligger for de forventede endringer i nedbøren.

Dersom man skal legge dette til grunn for utarbeidelse av prognoser for perioden fra 2000-2008 til 2070-2100, kan følgende forholdstall benyttes.

$$\text{Forholdstall} = \frac{2085 - 2004}{2085 - 1975} = 0,74$$

En rimelig prognose vil med dette være å multiplisere de endringer som er gjengitt i tabellene 6 og 7, med faktoren 0,74. Dette gir følgende endringer i temperatur og nedbør.

Klimastasjon, nr og navn	Endring i nedbør, middels prognose, %			
	Vinter	Vår	Sommer	Høst
98 550 Vardø Radio	9,5	6,7	13,0	15,7
90 450 Tromsø	13,8	16,7	15,6	20,9
82 290 Bodø IV	13,8	16,7	15,6	20,9
60 990 Vigra	15,8	18,3	12,6	18,9
69 100 Værnes	13,8	16,7	15,6	20,9
50 540 Bergen Florida	16,8	16,7	2,0	17,5
44 560 Stavanger	18,6	15,4	0,6	16,6
39 040 Kjevik	16,8	16,7	2,0	17,5
63 705 Oppdal	20,0	18,9	12,5	19,6
10 400 Røros og 10 380 Røros l.h.	20,7	14,0	5,3	18,0
21 680 Vest-Torpa	21,4	10,4	-3,3	11,2
18 700 Blindern	21,4	10,4	-3,3	11,2
97 250 og 97 251 Karasjøk	11,5	12,0	9,8	16,7
89 350 Bardufoss	13,8	16,7	15,6	20,9
78 800 Varntresk	13,8	16,7	15,6	20,9
31 620 Møsstrand	21,4	10,4	-3,3	11,2

16 610 Fokstugu	20,7	14,0	5,3	18,0
-----------------	------	------	-----	------

Tabell 9. Forventede endringer i nedbør fra 2000-2008 til 2070-2100, middels prognose

Klimastasjon, nr og navn	Endring i temperatur, middels prognose, °C			
	Vinter	Vår	Sommer	Høst
98 550 Vardø Radio	3,8	3,5	2,1	3,0
90 450 Tromsø	3,1	2,8	1,6	2,5
82 290 Bodø IV	3,1	2,8	1,6	2,5
60 990 Vigra	2,8	2,3	1,7	2,4
69 100 Værnes	3,0	2,4	1,4	2,5
50 540 Bergen Florida	2,8	2,3	1,7	2,4
44 560 Stavanger	2,8	2,3	1,7	2,4
39 040 Kjevik	3,3	2,4	1,9	2,7
63 705 Oppdal	3,0	2,4	1,4	2,5
10 400 Røros og 10 380 Røros l.h.	3,3	2,4	1,9	2,7
21 680 Vest-Torpa	3,3	2,4	1,9	2,7
18 700 Blindern	3,3	2,4	1,9	2,7
97 250 og 97 251 Karasjok	3,9	3,2	2,1	3,0
89 350 Bardufoss	3,1	2,8	1,6	2,5
78 800 Varntresk	3,1	2,8	1,6	2,5
31 620 Møsstrand	3,3	2,4	1,9	2,7
16 610 Fokstugu	3,3	2,4	1,9	2,7

Tabell 10. Forventede endringer i temperatur fra 2000-2008 til 2070-2100, middels prognose

Av tabell 10 kan en legge merke til at temperaturøkningen er størst om vinteren hvor temperaturen i utgangspunktet er lavest, og minst om sommeren. For temperaturøkningene om høsten og våren når gjennomsnittstemperaturene i utgangspunktet er relativt like, er endringene ikke like systematiske. Ved klimastasjoner i Sør-Norge er økningen om høsten størst, mens ved stasjoner i Nord-Norge er økningen om våren størst.

Tidsserier representative for 2070-2100

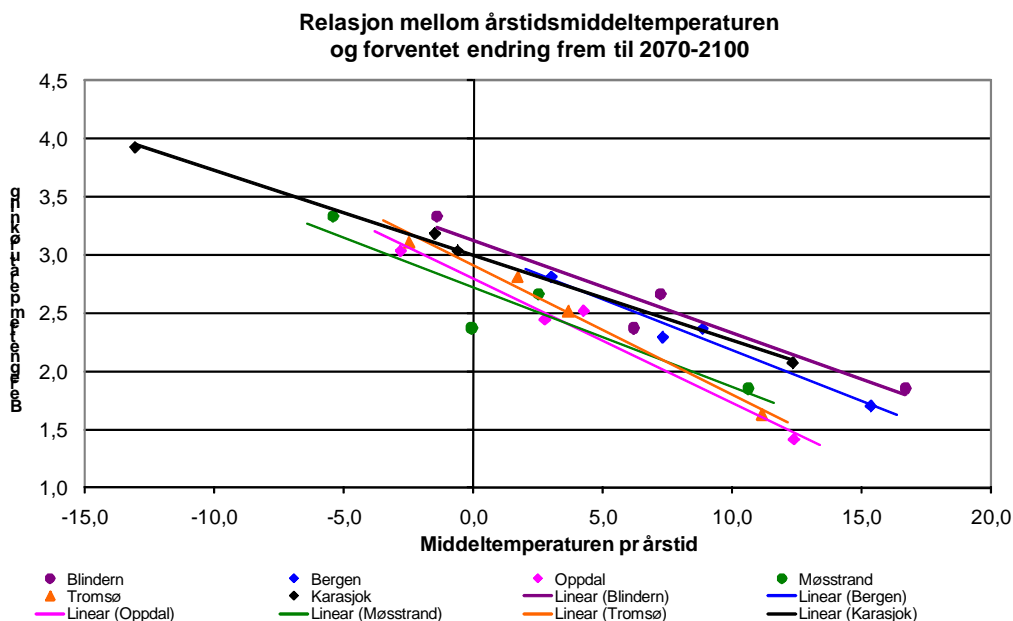
De endringer som er beskrevet i tabell 10 og 11 gjelder gjennomsnittlige endringer i nedbør og temperatur pr årstid. For at disse endringene skal inngå i beregningsprogrammet M-E PDG, må det lages nye tidsserier for nedbør, temperatur, vind og skydekke med det filformat som kreves av M-E PDG.

Tidsserier for temperatur

Uten mer detaljert informasjon om hvordan klimaendringene innvirker på daglige maksimums- og minimumstemperaturer, vil man være nødt til å benytte relativt enkle modeller for endringer. Man har valgt å se på to alternative teknikker.

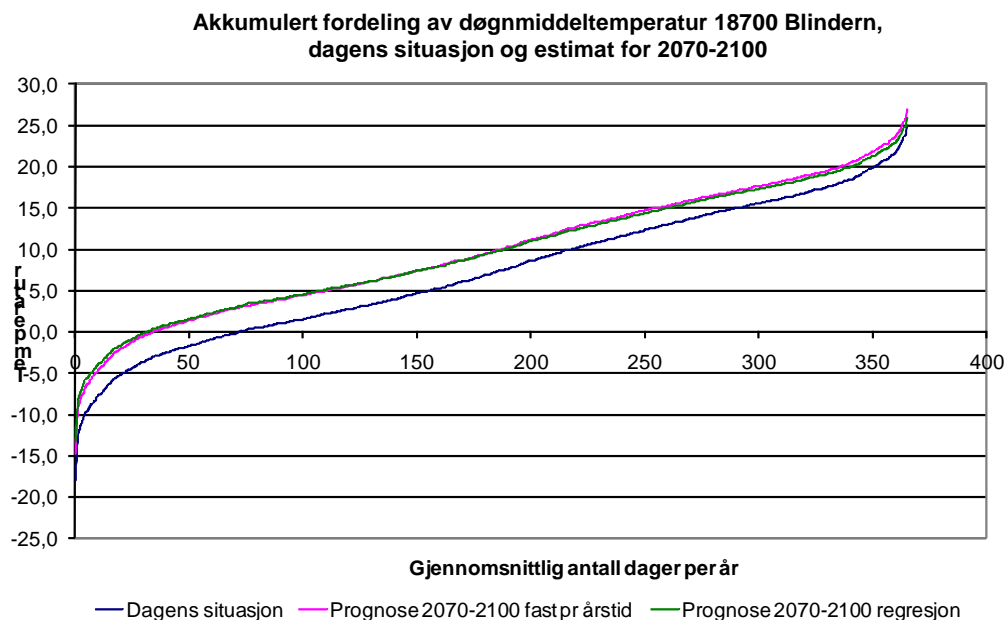
- Legge inn faste endringer pr årstid i de registrerte temperaturer pr dag basert på de verdier som er gjengitt i tabell 11.
- Estimere daglige temperaturer i en tidsserie for 2070-2100 ut fra en lineær regresjon mellom utgangstemperaturen og forventet temperaturendring.

Det siste alternativet er illustrert i figur 8 nedenfor. Figuren omfatter i alt 6 klimastasjoner hvor middeltemperaturen per årstid er angitt langs x-aksen og forventet endring i gjennomsnittstemperatur per årstid er angitt langs y-aksen.

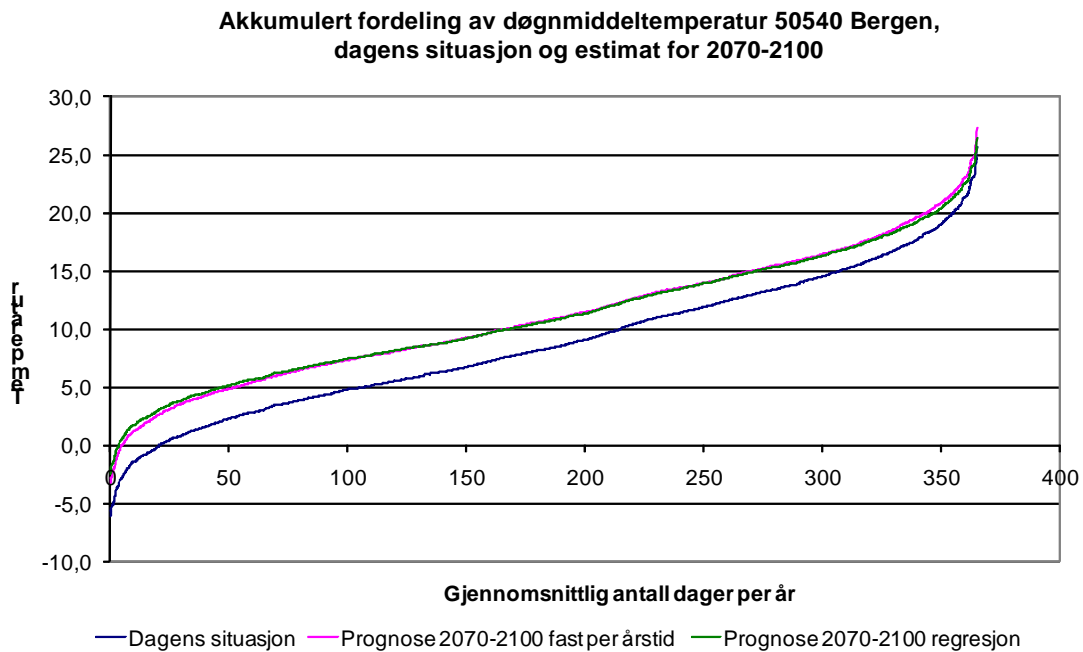


Figur 8. Forventet temperaturendring frem til 2070-2100.

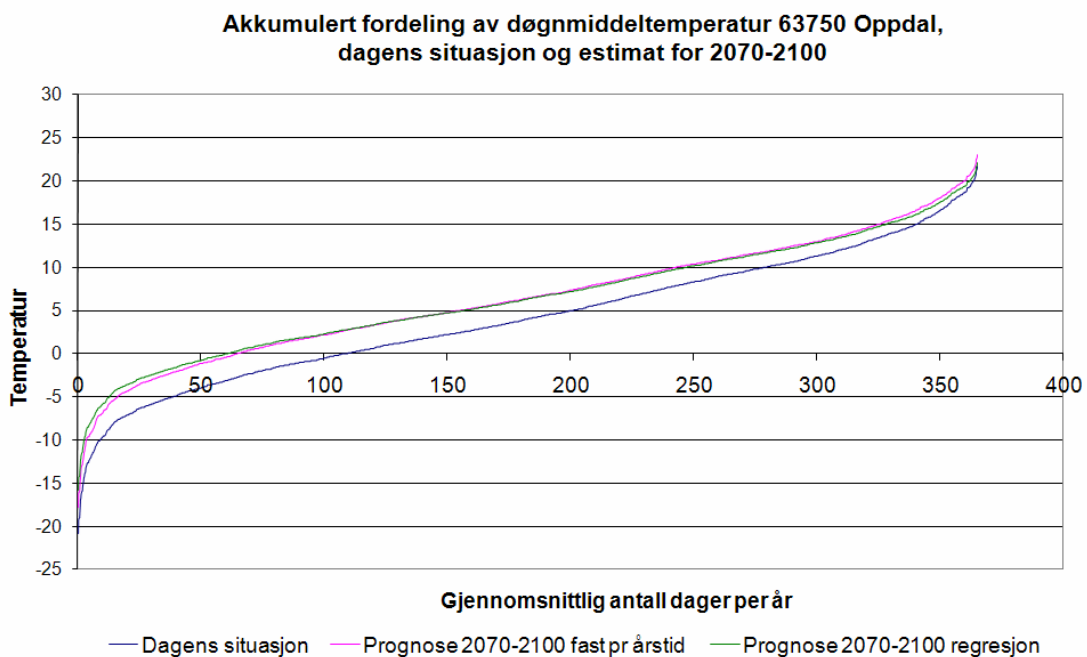
Basert på tidsseriene for middeltemperaturen per døgn er det i figurene 9 – 14 vist fordelingskurver for temperatur. Figurene omfatter fordelingskurver for dagens situasjon (ca. 1.1.2000- 31.12.2008) og prognoser for fordelingen for 2070-2100 basert på de to alternative beregninger som er omtalt ovenfor.



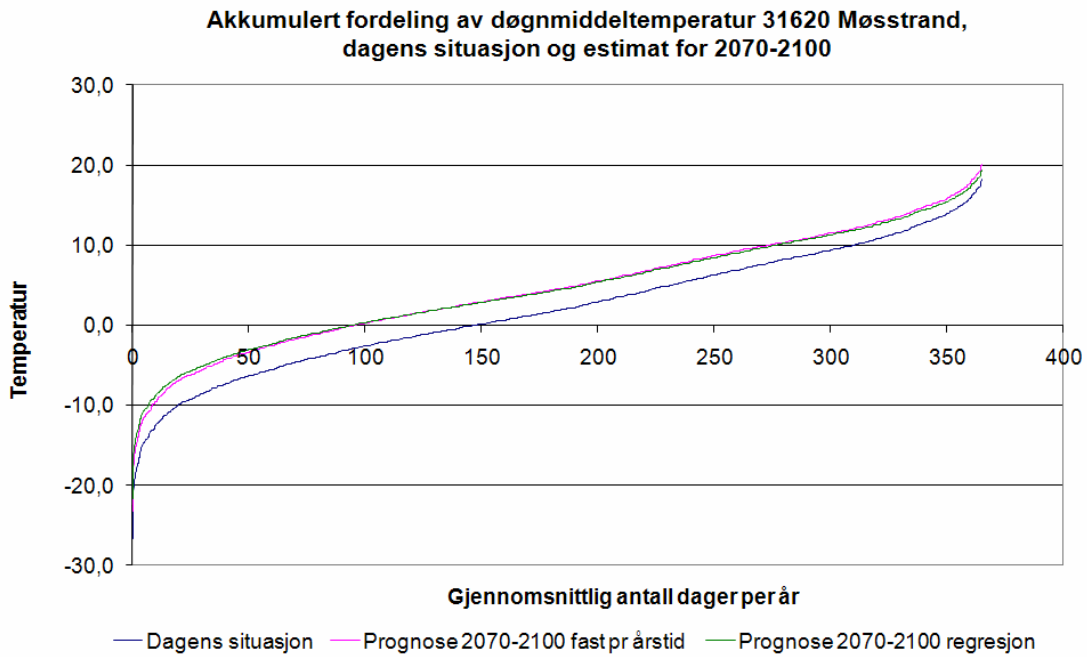
Figur 9. Fordelingskurver for daglig gjennomsnittstemperatur, Blindern



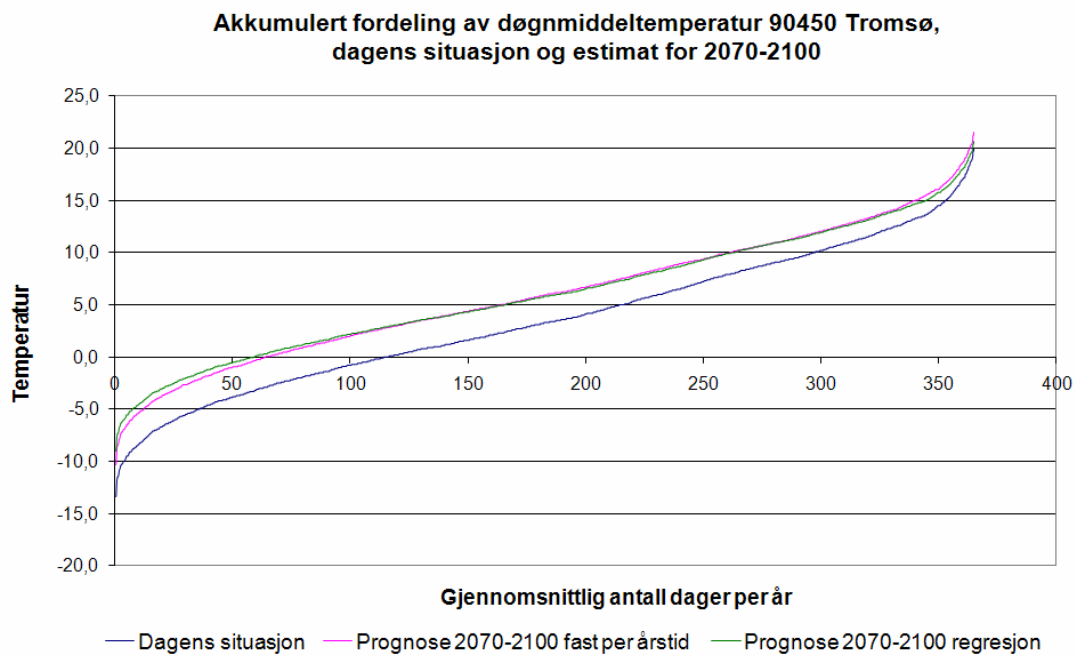
Figur 10. Fordelingskurver for daglig gjennomsnittstemperatur, Bergen



Figur 11. Fordelingskurver for daglig gjennomsnittstemperatur, Oppdal

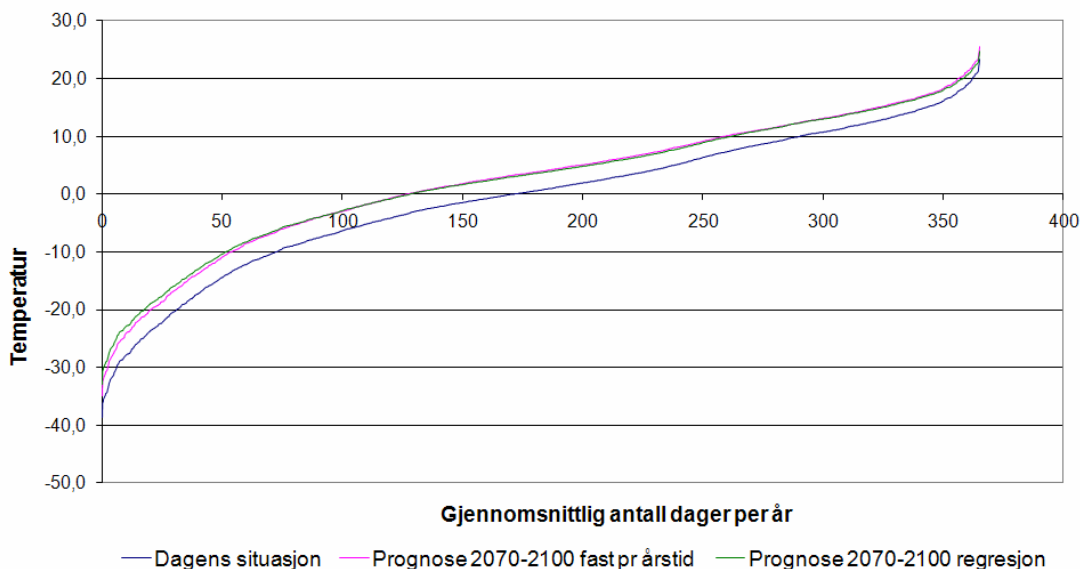


Figur 12. Fordelingskurver for daglig gjennomsnittstemperatur, Møsstrand



Figur 13. Fordelingskurver for daglig gjennomsnittstemperatur, Tromsø

Akkumulert fordeling av døgnmiddeltemperatur Karasjok, dagens situasjon og estimat for 2070-2100



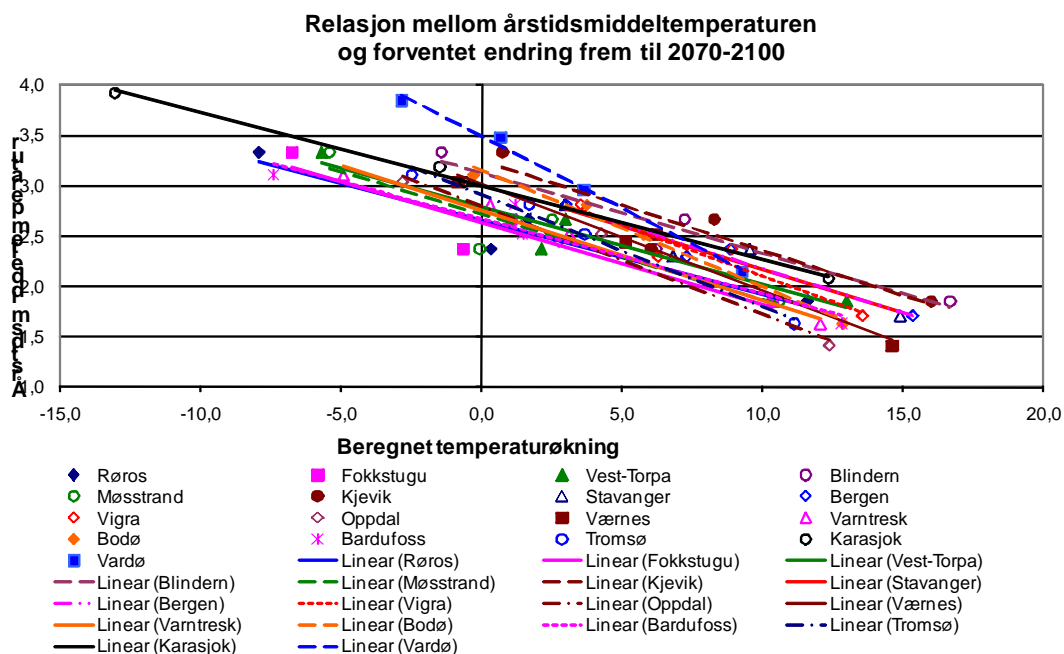
Figur 14. Fordelingskurver for daglig gjennomsnittstemperatur, Karasjok

Som det fremgår av figur 9-14, synes det å være relativt små forskjeller mellom det to metodene for å estimere middeltemperaturene i 2070-2100. Et kriterium for å vurdere de to metodene opp mot hverandre, er å bestemme antall dager i året hvor døgngjennomsnittet overstiger 20°C slik det bl.a. er vist i figur 5.2.5 i "Klima i Norge 2100", foreløpig utgave juni 2009.

	Antall dager per år med middeltemperatur over 20 °C		
	Dagens situasjon	2070-2100 fast endring per årstid	2070-2100 endring ut fra regresjon
Blindern	15	30	25
Bergen	10	22	17
Oppdal	2	6	3
Møsstrand	0	0	0
Tromsø	0	2	0
Karasjok	3	9	7

Tabell 11. Antall dager per år med gjennomsnittstemperatur over 20°C

Dersom en antar at prognosene som ligger til grunn for presentasjonene i "Klima i Norge 2100" representerer en fasit, synes beregningene basert på regresjonslikninger å gi litt bedre resultater enn anvendelse av faste endringer per årstid. En (relativ uoversiktlig) sammenstilling av resultatene og regresjonslikningene for samtlige klimastasjoner er vidt i figur 15 nedenfor.



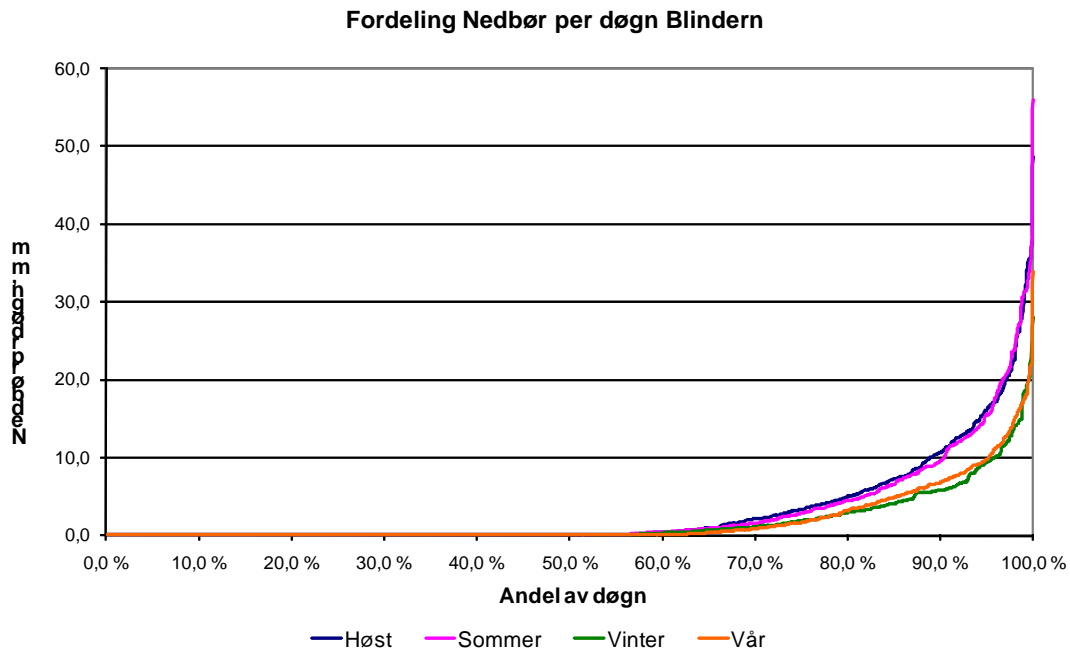
Figur 15. Regresjonslinjer for beregning av forventede døgntemperaturer 2070-2100, alle klimastasjoner

Beregning av temperaturendringenes innvirkning på vegens tilstandsutvikling foreslås basert på datafiler for klimaet hvor endringene i temperatur baseres på regresjonslikninger som vist i figur 15.

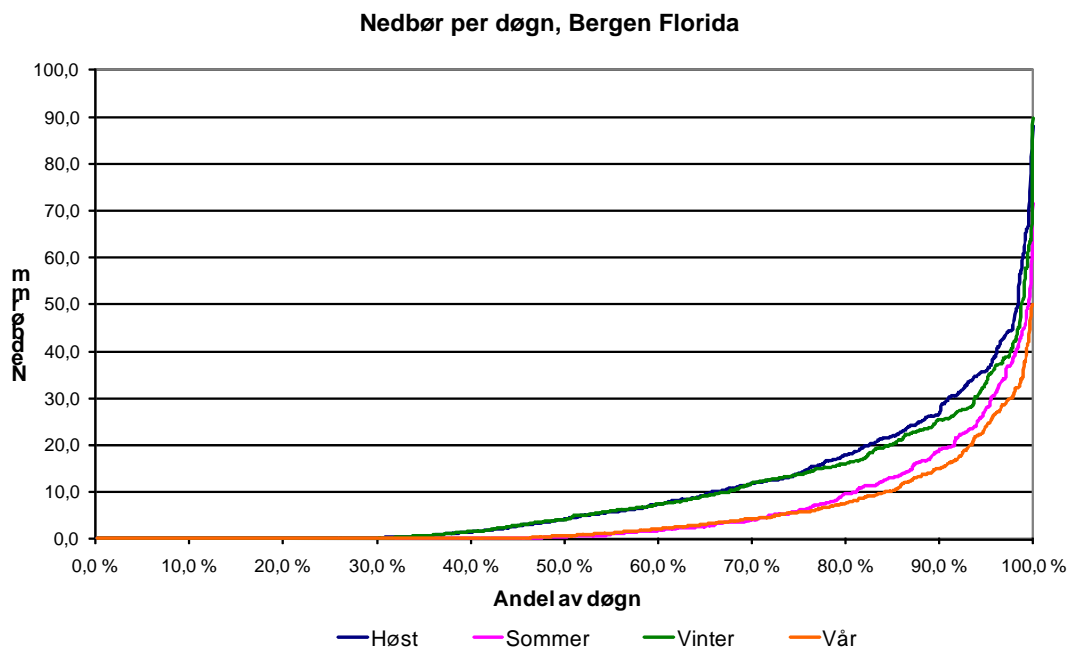
Tidsserier for nedbør

Ved siden av endringer i temperaturen forventes endringer i nedbørsmengdene å ha en signifikant innvirkning på vegens tilstandsutvikling.

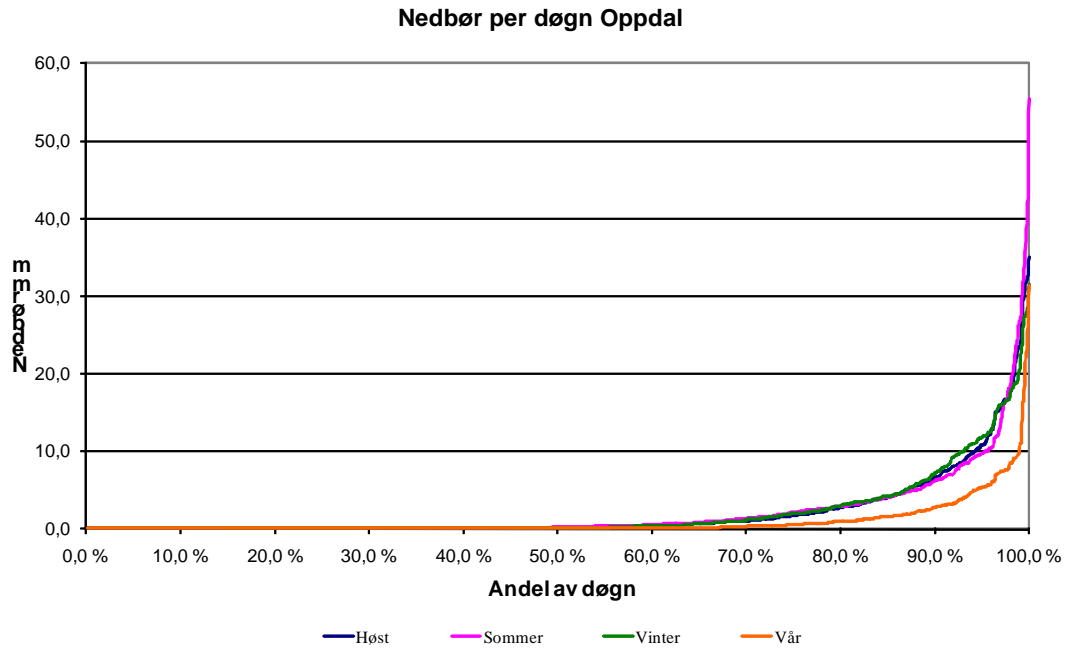
For de samme tidsperioder som er vist i tabell 2, er det tatt utgangspunkt i fordelingskurver for nedbørsmengdene ved den enkelte klimastasjon. I figurene 16-21 er det vist typiske eksempler på fordelingskurver for nedbør per døgn.



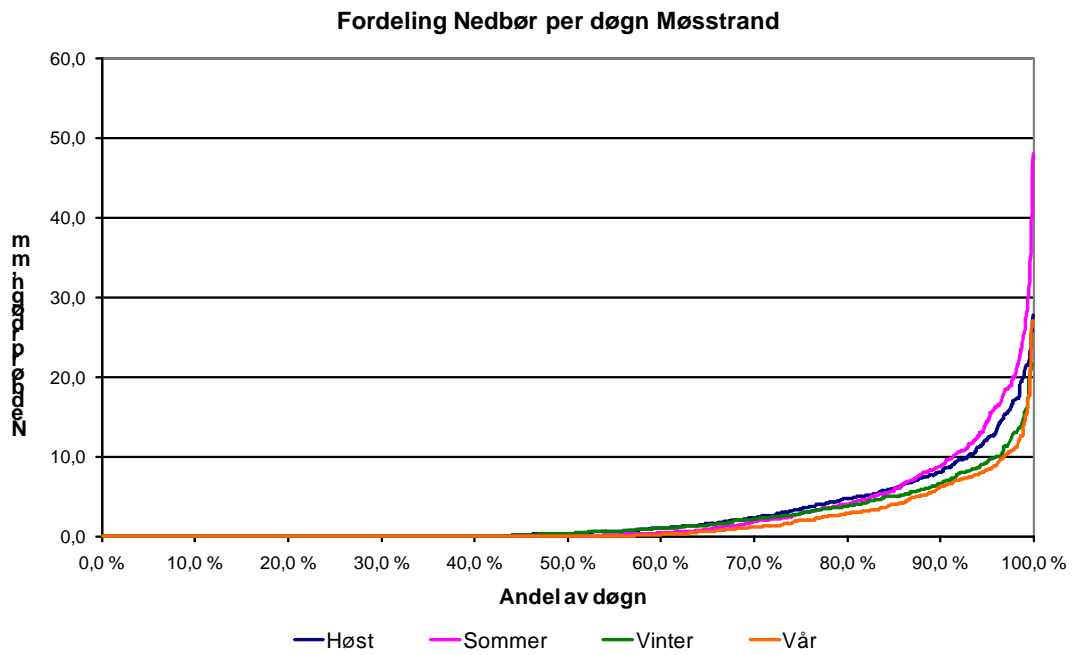
Figur 16. Fordelingskurver for daglig nedbør, målestasjon Blindern



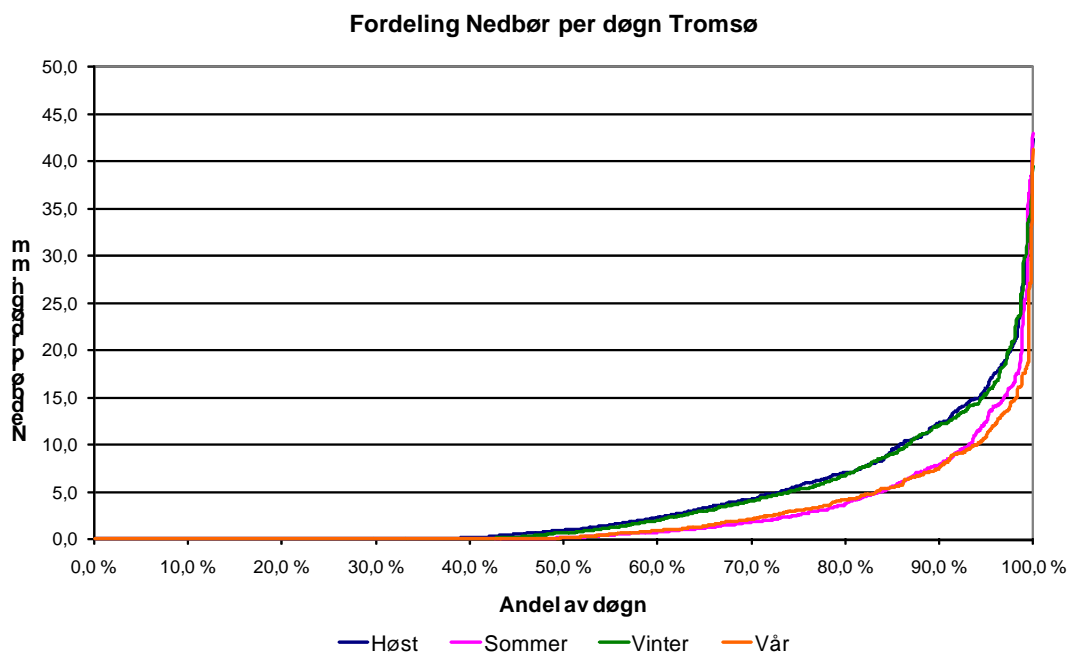
Figur 17. Fordelingskurver for daglig nedbør, målestasjon Bergen, Florida



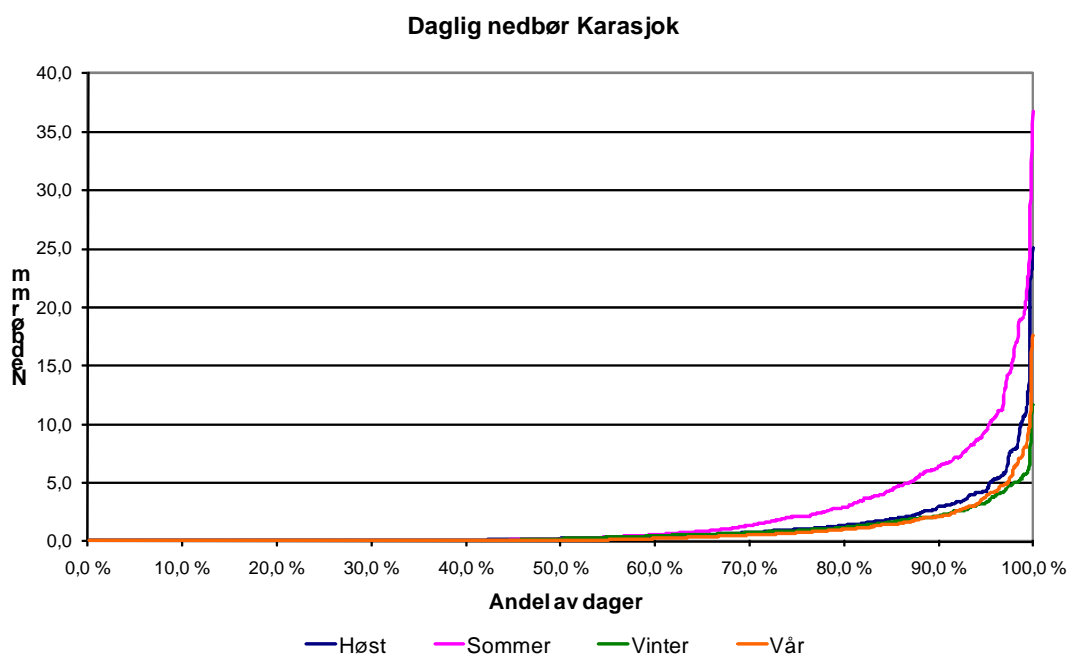
Figur 18. Fordelingskurver for daglig nedbør, målestasjon Oppdal



Figur 19. Fordelingskurver for daglig nedbør, målestasjon Møsstrand



Figur 20. Fordelingskurver for daglig nedbør, målestasjon Tromsø

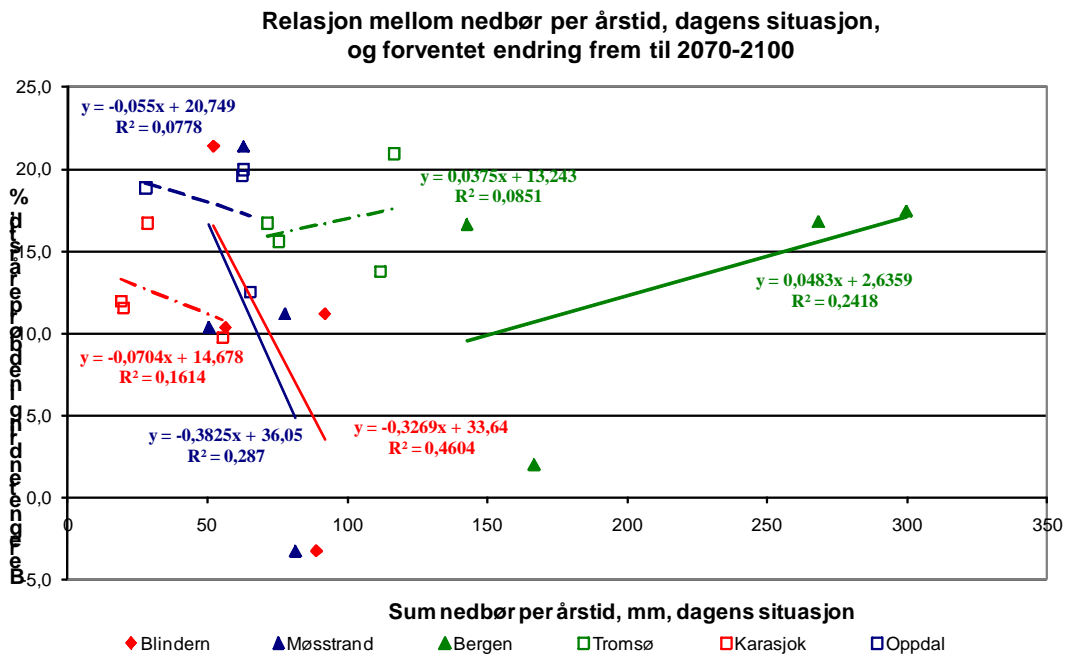


Figur 21. Fordelingskurver for daglig nedbør, målestasjonene 97250 og 97251 Karasjok

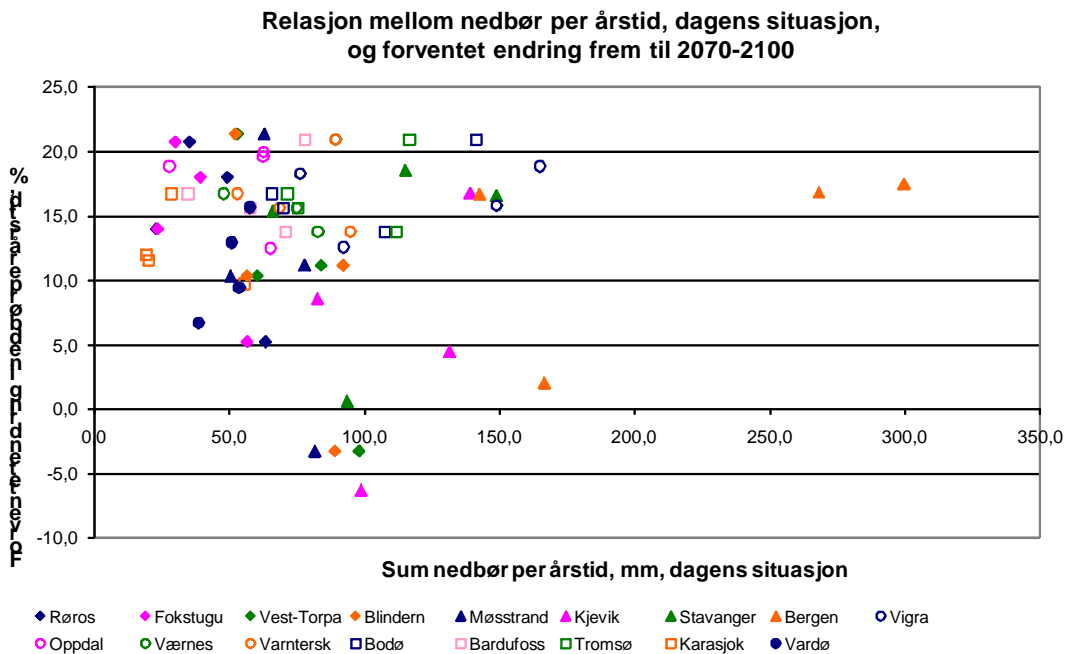
Bruk av regresjonslikninger på samme måte som man har beskrevet for endringer i temperaturen, synes å være en svært usikker metode for å estimere forventede endringer i nedbøren. Dette kan man bl.a. se av figurene 22 og 23 nedenfor. Figur 22 omfatter de samme seks klimastasjonene som innledningsvis ble brukt for temperatur i figur 8. Figur 23 omfatter samtlige klimastasjoner.

Uten tilgang til mer detaljerte modeller har man derfor ved utarbeidelse av tidsserier for nedbøren i 2070-2100 valgt å legge til grunn de prosentvise endringer som er gjengitt i tabell

10 ovenfor. Estimerer basert på prinsippet ovenfor innebærer at alle dager uten registrert nedbør vil forbli uten nedbør. Denne forutsetningen er vurdert i et seinere avsnitt i dette notatet.



Figur 22. Relasjon mellom nedbør per årstid og forventet endring frem til 2070-2100, utvalgte klimastasjoner

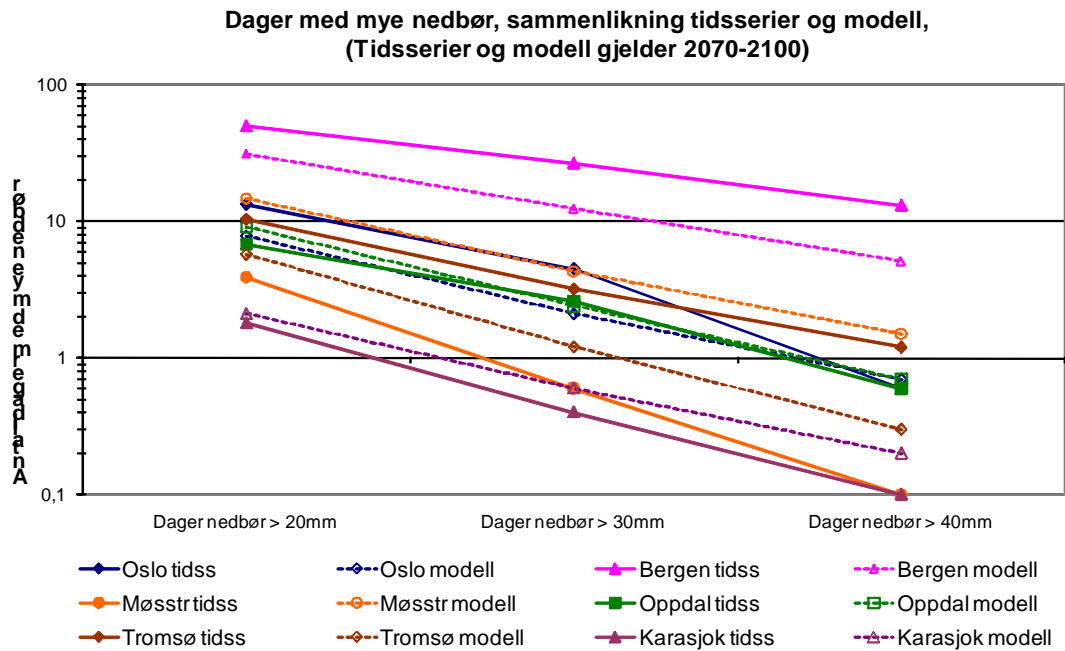


Figur 23. Relasjon mellom nedbør per årstid og forventet endring frem til 2070-2100, alle klimastasjoner

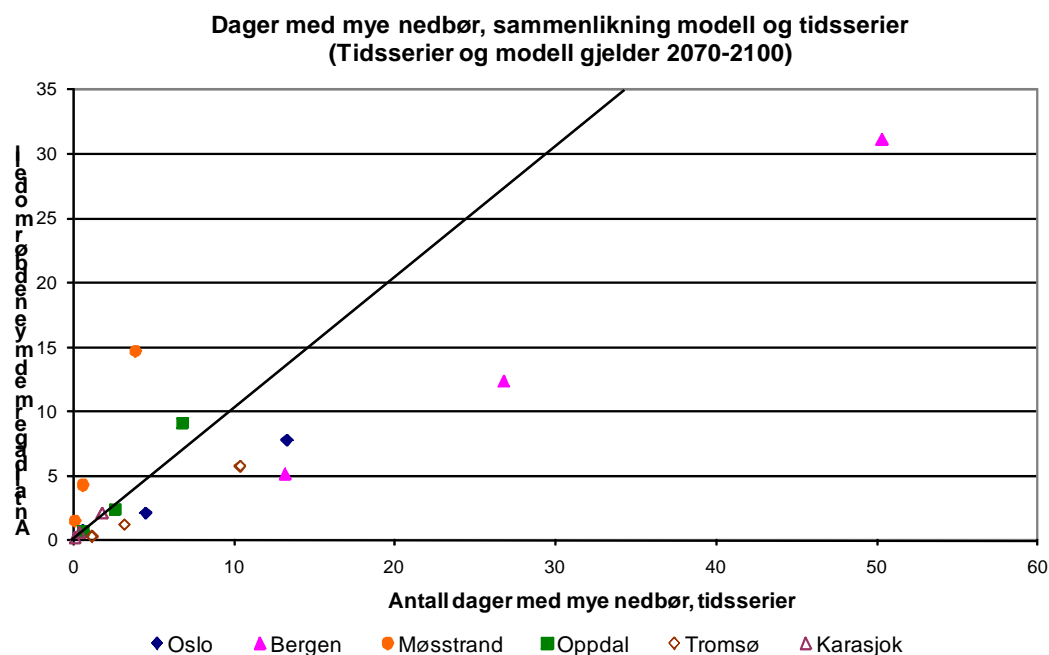
Resultatet av den enkle modellen er testet mot de regionale klimascenarier av mai 2009 ved en sammenlikning med hensyn på følgende parametre.

- antall dager i året med nedbør mer enn 20 mm/dag,
- antall dager i året med nedbør mer enn 30 mm/dag
- antall dager i året med nedbør mer enn 40 mm/dag.
- antall dager i året med nedbør > 0,2 mm

For de tre første parametrene er resultatene vist i figurene 24 og 25. Figuren omfatter resultater fra 6 klimasoner med de tilhørende klimastasjoner.



Figur 24. Antall dager i året med nedbør mer enn 20, 30 og 40 mm, perioden 2070-2100, fra tidsserier og fra klimamodellene.



Figur 25. X-Y plot av antall dager i året med nedbør mer enn 20, 30 og 40 mm, perioden 2070-2100, fra tidsserier og fra klimamodellene.

Figur 25 er et X-Y plot av de samme dataene som i figur 24. For hver klimastasjon vil man i figur 25 ha tre punkter som representerer antall dagen mer nedbør mer enn hhv. 20, 30 og 40 mm.

Av figurene 24 og 25 kan en se at samsvaret mellom antall dager med mye nedbør beregnet ut fra tidsseriene for klimastasjonene stemmer relativt dårlig. I figur 25 er det trukket en linje som angir hvor punktene burde ligge langs dersom det var 100 % samsvar mellom resultatene fra klimamodellene og tidsseriene. Gjennomsnittet er antagelig ikke veldig galt, men ser f.eks. at man for Bergen får vesentlig flere dager med mye nedbør dersom man tar utgangspunkt i nedbørsdataene fra tidsserien enn om man tar utgangspunkt i klimamodellene. Den motsatte situasjon har man for Møsstrand.

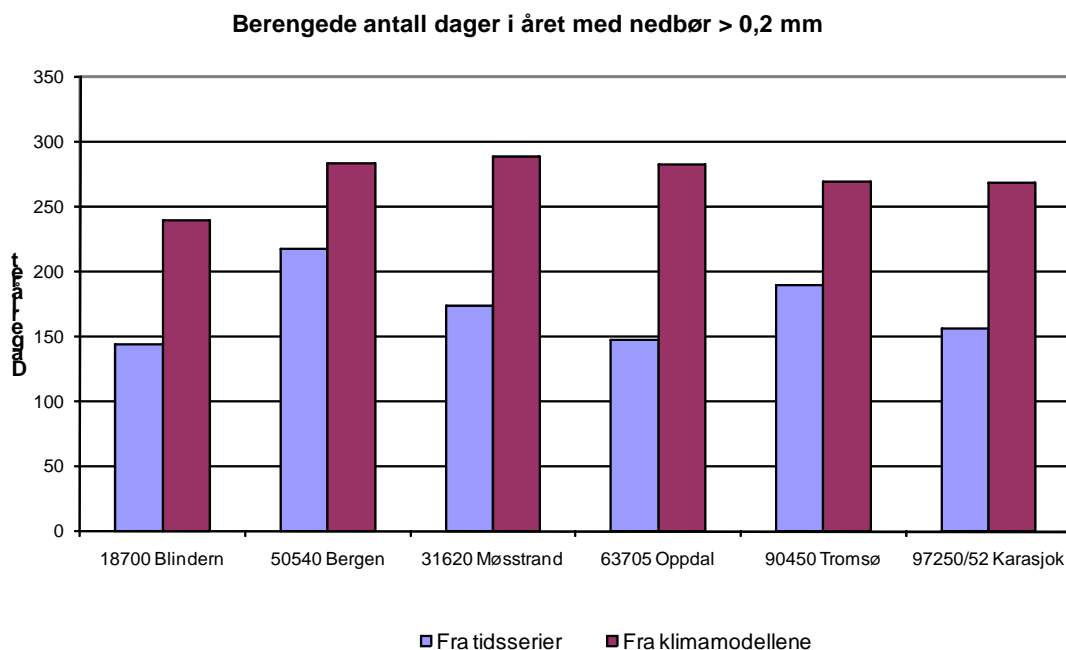
Tabell 12 viser resultatene av klimamodellenes beregning av forventede endringer i antall dager med nedbør > 0,2 mm. Av tabellen ser en at det i alle årstider er klimasoner med en økning i antall dager med nedbør, og klimasoner med en reduksjon i antall dager. For alle årstider er det en overvekt av klimasoner med en reduksjon i antall dager med nedbør. De største endringene finner man om sommeren, hvor bl.a. klimasone 4 har en økning på 4 dager, mens det i klimasone 17 er en reduksjon på 7 dager.

Tabell 7: Precip > 0.2mm/day

Area	Winter				Spring				Summer				Autumn				Year			
	P	S	C	C[%]	P	S	C	C[%]	P	S	C	C[%]	P	S	C	C[%]	P	S	C	C[%]
1	75.0	70.9	-4.1	-5.4	74.7	71.7	-3.0	-4.1	63.2	63.2	-0.1	-0.1	75.4	72.9	-2.5	-3.4	288.3	278.6	-9.6	-3.4
2	72.2	67.0	-5.2	-7.3	68.2	67.4	-0.8	-1.1	62.8	64.5	1.7	2.7	71.0	70.7	-0.3	-0.4	274.3	269.6	-4.6	-1.7
3	75.5	71.4	-4.1	-5.4	66.7	65.6	-1.1	-1.6	63.6	66.7	3.1	5.0	71.5	71.9	0.4	0.6	277.3	275.6	-1.6	-0.6
4	72.1	69.3	-2.8	-3.9	64.6	64.7	0.1	0.2	65.1	69.3	4.2	6.4	69.1	70.0	0.9	1.3	270.9	273.2	2.3	0.9
5	70.3	69.3	-1.0	-1.4	65.0	64.8	-0.2	-0.3	67.4	71.4	3.9	5.9	68.6	69.4	0.8	1.2	271.2	274.8	3.6	1.3
6	74.6	75.9	1.3	1.8	66.2	66.7	0.5	0.8	66.2	69.4	3.2	4.8	71.7	71.9	0.2	0.3	278.7	283.9	5.2	1.9
7	73.4	74.8	1.4	1.9	63.2	65.3	2.1	3.4	59.6	60.3	0.8	1.0	69.5	69.3	-0.2	-0.3	265.7	269.8	4.1	1.5
8	69.0	68.5	-0.5	-0.8	60.3	60.7	0.4	0.7	45.8	42.5	-3.3	-6.9	64.3	62.4	-1.9	-3.0	239.4	234.1	-5.4	-2.3
9	70.9	71.9	1.0	1.4	71.4	70.8	-0.6	-0.8	73.9	72.9	-1.0	-1.4	69.2	67.4	-1.8	-2.6	285.4	283.1	-2.3	-0.8
10	68.1	69.7	1.6	2.3	71.6	70.9	-0.7	-1.0	72.1	73.2	1.1	1.6	68.7	67.7	-1.0	-1.4	280.5	281.5	0.9	0.4
11	63.0	65.2	2.2	3.5	72.9	71.1	-1.8	-2.5	65.4	61.0	-4.4	-6.8	64.7	62.9	-1.9	-2.9	266.1	260.1	-5.9	-2.2
12	62.0	62.6	0.6	1.0	66.7	64.9	-1.8	-2.7	52.5	46.7	-5.8	-11.1	59.0	56.4	-2.6	-4.5	240.3	230.6	-9.7	-4.1
13	66.1	64.9	-1.1	-1.7	72.7	71.5	-1.2	-1.6	65.6	63.9	-1.7	-2.6	71.0	68.6	-2.4	-3.3	275.4	269.0	-6.4	-2.3
14	68.4	66.0	-2.4	-3.5	69.4	68.8	-0.6	-0.8	66.5	65.4	-1.1	-1.7	69.4	68.0	-1.4	-2.0	273.7	268.2	-5.5	-2.0
15	69.0	68.6	-0.4	-0.7	68.8	69.0	0.2	0.3	68.9	70.3	1.4	2.0	68.8	68.7	-0.2	-0.2	275.6	276.6	1.0	0.4
16	70.3	72.3	2.0	2.9	72.3	71.5	-0.8	-1.0	72.0	69.7	-2.3	-3.2	69.1	67.6	-1.6	-2.3	283.7	281.1	-2.6	-0.9
17	66.5	68.2	1.7	2.5	69.5	68.9	-0.7	-0.9	65.0	58.2	-6.8	-10.7	63.8	61.4	-2.4	-3.8	264.8	256.7	-8.2	-3.1

Tabell 12. Forventede endringer i antall dager med nedbør > 0,2 mm

Det er heller ingen god overensstemmelse mellom resultatene med hensyn på antall dager i året med nedbør > 0,2 mm. Dette er vist i figur 26 nedenfor.

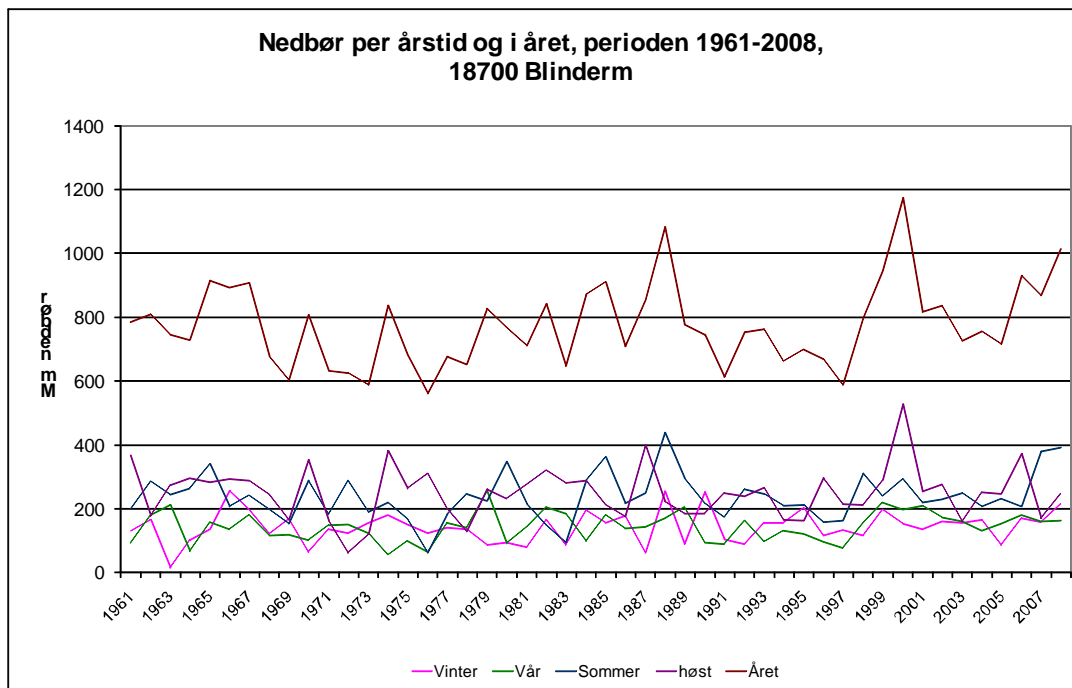


Figur 26. Dager i året med nedbør > 0,2 mm, perioden 2070-2100, beregnet med basis i tidsseriene og fra klimamodellene

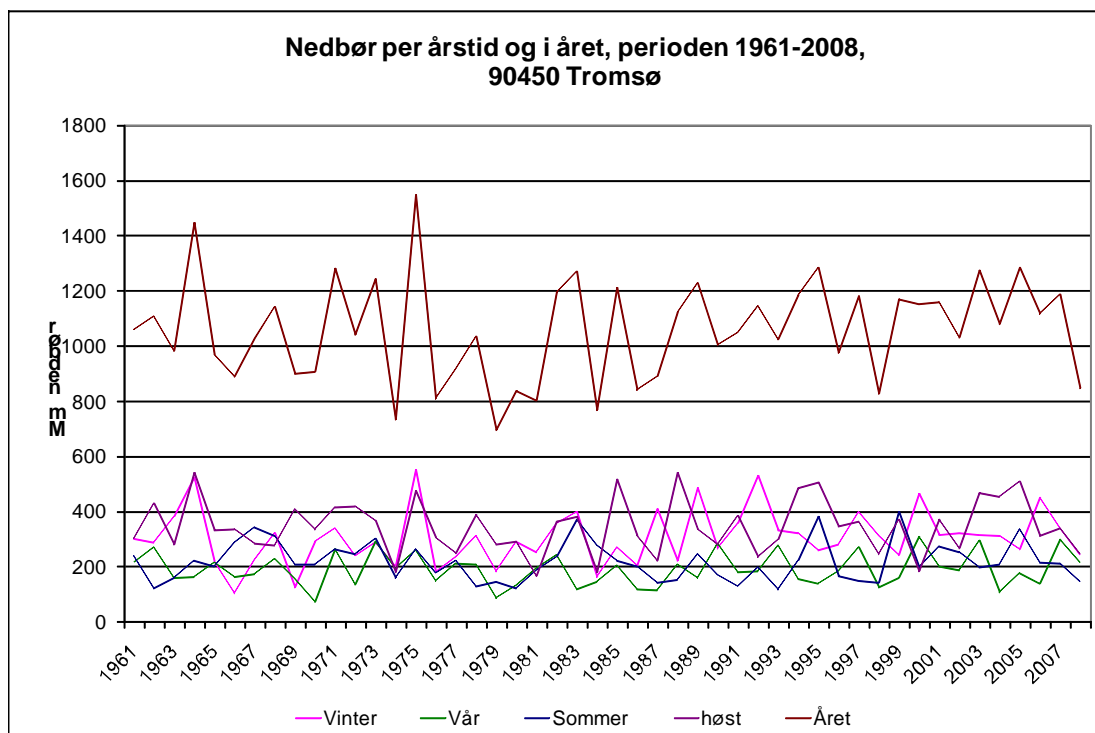
Forholdstallet mellom resultatene fra de to beregningene varierer fra 1,30 (Bergen) til 1,91 (Oppdal).

En mulig årsak til det dårlige samsvaret mellom resultater beregnet ut fra observerte data fra noen klimastasjoner og fra klimamodellene, kan man se av figurene 27-29 nedenfor. De tre klimastasjonene som er valgt, har komplette data for hele perioden fra 1961 til 2008, med en liten usikkerhet ved at Karasjok er dels fra stasjon 97250 og dels fra 97251.

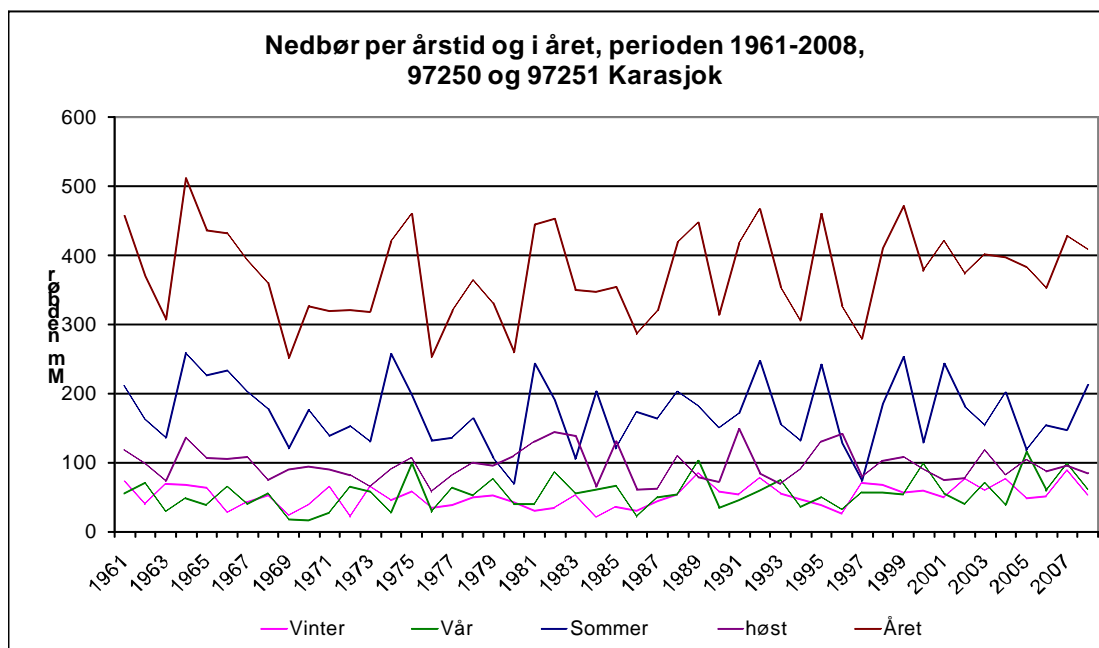
Som det fremgår av figurene, er det relativt store variasjoner i nedbøren fra år til år, og man må kanskje forvente at det er en betydelig forskjell mellom resultater fra noen utvalgte klimastasjoner og fra klimamodellene for de tilhørende klimasoner.



Figur 27. Nedbør per årstid og i året, 1961-2008, Blindern



Figur 28. Nedbør per årstid og i året, 1961-2008, Tromsø



Figur 29. Nedbør per årstid og i året, 1961-2008, Karasjok

Når man vurderer resultatene som viser dårlig overensstemmelse mellom nedbør beregnet ut fra nedbør i tidsseriene og nedbør i klimamodellene beregnet for klimasoner, må man legge vekt på at den manglende overensstemmelse gjelder absoluttnivåene for nedbør. Også for de nedbørmengder som er beregnet ut fra tidsseriene, er endringene fra 2000-2008 til 2070-2100 basert på estimerte endringer slik de er utviklet i klimamodellene.

Forslag

Beregning av klimaendringenes forventede innvirkning på tilstandsutvikling for vegnettet i Norge, baseres på datafiler for klimaet i 2070-2100 på datafilene for tidsserier som angitt i tabell 2, med følgende endringer.

- Daglige temperaturer endres ut fra regresjonslikninger som vist i figur15
- Nedbør per dag endres prosentvis som angitt i tabell 10.

For de øvrige klimadataene (prosent solskinn per dag, gjennomsnittlig vindhastighet) antas det at innvirkningen på vegkroppens tilstandsutvikling er liten sammenliknet med innvirkningen av temperatur og nedbør. De daglige data endres ikke.

Basert på disse forutsetningene utarbeides det icm-filer som inngangsdata for analyser i M-E PDG versjon 1.1 (Transportation Research Board: Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide)

I tillegg til de beregninger som er omtalt ovenfor gjøres det et mindre, separat studium hvor endringer i nedbør kombineres med antatte endringer i grunnvannstanden.

Vedlegg 2

Beregningsforutsetninger i M-E PDG, materialer

Granulære lag

	Knust grus ikke telef. crushed gravel	Telefarlig bærelag A-2-4	Knust fjell crushed rock	Sprengt stein	Permeable aggregate
E-modul	40000	32500	55000	42000	40000
Sikt					
200	8.7	22.4	8.7		3
80	12.9	42.3	12.9		4
40	20	67.2	20		7
10	33.8	82.5	33.8		10
4	44.7	87.2	44.7		12
3/8	57.2	91.6	57.2		20
1/2	63.1	93.5	63.1		22
3/4	72.7	95.9	72.7		25
1	78.8	97.2	78.8		30
1 1/2	85.8	98.5	85.8		35
2	91.6	99	91.6		50
3 1/2	97.6	99.6	97.6		95
PL	1	2	1	1	1
LL	6	14	6	6	2

Asfalt

	Asfaltdekke Ab	Asfaltdekke Agb	Asfaltbærelag Ag	Asfaltbærelag Ag	Asfaltbærelag Ap
>3/4	0	0	5	5	5
>3/8	5	5	20	20	60
>#4	20	20	40	40	80
<#200	7	7	4	4	6
Bitumen	85/100	120/150	85/100	120/150	85/100
Eff bit	14.3	14.3	10.5	10.5	6.5
Hulrom	4.0	4.0	6.0	6.0	20.0
Densitet	153	153	147	147	135
Thermal	0.67	0.67	0.67	0.67	0.5
Heat	0.23	0.23	0.23	0.23	0.5

Materialer i grunnen

	B.gr 1 og 2	B.gr 3	B.gr 4	B.gr 5	B.gr 6	Bedrock fractured	
Matr.type	A-1-A	A 3	A-1-b	A-2-4	A 5		A 4
E-modul	29 500	24 500	25 500	21 500	15 500	500 000	16 500
200	8.7	5.2	13.4	22.4	54.3		
80	12.9	33	20.8	42.3	66.2		
40	20	76.8	37.6	67.2	74.3		
10	33.8	93.4	64	82.5	82.6		
4	44.7	95.3	74.2	87.2	86.9		
3/8	57.2	96.6	82.3	91.6	90.2		
1/2	63.1	97.1	85.8	93.5	91.9		
3/4	72.7	98	90.8	95.9	94.1		
1	78.8	98.6	93.6	97.2	95.9		
1 1/2	85.8	99.2	96.7	98.5	97.5		
2	91.6	99.7	98.4	99.0	98.5		
3 1/2	97.6	99.9	99.4	99.6	99.5		
PL	1	0	1	2	5		5
LL	6	11	11	14	45		21



Vedlegg 3

Delprosjekt 5 Tilstandsutvikling på vegnettet

Delprosjektet omhandler virkninger som endret klima har for nedbrytning av vegnettet samt vurdering av tiltak og tilhørende kostnader for å opprettholde dagens vegstandard.

Klimavariabler som økt temperatur og redusert frostmengde, endret nedbørsmengde, kortere vintre, raskere klimaskiftninger osv. har påvirkning på material- og vegkonstruksjonsparametere, slik som stivhet, deformasjonsegenskaper, mm.

Det er nødvendig å se på konsekvensene ved endret klima for to vegtyper. Det mest trafikkerte vegnettet har fast vegdekke og i hovedsak **asfaltdekke**. Kravet til standard er størst her og dette vegnettet har også de største vedlikeholdskostnadene. Ca. 26 % av fylkesvegnettet er **grusveg** og denne andelen er sannsynligvis større for det kommunale vegnettet. Skogsbilvegnettet er større enn det offentlige vegnettet og det meste av dette er grusveger med svært varierende standard.

Delprosjektet bruker modeller for beregning av tilstandsutvikling under påvirkning av klimaparametere. Det kreves en tilpasning av modellene til norske forhold, gode inputparametere og et godt kalibreringsgrunnlag. Delprosjektet bygger bl.a. på Vegkapitalprosjektet, etatsprosjekt 2002 – 2005.

Ved utgivelsen av denne rapporten består arbeidsgruppen for delprosjekt 5 av

Per Otto Aursand, Statens vegvesen, Region nord (leder)
Geir Refsdal, Statens vegvesen, Region øst
Olav Lahus, Statens vegvesen, Region sør
Even Sund, Statens vegvesen, Vegdirektoratet
Rabbira Garba, Statens vegvesen, Vegdirektoratet
Ivar Horvli, ViaNova Plan og Trafikk og
Geir Berntsen, NCC Roads



Vedlegg 4

Prosjektrapporter fra 'Klima og transport'

Rapportnr.	Tittel	Utarbeidet av
2519	Klimapåvirkning av vegbyggingsmaterialer State of the art studie	Bjørn Ove Lerfald og Inge Hoff, SINTEF Byggforsk Veg- og jernbaneteknikk
2520	Vurdering av EDB-system for beregning av nedbrytning av veg	Ragnar Evensen, ViaNova Plan og Trafikk AS
2542	Status og problemstillinger for grusvegnettet ved endret klima	Per Otto Aursand og Joralf Aurstad, Statens vegvesen og Ivar Horvli, ViaNova Plan og Trafikk AS
2566	Pilotprosjekt på stikkrenner E136 Dombås Ålesund	Than Ngan Nguyen, Hilde Hestangen og Kristine Flesjø, Statens vegvesen
2573	Rensing av overvann fra vei i fremtidens klima, 2071-2100	Thorkild Hvitved-Jacobsen, Jes Vollertsen og Svein Åstebøl, COWI
2582	Modellforsøk med flomskred mot bruer Virkning av bruåpning og ledevoller	Priska Heller og Lars Jenssen Institutt for vann- og miljøteknikk, NTNU
2586	Utvikling og uttesting av skredrisikomodel for vegnettet i Norge	Heidi Bjordal og Martin Weme Nilsen, Statens vegvesen
2560	Erosjonsskader ved Middøla bru: årsak og tiltak	Lars Jenssen, NTNU Erik Holmqvist; Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) Kari Svelle Reistad, NVE



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo

Tlf. (+47 915) 02030
E-post: publvd@vegvesen.no

ISSN 1504-5005