



Statens vegvesen

# Tilstandsutvikling på vegnettet

Virkninger av endret klima på sporutvikling på veger med bituminøst dekke

VD rapport

Vegdirektoratet

Nr. 26



Vegdirektoratet  
Trafikksikkerhet, miljø og teknologi  
Geoteknikk og skred  
September 2011

# VD rapport

## Tittel

Tilstandsutvikling på vegnettet

## Undertittel

Virkninger av endret klima på sporutvikling på veger med bituminøst dekke

## Forfatter

Ragnar Evensen mfl. ViaNova Plan og Trafikk AS

## Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

## Seksjon

Geoteknikk og skred

## Prosjektnummer

601995

## Rapportnummer

Nr. 26

## Prosjektleder

Gordana Petkovic

## Emneord

Klima og transport, klimaendring, vegoverbygning, sporutvikling, tilstandsutvikling, levetid

## 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 inneholder beregninger og vurderinger av forventet endring i det norske vegnettets tilstandsutvikling som følge av endret klima. For samlet rv og fv vil klimaendringer gi en gjennomsnittlig reduksjon i forventet sporutvikling i størrelsesorden 0,2 mm/år, tilsvarende en økning i dekkelevetiden på ca 13 - 16 %. Dette tilsvarer en besparelse i dekkevedlikeholdskostnadene på 150 - 200 mill. kr/år. En antatt reduksjon i dybde til grunnvannstanden vil gi en økning i dekkevedlikeholdskostnadene.

Antall sider 54

Dato September 2011

# VD report

## Title

Road network pavement performance

## Subtitle

Effects of climate change on rut development of roads with bituminous cover

## Author

Ragnar Evensen et al, ViaNova Plan og Trafikk AS

## Department

Traffic Safety, Environment and Technology Dept

## Section

Geotechnical Section

## Project number

601995

## Report number

Nr. 26

## Project manager

Gordana Petkovic

## Key words

Climate and Transport, climate change, pavement, rutting, pavement performance, life time

## Summary

This report belongs to a series of reports from the R&D programme "Climate and Transport", carried out by the Norwegian Public Roads 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 report presents calculations and estimations of the expected change in life time of the pavement on the Norwegian road network as a result of climate change. For national and county roads, the anticipated climate change will give a reduction of rutting of approximately 0,2 mm/year, or a corresponding 13 - 16 % longer service life. This saves annually 150-200 mill kroner of maintenance costs. An increased water table will however, impose higher maintenance costs.

Pages 54

Date September 2011

## 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 og drifting av veg 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 ”Virksomheter 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, Havforskningsinstituttet 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 Snø-, stein-, jord- og flomskred
- 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. Delprosjektleder er Per Otto Aursand, Statens vegvesen, Region nord. For mer informasjon om delprosjekt 5, se Vedlegg 2.

**Denne rapporten** er utarbeidet av Ragnar Evensen, med Anette Mahle og Tor Erik Saltnes, alle fra ViaNova Plan og trafikk AS, på oppdrag fra delprosjekt 5. Rapporten inneholder beregninger og vurderinger av forventet endring i det norske vegnettets tilstandsutvikling som følge av endret klima. For oversikt over andre prosjektrapporter fra 'Klima og transport', se vedlegg 3.

## Innhold

<b>Sammendrag</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Beregningsforutsetninger</b> .....	<b>8</b>
2.1 <i>Generelt</i> .....	8
2.2 <i>Klimasoner og typiske klimadata</i> .....	8
2.3 <i>Variasjoner i grunnvannstanden</i> .....	10
2.4 <i>Materialegenskaper</i> .....	12
2.5 <i>Piggdekkslitasje</i> .....	12
2.6 <i>Data for vegnettet</i> .....	13
2.7 <i>Kalibrering av M-E PDG</i> .....	14
2.8 <i>Tilleggsanalyse: grunnvannstandens betydning</i> .....	16
<b>3 Beregningsresultater</b> .....	<b>17</b>
3.1 <i>Nøkkeldata for klimaendringene</i> .....	17
3.2 <i>Variasjoner mellom klimasonene</i> .....	20
3.3 <i>Fordeling mellom endringer i nedbør og temperatur</i> .....	26
3.4 <i>Trafikkens og overbygningens betydning for sporutvikling</i> .....	32
3.5 <i>Telefarlige materialer i overbygningen</i> .....	39
3.6 <i>Beregninger for vegnettet</i> .....	41
3.7 <i>Klimaets innvirkning på piggdekkslitasjen</i> .....	43
3.8 <i>Grunnvannstandens innvirkning</i> .....	44
3.9 <i>Endring i grunnvannstanden ved endret klima</i> .....	47
3.9.1 <i>Årlig variasjon i grunnvannsmagasin</i> .....	47
3.9.2 <i>Endring i grunnvannsmagasin fra 1961-1990 til 2071-2100</i> .....	49
3.9.3 <i>Datagrunnlag og kilder</i> .....	49
3.9.4 <i>Funn og diskusjon, årstidsvariasjon</i> .....	50
<b>4 Konklusjoner</b> .....	<b>50</b>
<b>Litteraturliste</b> .....	<b>53</b>

## Vedlegg

Vedlegg 1: Klima og transport, effekt av mulig endring i grunnvannstand

Vedlegg 2: Delsprosjekt 5 - Tilstandsutvikling på vegnettet

Vedlegg 3: Prosjektrapporter fra Klima og transport

## Sammendrag

Som delprosjekt 5.3 “Konsekvenser av endret klima for veger med bituminøst dekke” i Vegdirektoratets etatsprogram “Klima og transport” er det gjennomført beregninger av forventet tilstandsutvikling for vegdekker basert på klimatiske data for perioden 2000-2008 og for estimerte klimadata for 2070-2100. Beregningene er gjennomført ved hjelp av beregningsprogrammet Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, M-E PDG, versjon 1.100 fra FHWA i USA.

Valget av M-E PDG som beregningsmodell var basert et forstudium som omfattet en vurdering av flere tilgjengelige beregningsmodeller. M-E PDG er en av internasjonalt sett få tilgjengelige beregningsmodeller hvor de fleste av de faktorer som er sentrale i delprosjektet, inngår i beregningsforutsetningene.

Tilstandsutviklingsmodellene i M-E PDG er basert på lett tilgjengelige klimadata som registrert daglig maksimums- og minimumstemperatur, nedbør-, vind- og skydekke-data. Disse dataene er sammenstilt og bearbeidet i et separat program som er betegnet the Enhanced Integrated Climatic Model, EICM, også dette er utarbeidet for FHWA i USA.

I tillegg til klimadataene er beregningene med M-E PDG tilpasset norske forhold ved å benytte data for tungtrafikkens sammensetning basert på bearbeiding av BWIM (Bridge Weigh-in-Motion) fra Sverige og korrigert for forskjellen i tillatt totalvekt for vogntog. I tillegg er en del av dataene for materialeegenskaper tilpasset norske erfaringer, og beregningene er kalibrert ut fra registrert tilstandsutvikling for 10 oppfølgingsstrekninger i Norge. Det meste av tilpasningene bygger på arbeider gjennomført som en del av Vegdirektoratets Vegkapitalprosjekt.

M-E PDG omfatter beregning av forventet tilstandsutvikling med hensyn på spor i vegbanen (ekskl. spor på grunn av piggdekkslitasje), jevnhet IRI (the International Roughness Index), krakelering og andre former for sprekker i vegbanen. For det norske vegnettet har man relativt liten oversikt over dekketilstanden med hensyn på krakelering og andre typer sprekker i vegdekket. Erfaringene fra Vegkapitalprosjektet viste at måling av jevnhet IRI har relativt store tilfeldige variasjoner i forhold til forventet tilstandsutvikling. Eventuelle effekter av klimaendringer på IRI var forventet å “drukne” i andre forhold som påvirket IRI. Man valgte derfor å vurdere tilstandsutviklingen på spor i vegbanen, en parameter som er bestemmende for dekkelevetiden for store deler av vegnettet i Norge.

Beregnet sporutvikling i M-E PDG omfatter bare deformasjoner i asfalt, i de granulære lag i overbygningen og i grunnen. Beregning av sporutvikling på grunn av piggdekkslitasje er basert på modeller utviklet av Statens väg- og transportforskningsinstitutt, VTI, i Sverige.

For analyser av effekten av klimaendringer for tilstandsutviklingen på Riks- og Fylkesvegnettet i Norge er vegnettet inndelt i 17 klimasoner basert på et kart laget av met.no. Inndelingen i klimasoner er vist i figur 1 i rapporten. Klimasoner 3 og 4, samt 16 og 17 er slått sammen på grunn av ensartede klimaforhold, slik at man i alt har analysert tilstandsutviklingen for vegnettet i 15 klimasoner. Hver klimason er knyttet til en av Meteorologisk institutts klimastasjoner som er antatt å være representativ for den enkelte klimasonen.

Klimadataene for perioden 2000 til 2008 bygger på daglig registrerte klimadata for maksimums- og minimumstemperaturer, nedbør, vind, skydekkefaktor og luftfuktighet. Estimerte data for perioden 2070 – 2100 er basert på prognoser utarbeidet av Tverrfaglig arbeidsgruppe for Nasjonal transportplan. Det er tatt hensyn til at referansen for prognosene fra Tverrfaglig arbeidsgruppe er normalverdier for klimaet basert på perioden 1961-1990, og at en del av de forventede klimaendringer allerede har funnet sted frem til 2000-2008.

Analyser ved hjelp av M-E PDG baseres på beregninger av trinnvis tilstandsutvikling over en dimensjoneringsperiode på 20 år hvor man tar hensyn til samspillet mellom en stor rekke påvirkningsparametre. Dette inkluderer tungtrafikkens og asfalttemperaturens variasjoner over døgnet, temperaturvariasjoner over året, variasjoner i frostdybde i løpet av vinteren og i teleløsningen, samt variasjoner i egenskapene til materialene i de granulære lag i overbygningen og i grunnen i forhold til forventet vanninnhold i materialene.

På grunn av kompleksiteten i beregningene viser forventet tilstandsutvikling store variasjoner når resultatene vurderes i forhold til de faktorer som forventes å påvirke tilstandsutviklingen.

På grunn av forventet økning i lufttemperaturene og vegdekketemperaturene om sommeren får man en økning i sporutviklingen på grunn av deformasjoner i asfaltlagene for vegnettet i alle klimastasjoner. Et vektet gjennomsnitt for hele Riks- og fylkesvegnettet viser en økning i årlig sporutviklingen i størrelsesorden 0,05 mm per år. Det meste av endringene i deformasjoner finner sted i de øverste deler av asfaltlagene. Temperaturøkningene om vinteren er like stor eller større enn om sommeren. Dette innebærer at det er mulig å redusere effekten av klimaendringene ved å bruke hardere bindemidler i asfaltdekkene i det fremtidige dekkevedlikeholdet uten at dette har andre negative effekter for asfaltdekkene.

Det er vanskelig å trekke entydige konklusjoner for klimaets innvirkning på sporutviklingen på grunn av piggdekkslitasje. Våt asfalt slites mer enn tørr asfalt, gjennomsnittlig forhold er antatt å være i størrelsesorden 2,0. Dette indikerer en økning i sporutvikling på grunn av piggdekkslitasjen. På den annen side vil mildere vintre sannsynligvis føre til mindre piggdekkbruk, færre bruker piggdekk og de brukes i kortere deler av vinteren. Det er antatt at klimaendringene i seg selv er av underordnet betydning for piggdekkslitasjen på det norske vegnettet, sett i forhold til andre faktorer som innvirker på piggdekkslitasjen. Eventuelle endringer i strategien for vinterdriften, samt tiltak for å redusere piggdekkbruken, har sannsynligvis langt større betydning enn de forventede klimaendringer.

Sporutvikling på grunn av deformasjoner i de granulære lag i vegoverbygningen og i grunnen viser generelt en reduksjon i forventet årlig sporutvikling på grunn av klimaendringene. For hele riks- og fylkesvegnettet er vektet gjennomsnitt en redusert sporutvikling i størrelsesorden 0,20 mm/år. Denne reduksjonen kan forenklet forklares ved at effekten av mindre frostmengde om vinteren er større enn effekten av mer nedbør på beregnet årlig sporutvikling. I tillegg kommer at man over året også får færre dager hvor temperaturen veksler rundt 0°C, noe som totalt sett må antas å gi mindre problemer med lokale teleløsninger gjennom året. En reduksjon i sporutviklingen på ca. 0,20 mm/år tilsvarer en besparelse i årlige kostnader til dekkevedlikeholdet i størrelsesorden 150 – 200 Mill. kroner per år forutsatt at sporutviklingen er den tilstandsparameter som bestemmer dekkefornyelsen på en

dominerende del av vegnettet i Norge (ca. 60 %) og at vedlikeholdsstandarden overholdes.

Det er viktig å ta hensyn til at konklusjonene over er basert på beregninger gjennomført ved hjelp av beregningsprogrammet M-E PDG fra USA. Selv om det er lagt vekt på å få modellene i programmet kalibrert til norske forhold, er det mange usikkerheter knyttet til selve kalibreringen og vurderingene av de materialegenskaper som er benyttet i analysene. Dette kan f.eks. skyldes at modellene i betydelig grad er basert på registrert tilstandsutvikling for observasjonsstrekninger under SMP (Seasonal Monitoring Program) i USA og Canada.

Usikkerhetene ved å anvende modellene i M-E PDG for å estimere tilstandsutviklingen for det eksisterende norske vegnettet er også knyttet til vegens geometri og plassering i terrenget. De fleste LTPP-strekninger som utviklingen av modellene bygger på, er brede sammenliknet med det norske vegnettet. Strekningenes plassering i terrenget, utformingen av sidegrøfter, etc. er i henhold til vegbyggingskravene, i motsetning til store deler av det norske vegnettet.

En generell oppfølging av tilstandsutviklingen på det norske vegnettet viser at smal veg, dårlige eller manglende sidegrøfter, telefarlige materialer i vegoverbygningen etc. er svært ugunstig for tilstandsutviklingen på vegnettet. De årlige målinger av spor og jevnhet på det norske vegnettet, viser tilstandsutviklinger som for svært store deler av vegnettet gir dekkelevetider som er vesentlig kortere enn hva man burde forvente av en riktig dimensjonert og bygget veg. Unormalt korte dekkelevetider gir unormalt høye kostnader til dekkevedlikeholdet for vegnettet. Med de forbehold som er beskrevet ovenfor med hensyn på M-E PDGs modeller og deres gyldighet for det norske vegnettet, indikerer beregningene i de analyser som er beskrevet i denne rapporten, at klimaendringene sannsynligvis ikke forverrer de forhold som i utgangspunktet er svært ugunstige for tilstandsutviklingen på det norske vegnettet med fast dekke.

Effekten av en endring i dybden til grunnvannstanden er i Kap. 3.8 og 3.9 behandlet separat og isolert fra de andre påvirkningsfaktorer. I Kap 3.8 ble økning i de årlige kostnader til dekkevedlikeholdet på riks- og fylkesvegnettet i Norge beregnet til 30 Mill kroner per år ved en økning i gjennomsnittlig grunnvannstanden på 0,10 meter. Kap. 3.9 gir en beskrivelse av hva som er forventet av endringer i grunnvannsnivået frem til 2070-2100.

En dominerende del av sporutviklingen finner sted i løpet av våren. Av den grunn må man anta at endringen i dybde til grunnvannstanden om våren er bestemmende for den årlige sporøkningen. Ut fra figur 45 kan man anta at en reduksjon i dybde til grunnvannstanden i størrelsesorden 25 mm er representativt for gjennomsnittet på det norske vegnettet. Dette gir da en økning i dekkevedlikeholdskostnadene på ca. 0,8 %, noe som tilsvarer ca. 10 Mill kroner per år.

# 1 Innledning

I grunnlaget for arbeidet i del 5.3 ”Konsekvenser av endret klima for veier med bituminøst dekke” under etatsprogrammet Klima og transport, Delprosjekt 5 ”Tilstandsutvikling på vegnettet” er en rekke faktorer omtalt. De viktigste faktorer er:

- Innvirkningen av temperaturendringer for deformasjonsegenskapene for asfalt
- Innvirkningen av vinterens lengde på piggdekkbruk og piggdekkslitasje
- Betydningen av endringer i frostmengder på ubundne materialers egenskaper
- Betydningen av endringer i nedbøren over året samt endring i grunnvannstanden
- Innvirkningen av endringer i antall fryse- og tinesykler.

Valget av M-E PDG (Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide) som beregningsmodell var basert et forstudium som bestod av en vurdering av flere tilgjengelige beregningsmodeller. Dette er nærmere beskrevet i Ref. 2 hvor M-E PDG fra USA ble foreslått benyttet. M-E PDG er en av internasjonalt sett få tilgjengelige beregningsmodeller hvor de fleste av de faktorer som er listet opp ovenfor, inngår i beregningsforutsetningene.

Versjon 0.7 av programmet som lå til grunn for vurderingene i forstudiet, har i ettertid fått en del kritikk bl.a. på grunn av unøyaktige modeller for granulære materialers deformasjonsegenskaper. Gjennom NCHRP Project 9-23 ”Environmental Effects in Pavement Mix and Structural Design Systems” var det forventet at modellene for både asfalt og granulære materialer skulle bli vesentlig mer pålitelige. Sluttrapporten for del 1 om asfaltegenskaper var fullført i 2007 (Ref. 10) mens resultatene for del 2 om de granulære materialer var forventet å foreligge våren 2008. En foreløpig versjon av sluttrapporten fra del 2 er gjengitt i ref. 11.

Tilstandsutviklingsmodellene i M-E PDG er basert på lett tilgjengelige klimadata som registrert daglig maksimums- og minimumstemperatur, nedbør-, vind- og skydekke-data. Disse dataene kan sammenstilles og bearbeides i et separat program som er betegnet the Enhanced Integrated Climatic Model, EICM, utarbeidet for FHWA i USA.

En annen viktig forutsetning for valg av modell for beregning av forventede endringer i tilstandsutviklingen, var at beregningene skulle kunne gjennomføres for riks- og fylkesvegnettet i Norge. Sentrale data for vegnettet er hentet fra Vegdatabankens oppgravingsregister (Register 16) som er koblet med dekkeregisteret (Register 17).

Systematiseringen og bearbeidingen av disse dataene for å etablere et sett av typiske vegstrekninger, er utført av SINTEF.

I hovedanalysene inngår klimaforholdene i beregningsgrunnlaget gjennom nedbør, sol, vind og temperatur, men dybde til grunnvannstanden inngår ikke som selvstendig parameter i versjon 1.1 av programmet. Bl.a. av den grunn ønsket Vegdirektoratet å supplere arbeidet gjort i Delprosjekt 5 med tre nye deloppgaver:

- En overslagsmessig beregning av kostnader for å opprettholde dagens dekkestandard forutsatt samme vedlikeholdsstandard og drenering (grøfter, stikkrenner) som i dag, men med endret grunnvannsnivå som følge av klimaendringene. Beregningene gjennomføres som en følsomhetsanalyse som ser på hvordan varierende dybde til grunnvannstand påvirker dekkelevetid.



- Det bør gjøres et estimat over hvor mye grunnvannstanden vil øke i endret klima.
- Det skal også gjøres et grovt estimat av kostnader knyttet til nødvendig utbedring av drenering (i forhold til dagens situasjon) for å forebygge eventuell reduksjon av dekkelevetid. Beregningene skal omfatte riks- og fylkesvegnettet med bituminøst dekke.

Tilleggsanalysene av grunnvannstandens innvirkning på tilstandsutvikling og vedlikeholdskostnadene for vegdekker har som oppgave å isolere betydningen av en enkelt faktor knyttet forventede klimaendringer. Dette er i motsetning til hovedanalysen som gir en samlet vurdering av flere faktorerers innvirkning. Også tilleggsanalysene er basert på rapporten ”Klima i Norge 2100”, av Norsk klimasenter, juni 2009.

## 2 Beregningsforutsetninger

### 2.1 Generelt

Siste gjeldende versjon av M-E PDG (Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide) fra Federal Highway Administration, versjon 1.1 av 31.8.2009 (Ref. 7), er benyttet som hovedverktøy for analysene av klimaets og klimaendringenes innvirkning på tilstandsutviklingen for riks- og fylkesveger i Norge.

FHWA presiserer at M-E PDG fortsatt er et verktøy under utvikling og at endringer i programmet må forventes.

Klimadataene er bearbeidet og tilrettelagt for anvendelse i M-E PDG ved hjelp av programmet Enhanced Integrated Climatic Model, fra FHWA, versjon 3.02 av 2004. Tilretteleggingen består i hovedsak av en sammenstilling av enkeltdata for temperatur, nedbør, vind og skydekke til en samlet datafil med en layout som er egnet til innlesing i M-E PDG, bearbeiding av daglige temperaturdata basert på maksimums- og minimumstemperaturer til temperaturdata time for time, samt konvertering av data basert på det metriske system til amerikanske enheter. Siden EICM versjon 3.02 gir en datalayout tilpasset versjon 0.7 av M-E PDG, vil man i tillegg ha behov for en manuell omstrukturering av dataene for at de skal være tilpasset kravene i versjon 1.100 av M-E PDG.

### 2.2 Klimasoner og typiske klimadata

Basert på forslag fra Meteorologisk institutt, er riks- og fylkesvegnettet som inngår i analysene i Delprosjekt 5 knyttet til 15 klimasoner som vist i figur 1. (Kartet med inndeling i 17 klimaendringssoner var laget av met.no for dette prosjektet og før ref. [4] var publisert.)

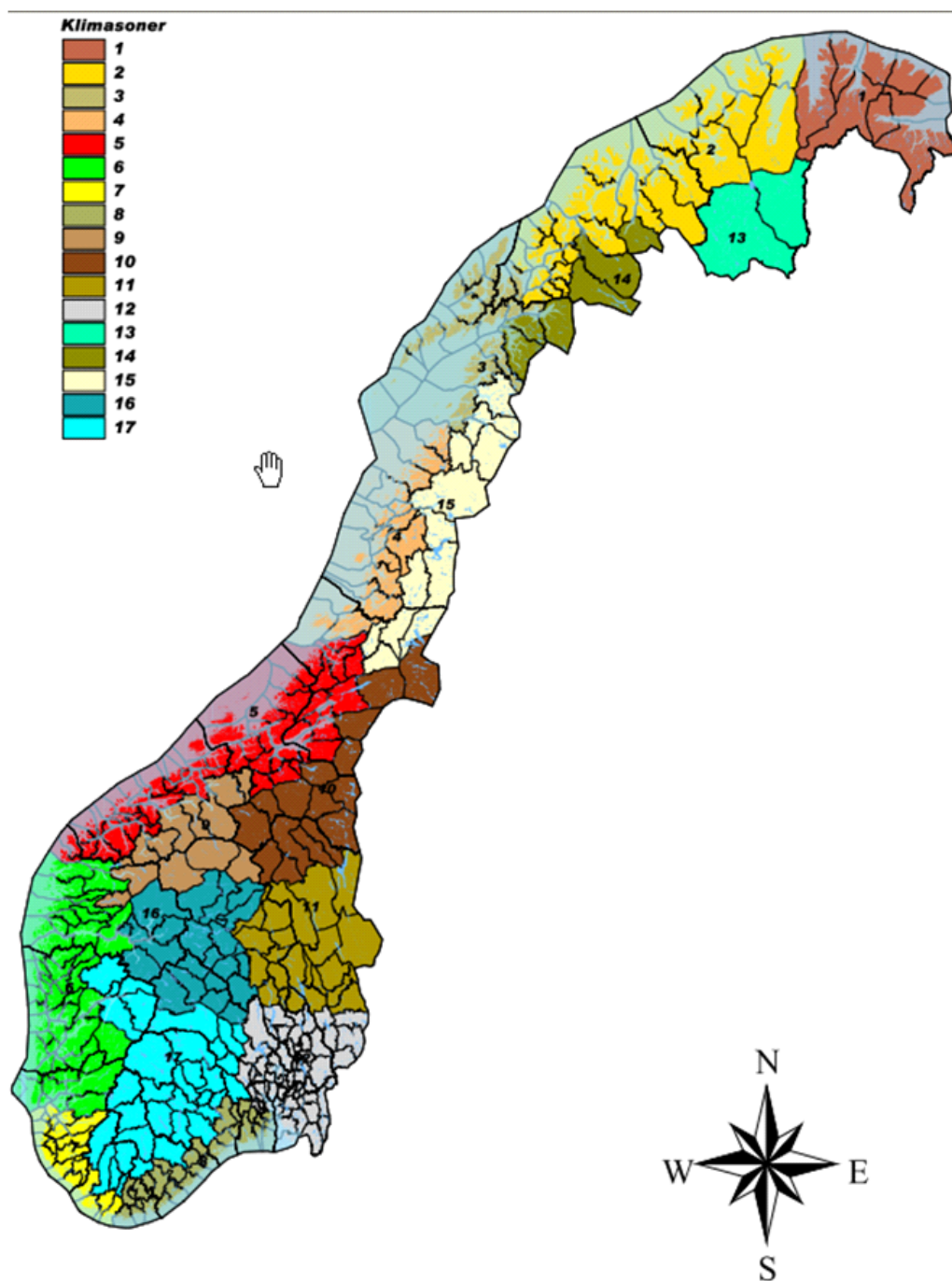
Denne inndeling er litt modifisert i forhold til forslaget fra Meteorologisk institutt ved at grensene mellom klimasoner følger kommunegrensene. Dette er gjort for å forenkle koblingen av delvegnettene til klimasonene med de tilhørende klimastasjoner.

For å redusere analysevolumet er følgende klimasoner slått sammen, se figur 1 og tabell 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. Også til dette arbeidet har man fått god hjelp fra Meteorologisk institutt.



Figur 1. Oversikt over inndeling i 17 klimasoner

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

Data for disse klimastasjonene ble hentet ut fra Meteorologisk institutts database ved hjelp av webportalen eklima på instituttets nettsider. Daglige data for følgende temaer ble lastet ned.

- TAX Daglig maksimumstemperatur, °C
- TAN Daglig minimumstemperatur, °C
- RR Daglig nedbør, mm
- FFM Midlere vindhastighet, m/s
- NNM Midlere skydekke, angitt 1/8-deler
- UUM Midlere relative fuktighet, %

For 9 av klimastasjonene omfatter dataene perioden 1.1.2000 – 31.12.2008, for 7 av klimastasjonene omfatter dataene perioden 1.1.2001 – 31.12.2008, og for Bergen omfatter dataene perioden 1.1.2002 – 31.12.2008.

Dataene er bearbeidet og sammenstilt i tekstfiler som tilfredsstillende krav til filformatet som brukes i M-E PDG. I tillegg til datafiler som er representative for perioden 2000-2008, er det laget datafiler som forventes å være representative for klimaet i 2070-2100. Dette arbeidet er nærmere beskrevet i Vedlegg 1 i Ref. 1. I denne forbindelse er det viktig å være oppmerksom på at en betydelig del av de klimaendringer som er beskrevet i Ref. 3 og 4, har allerede funnet sted. Dette innebærer at endringene fra 2000-2008 til 2070-2100 er betydelig mindre enn de som er angitt i Ref. 3 og 4.

### 2.3 Variasjoner i grunnvannstanden

I versjon 0.7 av M-E PDG var dybde til grunnvannstand en viktig del av grunnlagsdataene for analyser av forventet tilstandsutvikling. Klimaets påvirkning på materialeegenskapene til granulære materialer og materialer i grunnen, var beskrevet gjennom en kobling av SWCC (Soil Water Characteristic Curve) med en poresugsmodell hvor dybden til grunnvannstanden var en viktig parameter for materialeegenskapene.

I NCHRP-prosjektet 9-23 "Environmental Effects in Pavement Mix and Structural Design Systems" ble en rekke observasjonsstrekningen innen LTPP (Long Term Pavement Performance), MnRoad-prosjektet ( forsøksveg i Minnesota), WesTrack

(forsøksveg i Silver Spring, Nevada), samt noen observasjonsstrekninger administrert av Arizona DOT, studert nærmere med hensyn på klimaets innvirkning på material-egenskaper og tilstandsutvikling. Av LTPP-strekningene fikk strekningene innen SMP (Seasonal Monitoring Program) særlig oppmerksomhet.

Konklusjonene fra dette studiet kan noe forenklet sammenfattes i to punkter

- Modellen for variasjoner i materialegenskaper ut fra en kobling mellom SWCC og poresugsmodellen ble funnet å være for unøyaktig til å kunne anvendes.
- Nedbørens innvirkning på fuktforholdene i grunnen og i granulære materialer, og derved også på materialenes egenskaper, ble funnet å være vesentlig mindre enn tidligere antatt.

I versjon 1.1 av M-E PDG beregnes klimaets innvirkning på granulære materialers egenskaper gjennom en kobling av SWCC med Thorntwaithe Moisture Index (TMI). TMI er utviklet for å vurdere klimaets innvirkning på vekstforholdene til landbruksvekster, men den er også en sentral i Transportation Asset Management. I tillegg til i M-E PDG benyttes TMI i HDM-4 (Highway Development and Management Model) for beregning av vegenes tilstandsutvikling. HDM-4 er utviklet av Verdensbanken og administreres i dag av PIARC.

Ut fra de revisjoner i beregningsmodellene som inngår i versjon 1.1 av M-E PDG, vil man ikke forvente at endringer i dybde til grunnvannstand innvirker på beregnet tilstandsutvikling, dette til tross for at dybde til grunnvannstand fortsatt inngår som en del av inngangsdataene, som årsgjennomsnitt eller som gjennomsnitt for hver av de fire årstider.

Noen enkle testberegninger bekrefter at resultatene fra M-E PDG ikke påvirkes av endringer i inngangsdataene med hensyn på dybde til grunnvannstand.

Dybden til grunnvannstand er en logisk parameter å bruke når man skal utvikle modeller for hvordan granulære materialers egenskaper varierer med nedbør og andre klimaforhold. Begrunnelsen for å gå bort fra denne parameter for å angi hvordan nedbør- og klimaforholdene innvirker på materialegenskaper og tilstandsutvikling, er først og fremst knyttet til usikkerhetene i estimeringen av hvordan kombinasjonen av nedbør og dybde til grunnvannstanden innvirker på vanninnholdet i materialene, men også mht. hvordan dybden til grunnvannstand kan estimeres på en pålitelig måte.

Relasjonen mellom materialenes vanninnhold og materialegenskaper er uendret i forhold til de opprinnelige modellene i M-E PDG. De E-moduler som legges inn i beregningene er relatert til egenskapene ved et optimalt vanninnhold i de granulære materialene. Hvordan E-modulene varierer med vanninnholdet kan styres av brukeren av programmet gjennom å endre tre faktorer  $a$ ,  $b$  og  $k_m$ . Defaultverdiene for disse faktorene, som er benyttet uten endringer i de beregninger som er beskrevet i denne rapporten, gir følgende grenseverdier for materialegenskapene:

<b>Vanninnholdet betydning for E-moduler i granulære materialer</b>	<b>Finkornige materialer</b>	<b>Grove materialer</b>
Forholdet mellom E-modul for vannmettet materiale og ved optimalt vanninnhold	0,25	0,49
Forholdet mellom E-modul for helt tørt materialet og ved optimalt vanninnhold	2,50	2,00

Dersom avstanden til grunnvannstanden er liten, vil materialet være tilnærmet vannmettet det meste av året, med tilsvarende lave E-moduler som igjen er av stor betydning for beregnet tilstandsutvikling.

Våren 2010 fikk man i USA et vegnettsverktøy for tilstandsanalyse basert på modellene i M-E PDG, Ref 13 og 14. Dette verktøyet er gitt betegnelsen "Pavement Health Track" (PHT) og er utviklet for the Highway Economic Requirement Systems (HERS) og the National Pavement Cost Models (NAPCOM). Modellene i PHT Analysis Tool er beskrevet som en forenklet versjon av modellene i M-E PDG. I PHT er dybden til grunnvannstanden beholdt som en sentral inngangsparameter for estimering av klimaets innvirkning på granulære materialers egenskaper. Modellene i Pavement Health Track er blant de som er benyttet i den tilleggsanalysen som er beskrevet i kap. 2.8 nedenfor.

## 2.4 Materialelegenskaper

M-E PDG gir i prinsippet mulighet for å velge mellom tre nivåer for data for materialelegenskaper, hvorav Nivå 1 angir det mest avanserte og nivå 3 det mest grunnleggende nivå. For versjon 1.1 er det imidlertid presisert at nivå 1 ikke bør benyttes for granulære materialer i grunnen og i overbygningen da dette er knyttet til elementmetodeberegninger med spenningsavhengige materialelegenskaper, en type beregning som ennå ikke er utviklet fullt ut.

I dette prosjektet er Nivå 3 benyttet for både bituminøse og granulære materialer. For bituminøse materialer innebærer dette at inngangsdataene inkluderer bindemiddelinnhold, bindemiddeltipe, hulrom steinmaterialets kornfordeling, samt termiske egenskaper. For de termiske egenskaper er programmets defaultverdier benyttet, for de øvrige dataene for asfaltens egenskaper er typiske data for asfaltmasser benyttet i Norge, lagt til grunn. Dataene er gjengitt i Vedlegg 2 i ref. 1.

For de granulære materialer i grunnen og i overbygningen har man i M-E PDG mulighet for å knytte dataene til AASHTO Soil Classification System eller til United Soil Classification system USC. Defaultverdiene i M-E PDG er for en del av materialparametrene erstattet av typisk norske data, i overensstemmelse med vurderingene i Vegdirektoratets "Vegkapitalprosjekt", Ref. 8. Dette omfatter først og fremst data for materialenes kornfordeling, finkornige materialer flytegrense og plastisitets-grense, samt E-modul. For de andre parametrene, inklusive konstanter for SWCC (Soil Water Characteristic Curve), er programmets defaultverdier benyttet.

## 2.5 Piggdekkslitasje

M-E PDG har modeller for vegens tilstandsutvikling med hensyn på spor og jevnhet og forskjellige sprekketyper. Modellene for spor og jevnhet inkluderer ikke de tilstandsutviklinger som kan relateres til piggdekkslitasjen i vinterhalvåret. Dette må analyseres ved hjelp av modeller som er helt adskilt fra M-E PDG.

For å analysere sporutvikling som skyldes piggdekkslitasje, har man valgt å benyttet modeller utarbeidet av Statens väg- och transportforskningsinstitut, VTI, i Sverige, Ref 9. I denne modellen beregnes sporutviklingen på grunn av slitasje ut fra følgende faktorer:

- Årsdøgntrafikk, ÅDT per kjørefelt
- Vegbredde
- Tillatt hastighet
- Piggdekkseongens lengde
- Piggdekkandelen
- Saltet eller ikke saltet veg
- Vegdekkets slitestyrke

Vegdekkets slitestyrke bestemmes ut fra andel av steinmaterialet som er større enn 4 mm, steinmaterialets øvre siktstørrelse og steinmaterialets slitestyrke (kulkvarns-värde).

Klimaets betydning for piggdekkslitasjen kommer indirekte til uttrykk gjennom piggdekkseongens lengde og gjennom saltet/usaltet veg. Det siste uttrykket reflekterer det forhold at våt veg normalt slites mer enn tørr veg. Slitasjen på saltet veg er forutsatt å være ca. 25 % høyere enn på usaltet veg. Forholdet mellom slitasjen på våt veg og på tørr veg, avhenger bl.a. av de steinmaterialer som benyttes. Ref 9 angir variasjonen fra minimale forskjeller til mer enn en tredobling. I Norge har det tradisjonelt vært vanlig å anta at asfaltdekket på våt veg slites omtrent dobbelt så mye som på en tørr veg.

## 2.6 Data for vegnettet

Dataene for riks- og fylkesvegnettet med hensyn på materialer og lagtykkelser i vegoverbygningen og i grunnen, er basert på en bearbeiding av dataene i Register 16 "Oppgravingsregisteret" og Register 17 "Dekregisteret" i Vegdirektoratets Vegdatabank. Dette arbeidet er utført av SINTEF Avdeling for infrastruktur.

Dataene fra Vegdatabanken er bearbeidet med det mål å bestemme lengden av et sett av delvegnett basert på følgende inndelinger.

### **Vegkategori** (før forvaltningsreformen 1.1.2010)

Stam veger  
 Øvrige riksveger  
 Fylkesveger

### **ÅDT-intervall**

0-300  
 301- 1500  
 1501- 5000  
 > 5000

### **Telefarlig materiale i overbygningen**

Uten materiale klassifisert som telefarlig i overbygningen  
 Med materiale klassifisert som telefarlig i overbygningen

### **Materiale i grunnen**

Materiale i grunnen basert på inndelingen i Bæreevnegrupper i Statens vegvesens Håndbok 018 "Vegbygging".

### **Klimasoner**

Klimasone 1-17 som angitt i punkt 2.2 ovenfor

For hvert delvegnett er følgende data beregnet.

Veglengde med data i Oppgravingsregisteret  
Gjennomsnittlig total tykkelse for overbygningen  
Gjennomsnittlig total asfalttykkelse

Oppgravingsregisteret er ikke komplett for hele riks- og fylkesvegnettet. Analysen av dataene viser at man har data som dekker 48 % av stamvegnettet, 75 % av det øvrige riksvegnettet og 30 % av fylkesvegnettet slik disse var før forvaltningsreformen. De analyser som er gjennomført i dette delprosjektet, er relatert til de deler av vegnettet som har grunnlagsdata. Det er dermed et behov for en egen vurdering om man skal anta at resultatene ansees representative for hele vegnettet. Usikkerheten er naturlig nok, størst for det gamle fylkesvegnettet.

## 2.7 Kalibrering av M-E PDG

M-E PDG gir anledning til å benytte lokale kalibreringsfaktorer for såvel sporutvikling som krakelering og jevnhet, IRI. For spor er det lagt til rette for å kunne benytte tre forskjellige kalibreringsfaktorer:

- Kalibreringsfaktor for deformasjoner i asfaltlagene
- Kalibreringsfaktor for deformasjoner i granulære lag i overbygningen
- kalibreringsfaktor for deformasjoner i grunnen

En utnyttelse av mulighetene til å bruke tre forskjellige kalibreringsfaktorer krever at man har det nødvendige datagrunnlaget for dette. Så omfattende data har man i dette prosjektet ikke hatt tilgjengelig, slik at man har benyttet samme verdier for alle tre kalibreringsfaktorer.

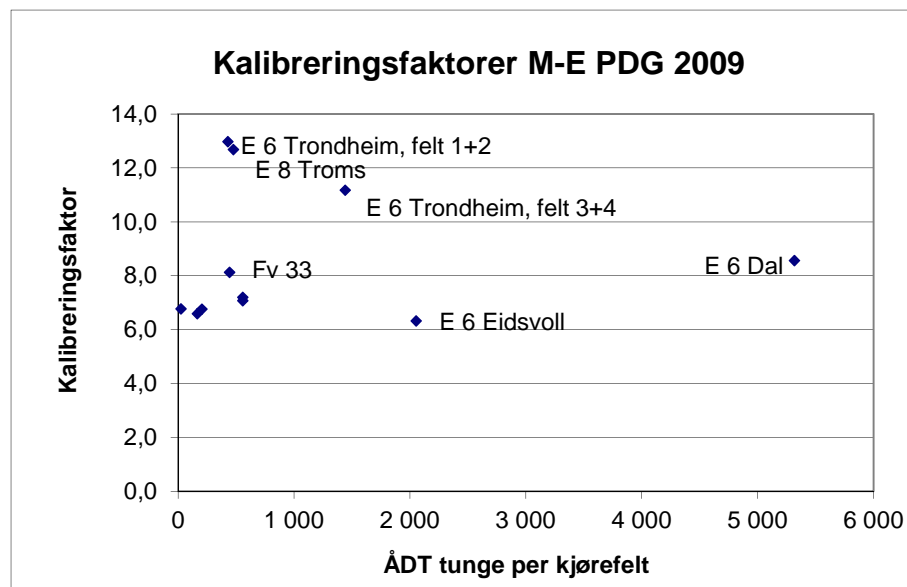
I Vegkapitalprosjektet, Ref. 8, ble det etablert 7 oppfølgingsstrekninger hvor vegens registrert tilstandsutvikling i perioden 2000 – 2005 med hensyn på krakelering, spordybde og IRI ble sammenliknet med tilstandsutvikling slik den ble beregnet med M-E PDG. Forholdet mellom registrert sporutvikling (korrigert for beregnet sporutvikling på grunn av piggdekkslitasje) og sporutvikling beregnet med M-E PDG versjon 0.7 ble benyttet som kalibreringskonstanter for spormodellene beregningsprogrammet. I Vegkapitalprosjektet kom man frem til en kalibreringsfaktor som var ÅDT-avhengig.

Kalibreringsfaktorene ble analysert på nytt i forbindelse med Delprosjekt 5 i etatsprosjektet Klima og Transport, nå basert på versjon 1.1 av M-E PDG. I den forbindelse ble datagrunnlaget for sporutvikling utvidet med spormålinger til og med 2008, og antall oppfølgingsstrekninger ble utvidet med tre nye strekninger, hvorav en strekning er i Troms fylke og to strekninger er i Sogn og Fjordane. Disse strekningene ble hentet fra NordFoU-prosjektet ”Pavement Performance Models”

Oppfølgingsstrekningen på E 6 ved Moholt i Trondheim er en vegstrekning med 4 kjørefelt. Denne strekningen ble analysert som to separate strekninger, en basert på gjennomsnittet av sporutvikling for kjørefelt 3 og 4 (ytre kjørefelt) og en basert på gjennomsnittet for kjørefelt 1 og 2 (indre kjørefelt). Man har dermed i alt 11 oppfølgingsstrekninger som grunnlag for en vurdering av kalibreringsfaktorene for M-E PDG.

Resultatene av analysen er vist i figur 2 nedenfor. Av figuren ser man at det er en viss spredning i resultatene, ved at strekningene på E 6 i Trondheim og E 8 i Troms skiller seg ut fra de øvrige strekninger. Samtidig ser man at det ikke synes å være grunnlag for å anta en ÅDT-avhengig kalibreringsfaktor, slik man fant med versjon 0.7 av M-E PDG.

Som et vektet gjennomsnitt har man i de videre analyser benyttet en kalibreringsfaktor lik 8,5.



Figur 2. Kalibreringsfaktorer for 11 stk oppfølgingsstrekninger

Delprosjekt 5 fokuserer på endringer i tilstandsutvikling. Dermed er sannsynligvis selve nivået for kalibreringsfaktoren uten spesielt stor betydning. Siden mekanismen for deformasjoner og effekten av endringer i temperaturer, nedbør og frost er forskjellig for asfalt og for granulære lag, hadde det derimot vært sterkt ønskelig å ha mulighet for å differensiere mellom de tre kalibreringsfaktorene som er omtalt ovenfor. Dessverre gir ikke datagrunnlaget mulighet for en slik differensiering, noe som må betraktes som en kilde til usikkerhet/unøyaktighet i analyseresultatene.

En kalibreringsfaktor lik 8,5 for deformasjoner i asfalt må sies å være høy, sannsynligvis alt for høy. Norske asfaltdekker har neppe spesielt dårlige deformasjonsegenskaper i forhold til i andre land. En nylig rapportert kalibrering av deformasjonsegenskapene for asfalt basert på HVS i Sverige, ref. 15, viser langt "rimeligere" kalibreringsfaktorer. Dersom man i etatsprogrammet Klima og transport har benyttet for høye kalibreringsfaktorer for asfalt, har man sannsynligvis også benyttet for små kalibreringsfaktorer for deformasjoner i grunnen og i granulære lag. Det betyr i så fall at effekten av redusert frostmengde er enda større enn det som er vist i denne rapporten.



## 2.8 Tilleggsanalyse: grunnvannstandens betydning

Det finnes i litteraturen rapporter fra en rekke analyser som viser hvilken innvirkning vanninnholdet i grunnen og i de granulære lag i vegoverbygningen har på tilstandsutviklingen for veger. Noen aktuelle analyser er nærmere omtalt i Vedlegg 1.

Effekten av klimaet på tilstandsutvikling, dekkelevetid og vedlikeholdskostnader for veger er som regel oppdelt i flere problemstillinger. Noen av de viktigste er:

1. Hvilken innvirkning har klimaet (nedbør, temperatur, sol, årstid, grunnvannstanden, etc.) på vanninnholdet til materialet i grunnen og i de forskjellige granulære lag i vegoverbygningen.
2. Hvordan innvirker variasjoner i vanninnholdet på egenskapene til de granulære materialer (E-modul, skjærfasthet etc.)
3. Hvordan innvirker variasjoner i materialeegenskapene på tilstandsutviklingen for vegdekkene (sporutvikling, sprekker, jevnhet etc.)
4. Hvilken betydning har endringer i tilstandsutviklingen for dekkelevetiden og årskostnadene for vedlikeholdet av vegdekkene.

Når man skal diskutere de fire problemstillinger som er beskrevet ovenfor, er det viktig å huske at de faktorer som er omtalt, virker i samspill med en rekke andre faktorer. I den første problemstillingen må man ta hensyn til at effektene av klimaendringer må sees i sammenheng med den betydning som vegens geometri, drenering og omkringliggende terreng har for variasjonene i materialenes vanninnhold. I den tredje problemstillingen er det åpenbart at effekten av variasjoner i materialeegenskapene kan være beskjeden i forhold til hovedproblemstillingen som vanligvis er vegoverbygningens oppbygning (materialer og lagtykkelser) i forhold til materialet i grunnen.

Dekketilstanden uttrykkes i hovedsak ved spordybde, jevnhet i lengdeprofilet, krakelering og andre typer sprekker. For en dominerende del av det norske riks- og fylkesvegnettet er det sporutviklingen som oftest utløser dekketiltak, og det er den tilstandsparameter man i dag har best oversikt over for det norske vegnettet. I den fjerde problemstillingen gjør man derfor ingen stor feil ved å fokusere på sporutviklingen når man skal beregne årskostnadene for dekkevedlikeholdet.

Av de punkter som er listet opp ovenfor, er det den første og tredje problemstillingen som ut fra dagens kunnskapsnivå gir de største utfordringer og hvor usikkerhetene i en analyse er størst.

Som det fremgår av Vedlegg 1, kan dreneringsforholdene beskrives på mange forskjellige måter når betydningen for vegens tilstandsutvikling skal analyseres. Når man helt konkret skal benytte dybden til grunnvannstanden som parameter, er det først og fremst de kvantitative uttrykkene fra Pavement Health Track (PHT) i USA, Ref. 18, og ROADDEX II-prosjektet, Ref. 19, som er egnet. Dersom man for Pavement Health Track benytter de samme kalibreringsfaktorer som man i Vegkapitalprosjektet fant for versjon 0.7 av M-E PDG, ref. 8, (gjennomsnittlig kalibreringsfaktor på 6,5 mot 8,5 for versjon 1,1 av M-E PDG) får man relativt god overensstemmelse mellom resultatene fra PHT og fra ROADDEX II.

### 3 Beregningsresultater

I de etterfølgende figurer er det vis et utvalg av beregningsresultater fra analysene som er utført ved hjelp av M-E PDG.

Programmet M-E PDG beregner også tilstandsutviklingen med hensyn på jevnhet IRI (International Roughness Index) og flere forskjellige former for utvikling av sprekker i vegdekket (tversgående lavtemperatursprekker, lastrelaterte sprekker som starter i overkant av asfaltdekket, samt lastrelaterte sprekker som starter i underkant av dekket). Disse tilstandsparametrene er ikke vurdert nærmer i denne rapporten av flere grunner.

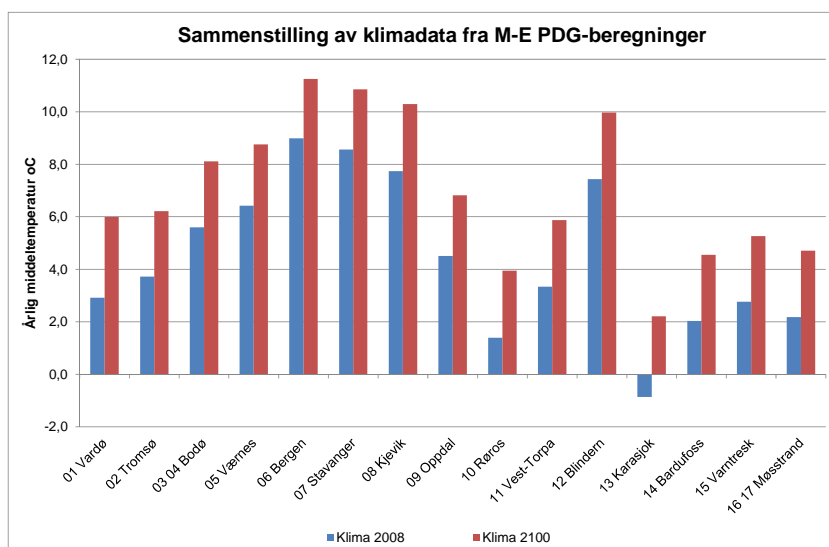
Tilstandsutvikling med hensyn på jevnhet, IRI, inngikk i analysene i Vegkapitalprosjektet, Ref. 8. Fra disse analysene ble det konkludert at de årlige endringer med hensyn på IRI var svært liten i forhold til de variasjoner (usikkerhet) man hadde for jevnhetsmålingene utført på vegnettet. Kalibrering av modellene for IRI ble derfor ansett som svært usikre. I tillegg kommer det forhold at andre forhold enn klimaendringer antas å være dominerende for jevnhetsutvikling på det norske vegnettet. I Norge har man som regel store variasjoner i grunnforholdene over korte avstander, dessuten må det være tillatt å hevde at det å tilstrebe homogene grunnforhold og mest mulige ensartet bæreevne til de forskjellige lagene i vegoverbygningen har vært relativt lavt prioritert i Norge sammenliknet med vegbygging i mange andre land.

For krakelering og langsgående og tversgående sprekker i vegdekket har vi ingen systematisk tilstandsoppfølging av det norske vegnettet. I tillegg er ikke sprekker en tilstandsparameter som er sentral i vedlikeholdsstandarden for vegdekker i Norge. Sannsynligvis er krakelering og andre sprekker en del av den visuelle helhetsvurdering og utløser dekketiltak, men det er ikke mulig å kunne vurdere denne tilstandsparameteren for vegnettet i Norge, og et forsøk på å kalibrere modellene for utviklingen av sprekker for det norske vegnettet er sannsynligvis uten verdi.

Vurderingene i avsnittene over medførte at tilstandsutviklingen med hensyn på spor ble ansett som det viktigste uttrykk for tilstandsutviklingen for vegdekkene på riks- og fylkesvegnettet i Norge.

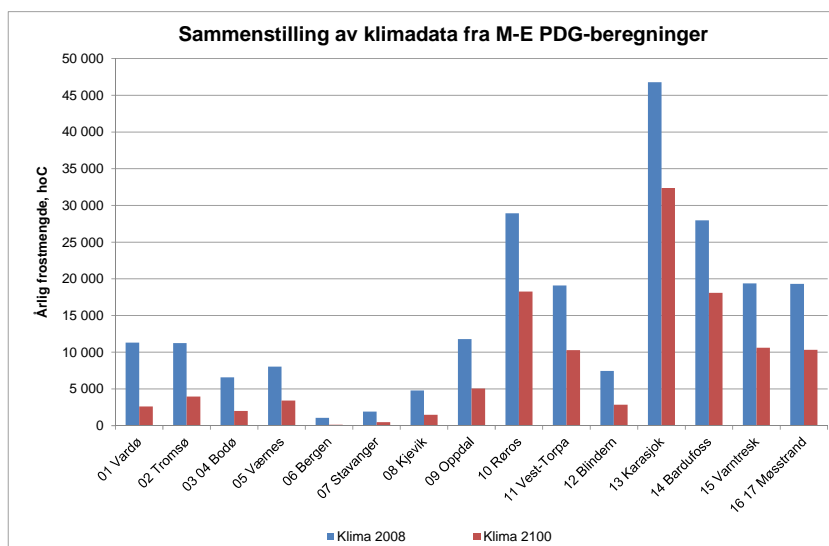
#### 3.1 Nøkkeldata for klimaendringene

Figur 3 – 6 viser noen nøkkeltall for de beregnede klimaendringer slik de fremstår i analysene i M-E PDG. Disse resultatene kan blant annet benyttes til å vurdere hvor godt dataene i beregningsgrunnlaget samsvarer med prognosene som er presentert i Ref. 3 og 4. I den forbindelse er det viktig å være oppmerksom på at endringene vist i figur 3-6 omfatter endringer i forhold til klimaet i perioden 2000-2008, mens prognosene i Ref. 3 og 4 gjelder klimaendringene i forhold til normalen basert på perioden 1961 – 1990. En betydelig del av de klimaendringer som er beskrevet i Ref. 3 og 4, har allerede funnet sted, slik at endringene fra 2000-2008 til 2070-2100 er betydelig mindre enn de som er angitt i Ref. 3 og 4.



Figur 3. Beregnet gjennomsnittlig årsmiddeltemperatur 2000-2008 og 2070-2100

Figur 3 viser at årsmiddeltemperaturene øker med i størrelsesorden 2,3 – 3,1 °C for de fleste av de benyttede klimastasjonene.



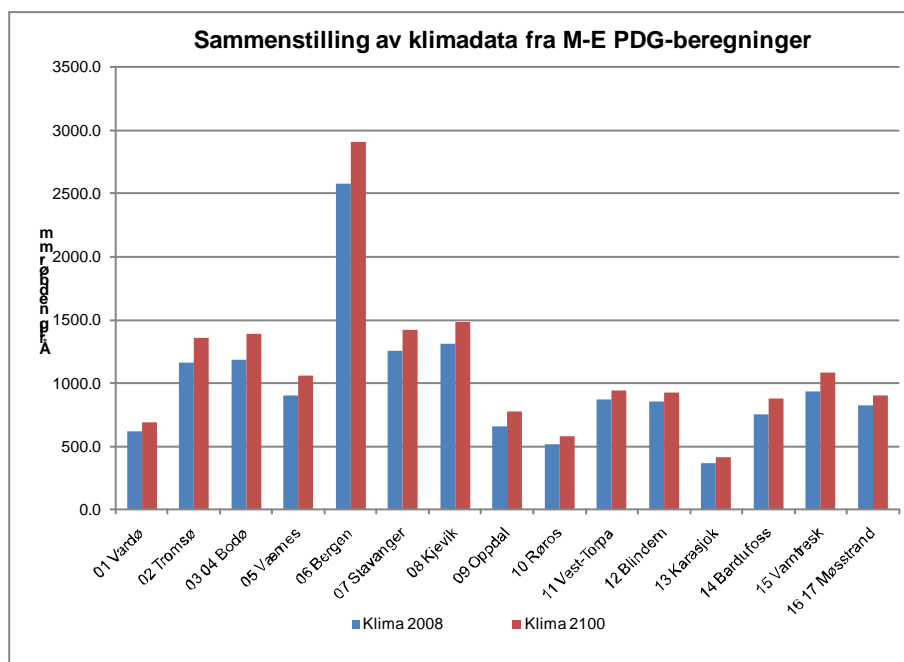
Figur 4. Beregnet gjennomsnittlig frostmengde 2000-2008 og 2070-2100

Figur 4 viser reduksjonen i frostmengden for perioden 2070-2100 i forhold til 2000-2008 i størrelsesorden 30 – 80 %, noe som må anses å være betydelig.

En reduksjon i frostmengden vil i de fleste tilfeller medføre en reduksjon i bæreevneproblemene i teleløsningsperiodene, noe som igjen vil føre til mindre sporutvikling om våren.

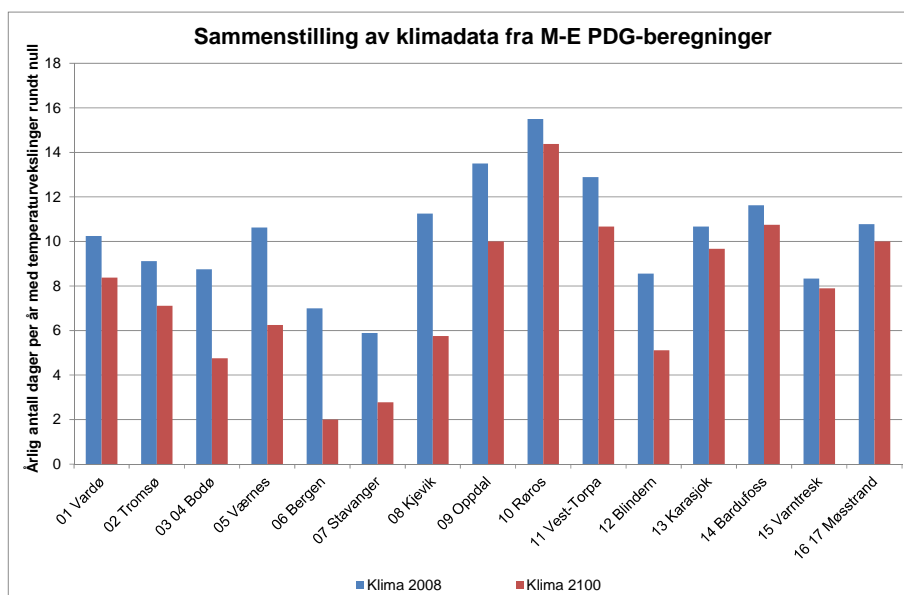
Det er ikke gitt at reduksjonen i årlig frostmengde er entydig positiv. Endringen kan gi en økning i sporutviklingen dersom den innebærer at telefronten gjennom vinteren blir stående i et ugunstig nivå i materialene, avhengig av variasjoner i materialeegenskaper og tilgang på fuktighet.

Figur 5 viser endringene i gjennomsnittlig årlig nedbørsmengde. Resultatene viser en nedbørsøkning i størrelsen 8 – 17 % i forhold til årlig nedbør i perioden 2000-2008.



Figur 5. Beregnet gjennomsnittlig årlig nedbørmengde 2000-2008 og 2070-2100

Figur 6 viser endringene i antall dager per år med temperaturvekslinger rundt  $0^{\circ}\text{C}$ , det vil si dager hvor maksimumstemperaturen er over  $0^{\circ}\text{C}$  og minimumstemperaturen er mindre enn  $0^{\circ}\text{C}$ .



Figur 6. Beregnet antall dager per år med temperaturvekslinger rundt  $0^{\circ}\text{C}$ , 2000-2008 og 2070-2100 (dager med maksimumstemperatur  $> 0^{\circ}\text{C}$  og minimumstemperatur  $< 0^{\circ}\text{C}$ ).

Som det fremgår av figur 6 er antall dager med beregnet temperaturveksling rundt  $0^{\circ}\text{C}$  vesentlig lavere for perioden 2070-2100 enn de er for perioden 2000-2008. Dette er i overensstemmelse med Ref. 3 og 4 hvor antall dager med temperaturvekslinger rundt  $0^{\circ}\text{C}$  viser en økning om vinteren, mens antall dager med temperaturvekslinger rundt

0°C om våren og høsten er vesentlig lavere, slik at antall dager over året totalt sett viser en tydelig reduksjon.

De nøkkeltall som er presentert i figur 3 til 6 ovenfor, gir ikke ett fullstendig bilde av de faktorer som påvirker tilstandsutviklingen for vegnettet. Styrken til beregningsmodellene i M-E PDG er at beregningene tar hensyn til relasjonene mellom de forskjellige parametre og hvordan disse varierer fra time til time, fra måned til måned over en periode på 20 år. Det er dermed grunn til å forvente at modellene tar hensyn til de variasjoner som forventes å finne sted. Dette inkluderer f.eks. effekten av temperaturendringer hvor man har perioder med mildvær over flere dager, ikke bare temperaturvekslinger rundt 0°C over døgnet. Variasjoner i dybde til telefronten i forhold til telefarlighet til materialene i grunnen og i vegoverbygningen kan være et annet eksempel.

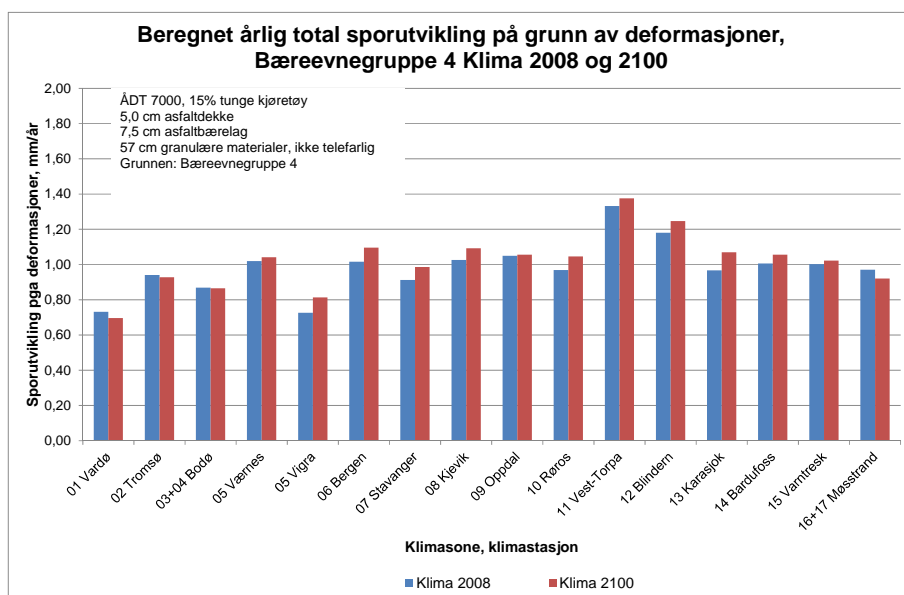
Beregningsresultatene i de etterfølgende avsnitt, f.eks. figur 24 til 33, viser betydelige variasjoner i beregnet tilstandsutvikling, variasjoner som ikke er enkelt å forklare ut fra vurderinger av hver enkelt av de forskjellige påvirkningsparametre. Forhåpentligvis er disse variasjonene et uttrykk for kompleksiteten av de forhold man har i en vegoverbygning i løpet av en periode på 20 år, og ikke et resultat av beregningenes usikkerhet og unøyaktighet.

### 3.2 Variasjoner mellom klimasonene

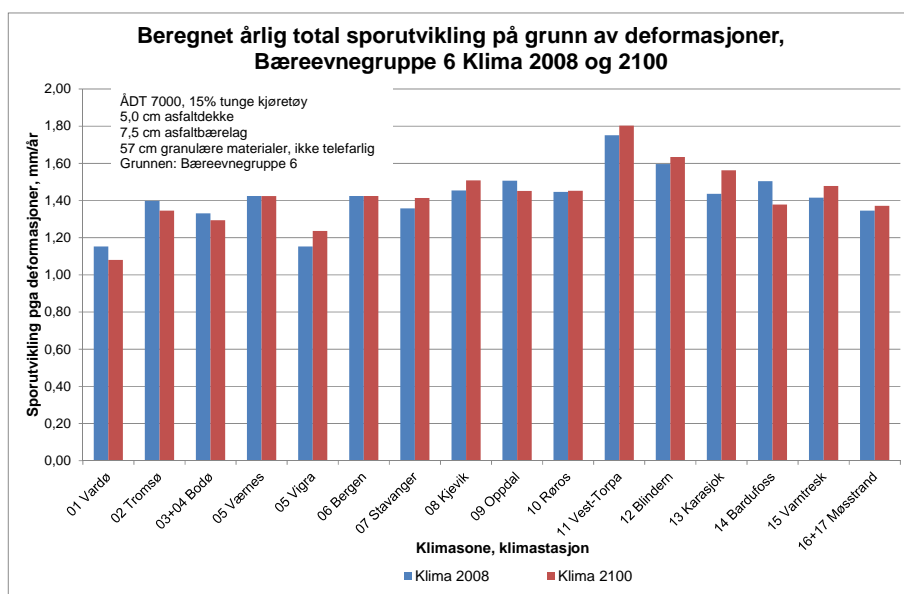
Figurene nedenfor viser noen eksempler på beregnet tilstandsutvikling på grunn av deformasjoner i asfaltlagene, i de granulære lagene i vegoverbygningen og i grunnen. I alle disse figurene er alle faktorer med unntak av klimaet holdt konstant.

Figur 7 og 8 viser den årlige totale sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfaltlagene, i de granulære lagene i overbygningen og i grunnen. I figur 7 er materialet i grunnen i Bæreevnegruppe 4, i figur 8 er materialet i grunnen i Bæreevnegruppe 6. Man kan legge merke til at den årlige totale sporutvikling er i størrelsesorden 0,7 – 1,4 mm/år når materialet i grunnen er i Bæreevnegruppe 4, men den er i størrelsesorden 1,1 – 1,8 mm/år når materialet i grunnen er i Bæreevnegruppe 6.

Man kan også legge merke til at det er en generell tendens til at den årlige totale sporutvikling er høyere for klimaforholdene 2070-2100 enn den er for klimaforholdene 2000-2008, med kyststrøkene i Nord-Norge som de viktigste unntak.



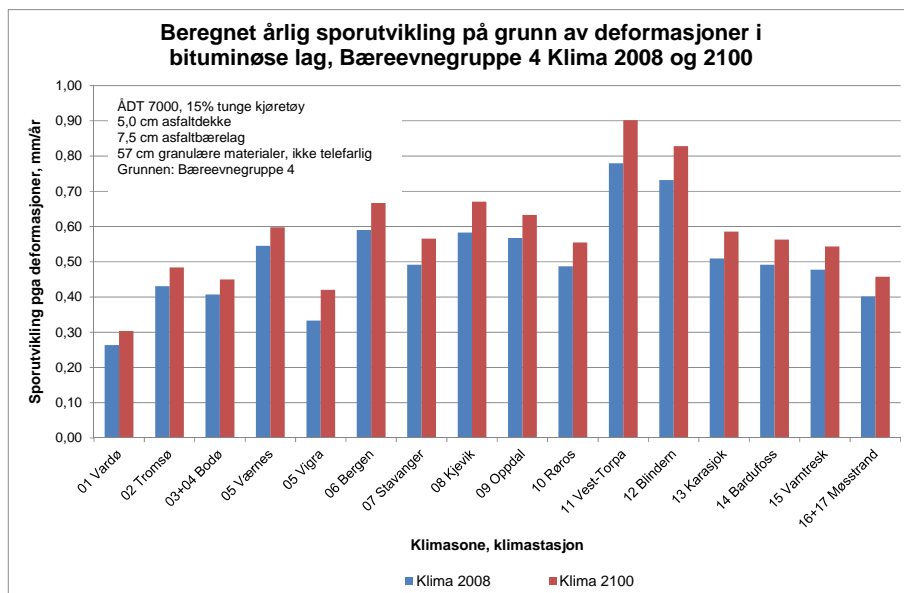
Figur 7. Beregnet total årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalt, i granulære lag og i grunnen, klima 2000-2008 og 2070-2100, ÅDT 7000, Bæreevnegruppe 4 for materialet i grunnen.



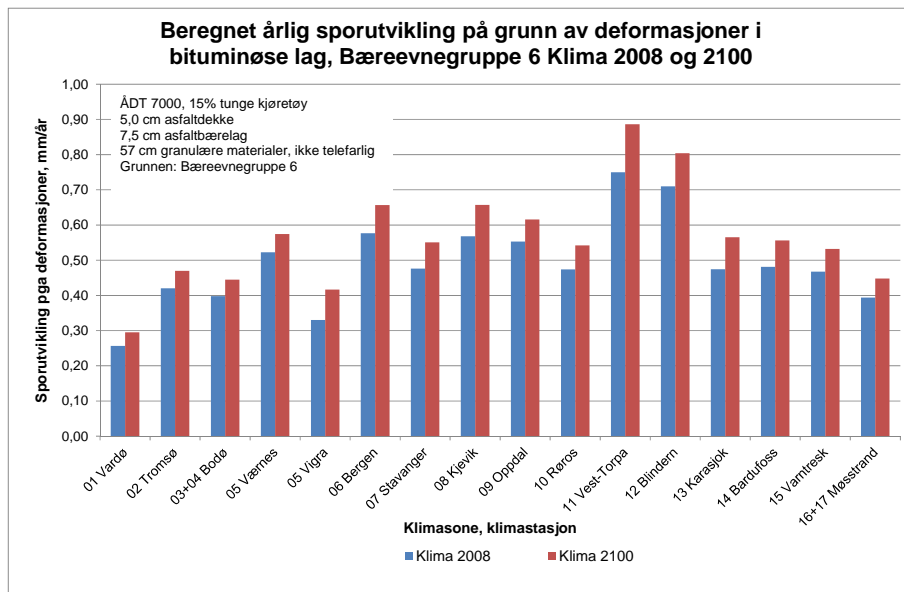
Figur 8. Beregnet total årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalt, i granulære lag og i grunnen, klima 2000-2008 og 2070-2100, ÅDT 7000, Bæreevnegruppe 6 for materialet i grunnen.

Figur 9 og 10 viser årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfaltlagene. Figur 9 gjelder for materialer i Bæreevnegruppe 4 i grunnen, mens figur 10 gjelder for materialer i Bæreevnegruppe 6 i grunnen. Av figurene ser en at sporutviklingen for alle klimasoner er høyere for klima 2070-2100 enn for klima 2000-2008. At høyere temperaturer i asfaltlagene om sommeren gir en økning i deformasjonene i asfaltlagene, er naturlig. Dersom man ser nærmere på figur 9 og 10, kan man se at for samme klimastasjon er deformasjonene i asfaltlagene generelt noe mindre for Bæreevnegruppe 6 enn for Bæreevnegruppe 4. Dette kan forenklet forklares ved at

større stivhet for materialet i grunnen gir en økning i deformasjonene i asfaltlagene på grunn av den “amboltvirkning” som oppstår.



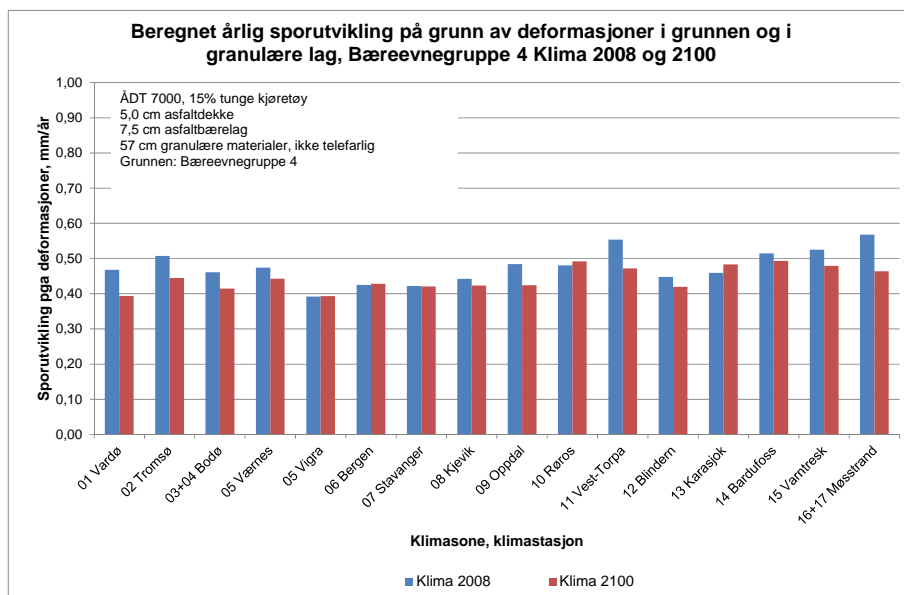
Figur 9. Beregnet årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalt, klima 2000-2008 og 2070-2100, ÅDT 7000, Bæreevnegruppe 4 for materialet i grunnen.



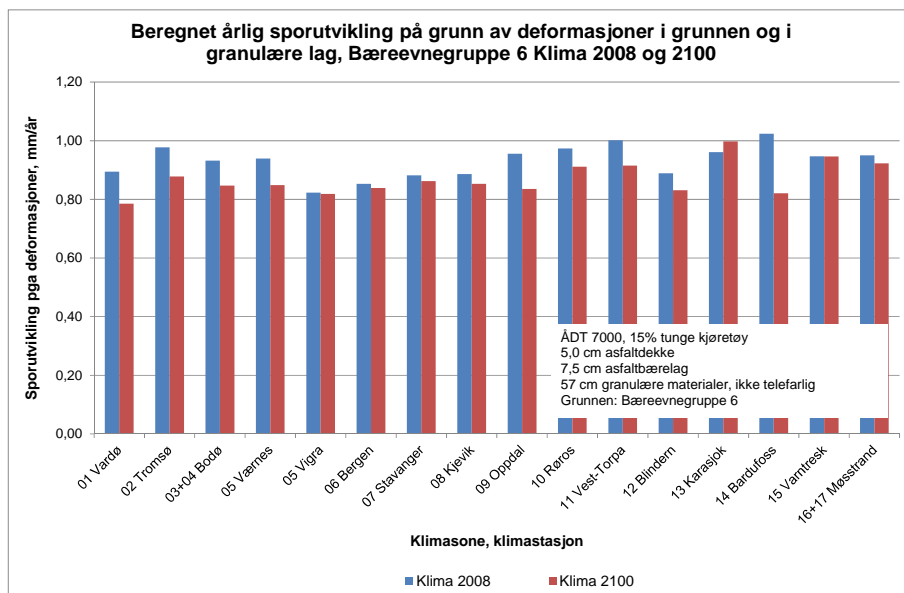
Figur 10. Beregnet årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalt, klima 2000-2008 og 2070-2100, ÅDT 7000, Bæreevnegruppe 6 for materialet i grunnen.

Figur 11 og 12 viser årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i grunnen og i de granulære lag i vegoverbygningen. Figurene viser at det er relativt små forskjeller mellom klimastasjonene for Bæreevnegruppe 4, mens det er noe større variasjoner mellom klimastasjonene for Bæreevnegruppe 6. Man kan også registrere at deformasjonene er generelt mindre for klima 2070-2100 enn de er for klima 2000-2008.

Denne tendensen er tydeligst for klimastasjoner i Nord-Norge og i innlandet i Sør-Norge, mens forskjellene er minimale for kyststrøkene på Vestlandet. Resultatene i figur 11 og 12 kan grovt forklares ved at den positive effekt av mindre frost og telehiv generelt er større enn den negative effekt av mer nedbør.



Figur 11. Beregnet årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i de granulære lag og i grunnen, klima 2000-2008 og 2070-2100, ÅDT 7000, Bæreevnegruppe 4 for materialet i grunnen.

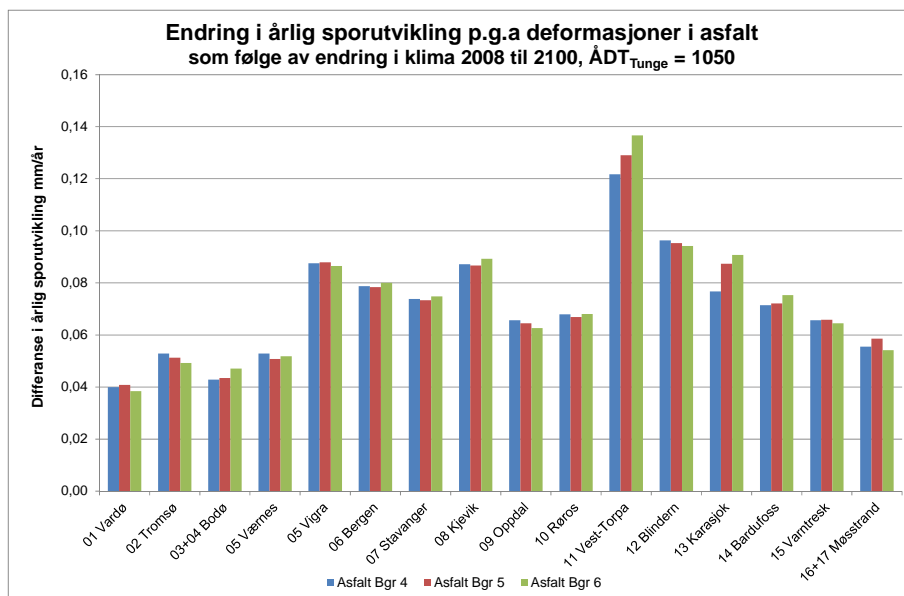


Figur 12. Beregnet årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i de granulære lag og i grunnen, klima 2000-2008 og 2070-2100, ÅDT 7000, Bæreevnegruppe 6 for materialet i grunnen.

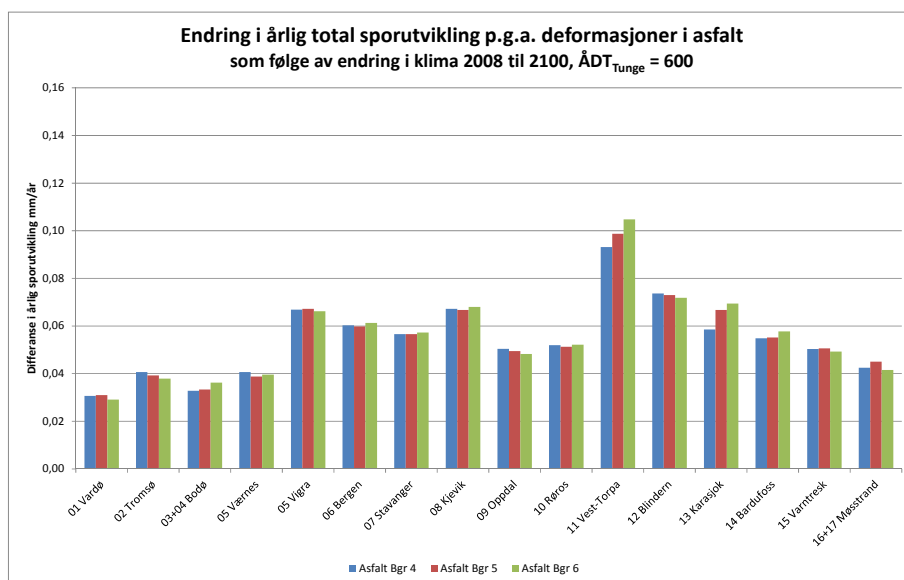
Det er også grunn til å legge merke til at sporutviklingen på grunn av deformasjoner i grunnen og i de granulære lagene i vegoverbygningen, er for Bergen blant de minste i figur 11 og 12, til tross for at årsnedbøren som er vist i figur 5, er spesielt stor.



Figur 13 og 14 viser endringer i årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalt som følge av klimaendringer fra 2000-2008 til 2070-2100. Økningen i årlig sporutvikling varierer fra ca. 0,04 mm/år for Vardø og Bodø til 0,13 mm/år for Vest-Torpa. Gjennomsnittet for alle klimastasjonene er ca. 0,07 mm/år, noe som tilsvarer en reduksjon i dekkelevetid i størrelsesorden 4 – 6 %.



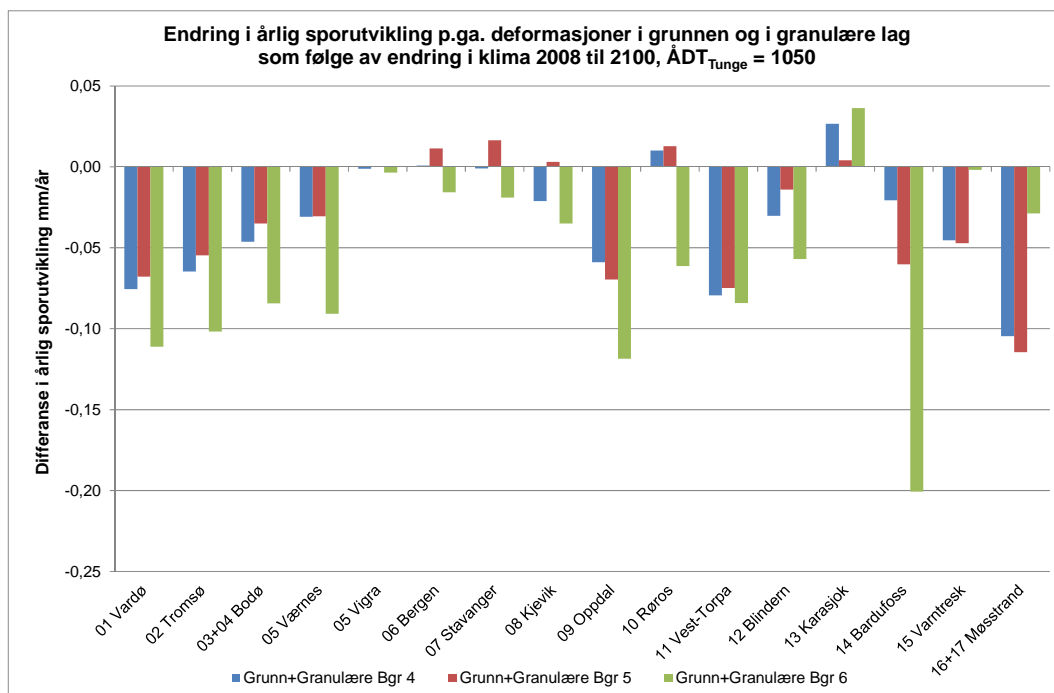
Figur 13. Endring i beregnet årlig sporutvikling som følge av klimaendring 2008 - 2100, på grunn av deformasjoner i asfaltlagene, ÅDT 7000, 15 % tunge kj.t. Bæreevnegruppe 4, 5 og 6 for materialet i grunnen.



Figur 14. Endring i beregnet årlig sporutvikling som følge av klimaendring 2008 - 2100, på grunn av deformasjoner i asfaltlagene, ÅDT 4000, 15 % tunge kj.t. Bæreevnegruppe 4, 5 og 6 for materialet i grunnen.

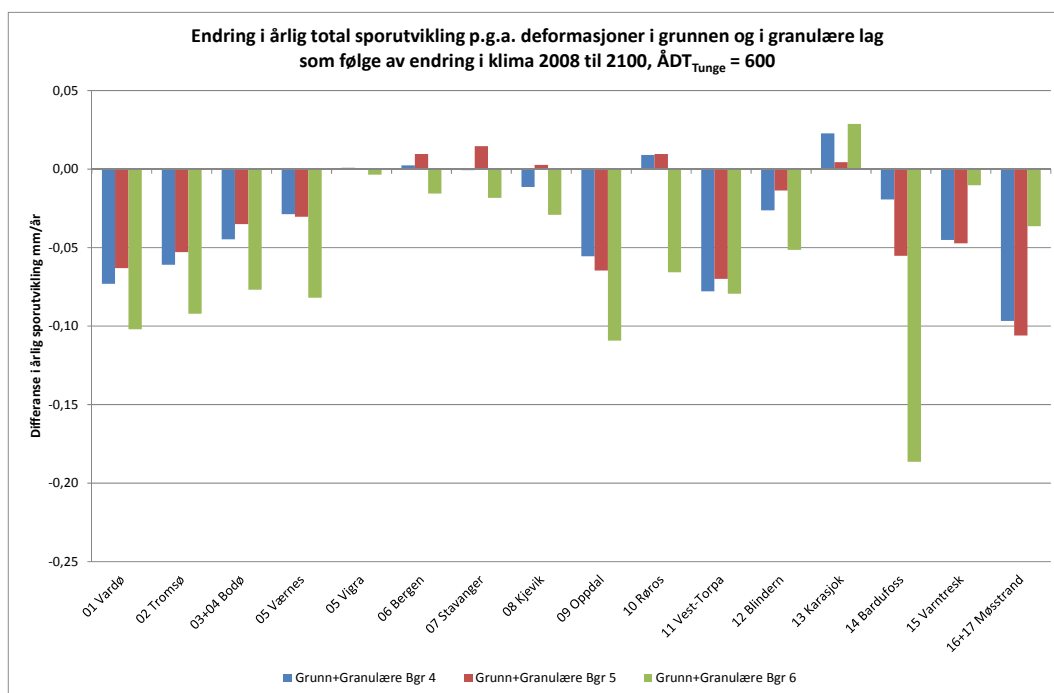
Som det fremgår av figur 13 og 14, har mengden tungtrafikk stor innvirkning på beregnede endringer i sporutviklingen på grunn av deformasjoner i asfaltlagene. Selv om det er en del variasjoner mellom klimasonene, er tendensen relativt tydelig.

Økningen i sporutvikling kan direkte knyttes til økningen i dekketemperaturen i de varme sommermånedene.



Figur 15. Endring i beregnet årlig sporutvikling som følge av klimaendring 2008 - 2100, på grunn av deformasjoner i grunnen og granulære lag, ÅDT 7000, 15 % tunge kj.t. Bæreevnegruppe 4, 5 og 6 for materialet i grunnen.

Endringen i sporutvikling på grunn av deformasjoner materialene i grunnen og i de granulære lag i overbygningen er vist i figur 15 og 16. Disse resultatene viser vesentlig større variasjoner enn det man fikk for spor på grunn av deformasjoner i asfalletlagene. Endringer i sporutvikling på grunn av deformasjoner i grunnen og i de granulære lagene kan knyttes til to forhold. Det ene er økningen i årlig nedbør som forventes å gi en økning i sporutviklingen på grunn av vanninnholdets innvirkning på materialeegenskapene. Det andre er reduksjonen i frostmengde som gir en reduksjon i dannelsen av islinser i telefarlige materialer, som igjen kan antas å gi en mindre reduksjon i vegens bæreevne i de kritiske teleløsningsperiodene. Beregningene indikerer at det siste forholdet dominerer i forhold til effekten av nedbørsøkning, slik at totalresultatet for de fleste klimastasjonene er en reduksjon i sporutviklingen på grunn av klimaendringene fra 2000-2008 til 2070-2100.



Figur 16. Endring i beregnet årlig sporutvikling som følge av klimaendring 2008 - 2100, på grunn av deformasjoner i grunnen og granulære lag,  $\text{ÅDT}$  4000, 15 % tunge kj.t. Bæreevnegruppe 4, 5 og 6 for materialet i grunnen.

For de fleste klimasonene er det en tydelig tendens til at endringene er størst for vegger hvor materialet er i Bæreevnegruppe 6. Dette gjelder imidlertid ikke Karasjøk, Varntrask og Møsstrand.

### 3.3 Fordeling mellom endringer i nedbør og temperatur

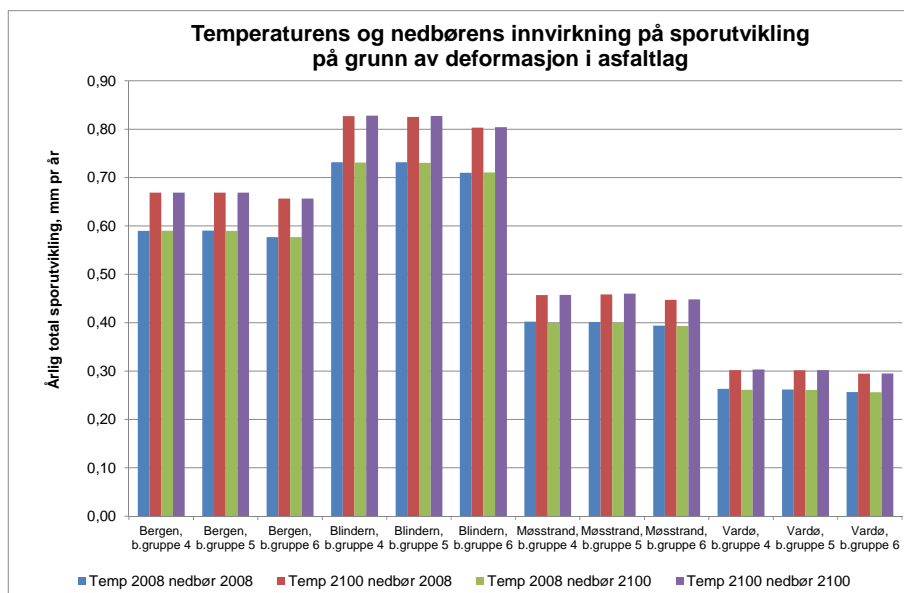
For å kunne få en mer detaljert analyse av effekten av endringer i frost og telehiv i forhold til effekten av nedbørsøkning, ble det for fire klimastasjoner (Bergen, Blindern, Møsstrand og Vardø) laget egne datafiler for klimaet hvor man splittet endringene i nedbør og temperatur. For hver av klimastasjonene fikk man dermed følgende datafiler:

- Temperatur 2008 og nedbør 2008
- Temperatur 2100 og nedbør 2008
- Temperatur 2008 og nedbør 2100
- Temperatur 2100 og nedbør 2100

Det er i denne forbindelse viktig å ta hensyn til at beregningsresultatene og vurderingene av disse er beheftet med noen viktige begrensninger og usikkerheter. Beregning av forventet tilstandsutvikling ved hjelp av modellene i M-E PDG er komplekse og er basert på et samspill mellom de faktorer som påvirker tilstandsutviklingen. Dette gjelder også samspillet mellom nedbør og frost/temperatur. Påvirkningsfaktorene er ikke uavhengig av hverandre slik at totalresultatet kan ikke beregnes ved å addere enkeltfaktorenes påvirkning.

Resultatet av disse analysene er vist i figur 17 - 19 nedenfor. For sporutvikling som skyldes deformasjoner i asfaltlagene, viser figur 17 at temperaturen har en tydelig

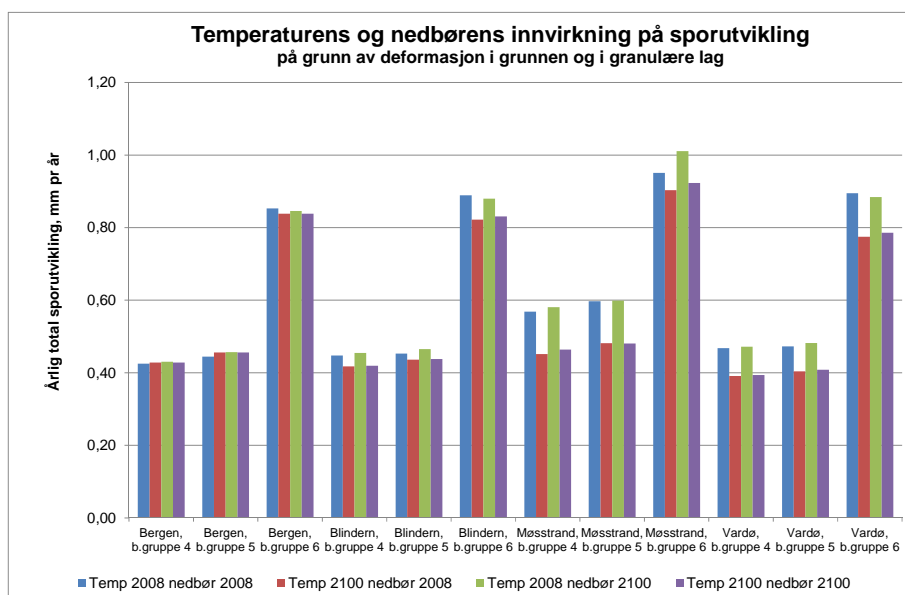
innvirkning, mens effekten av endring i nedbør er minimal. Av figur 17 kan man også legge merke til at sporutvikling som skyldes deformasjoner i asfaltlagene, er noe lavere for Bæreevnegruppe 6 for materialet i grunnen enn den er for Bæreevnegruppe 4 og 5. Noe forenklet kan dette beskrives som at et mykere underlag gir mindre sammenpressinger i selve asfaltlagene. Denne forskjellen er mest tydelig for klimastasjonene Bergen og Blindern som i utgangspunktet har de største deformasjonene.



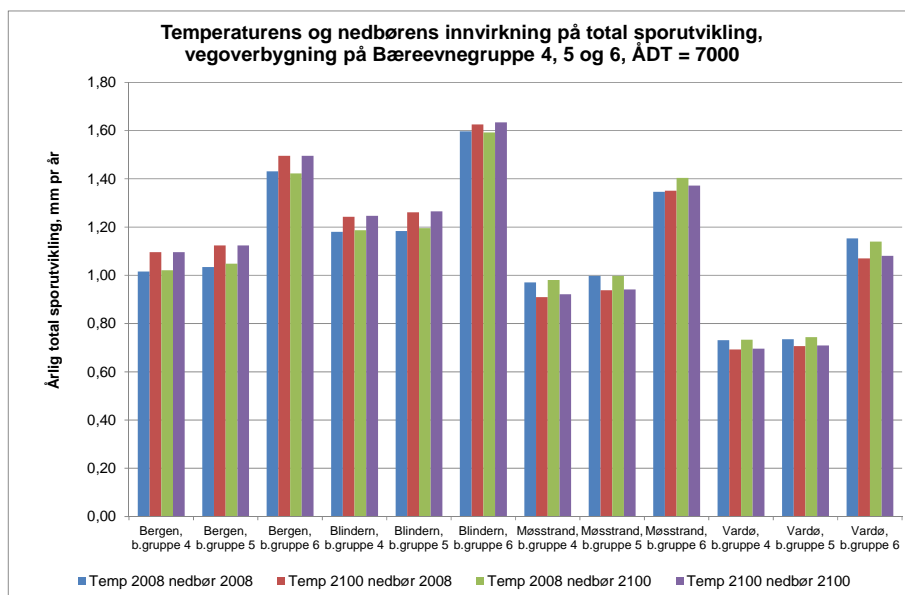
Figur 17. Beregnet årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfaltlagene, ÅDT 7000, 15 % tunge kj.t. Effekt av temperatur og nedbør er splittet.

Figur 18 viser årlig sporutvikling som skyldes deformasjoner i grunnen og i de granulære lag i vegoverbygningen. For Møsstrand ser man at en økning i nedbøren gir en økning i årlig sporutvikling, mens denne effekten er svært liten for de andre tre klimastasjonene. Også for Møsstrand er effekten av temperaturendringer vesentlig større enn effekten av økningen i nedbør.

Figur 19 viser den totale sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalt, de granulære lag og i grunnen. Figuren er det samme som summen av sporutviklingen i figur 17 og 18.



Figur 18. Beregnet årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i granulære lag og i grunnen, ÅDT 7000, 15 % tunge kj.t. Effekt av temperatur og nedbør er splittet.



Figur 19. Beregnet årlig total sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalt, granulære lag og i grunnen, ÅDT 7000, 15 % tunge kj.t. Effekt av temperatur og nedbør er splittet.

I Kap 2.3 ovenfor har man omtalt noen av de forhold som førte til en endring i modellene i versjon 1.1 av M-E PDG for nedbørens innvirkning på egenskapene til materialene i grunnen og i de granulære lag i vegoverbygningen. Endringene er i stor grad basert på en oppfølging av en rekke observasjonsstrekningen innen LTPP (Long Term Pavement Performance) i USA og Canada. Av LTPP-strekningene fikk strekningene innen SMP (Seasonal Monitoring Program) særlig oppmerksomhet.

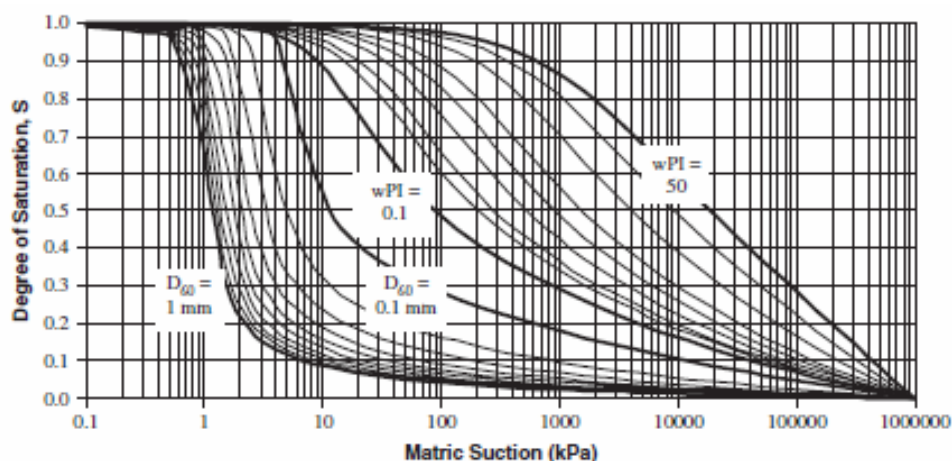
Forholdet mellom nedbør, granulære materialers egenskaper og vegens tilstandsutvikling er i versjon 1.1 av M-E PDG koblet i tre trinn:

1. Nedbørens innvirkning på vanninnholdet (grad av vannmetning) i de granulære materialer.
2. Vanninnholdets (graden av vannmetningens) innvirkning på egeskapene til materialene i grunnen og de granulære materialer i overbygningen.
3. Materialeegenskapenes innvirkning på vegdekkets tilstandsutvikling i en gitt vegoverbygning for en gitt trafikk.

Revisjonen av modellene i M-E PDG gjennom Prosjekt 9-23 er i det alt vesentlige knyttet til trinn 1 ovenfor, hvor man tok i bruk Thornthwaite Moisture Index som erstatning for modeller basert på dybde til grunnvannstanden.

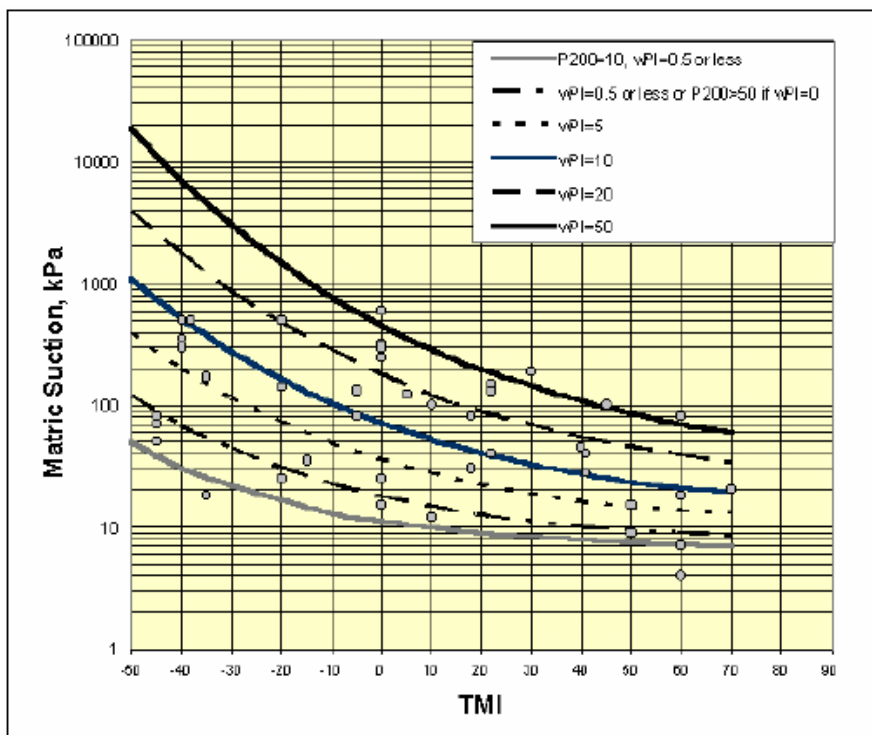
Et sett av poresugkurver (SWCC) er vist i figur 20 nedenfor. Denne figuren omfatter både plastiske, finkornige materialer og grovere, ikke plastiske materialer.

For finkornige, plastiske materialer er produktet av finstoffinnholdet (andel materiale mindre enn 0,074 mm) og materialets Plastisitetsindeks en parameter for å bestemme valg av kurve i figur 16, angitt med betegnelse wPI. For finkornige, ikke plastiske materialer er  $D_{60}$  (kornstørrelsen ved 60 % gjennomgang) en parameter.



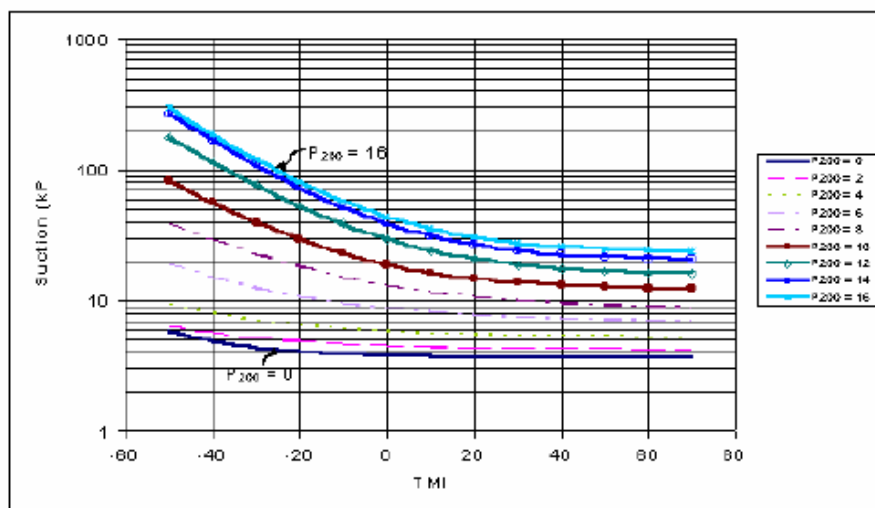
Figur 20. *Relasjon mellom poresug og grad av vannmetning i finkornige materialer, the Soil-Water Characteristic Curve (SWCC), Ref. 5.*

I versjon 1.100 av M-E PDG bestemmes poresuget ved likevekt ut fra Thornthwaite Moisture Index som vist i figur 21 og 22 nedenfor. I begge disse figurene mangler det data for TMI større enn 75. Ved en ekstrapolasjon synes det naturlig å anta relativt flate kurver slik at poresuget i relativt liten grad er avhengig av TMI.



**Figure 56**  
**TMI- $P_{200}$ /wPI Model for Subbase and Subgrade Materials**

Figur 21. Relasjon mellom Thornthwaite Moisture Index (TMI) og poresug i finkornige materialer, Ref 11



**Figure 57**  
**TMI- $P_{200}$  Model for Granular Base Materials**

Figur 22. Relasjon mellom Thornthwaite Moisture Index (TMI) og poresug i granulære materialer, Ref 11

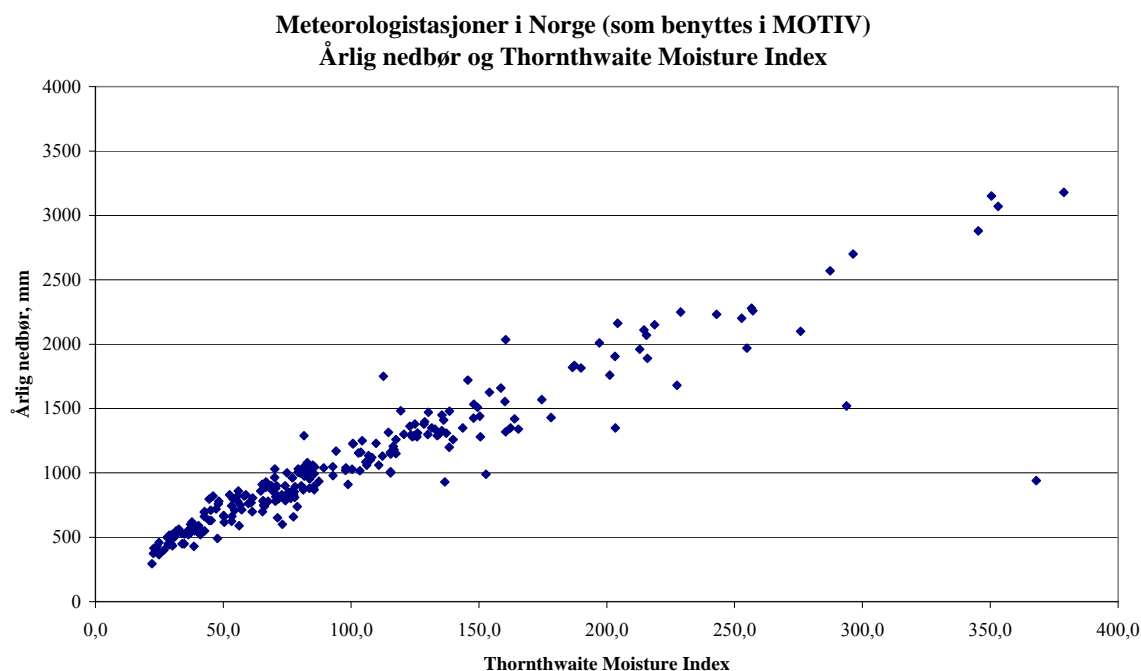
Thornthwaite Moisture Index benyttes ikke i norsk vegbygging og vegvedlikehold. TMI er utviklet for bruk i landbruket, og det er fra meteorologisk hold (Ref 12) antydnet at “tørkeindeks” kanskje hadde vært en bedre betegnelse enn fuktighetsindeks siden Thornthwaite Moisture Index opprinnelig er utviklet for å beskrive graden av

underskudd på vann i forhold til vegetasjonens behov. TMI bestemmes ut fra likningen nedenfor.

$$TMI = \frac{100 * S - 60 * D}{TE}$$

hvor S = Sum of monthly water surplus during one year  
 D = Sum of monthly water deficiency during one year  
 TE = Sum of total evaporation during one year

Figur 23 viser relasjonen mellom årsnedbør og resultatet av en forenklet beregning av Thornthwaits Moisture Index, Ref 2.



Figur 23. *Relasjon mellom Thornthwaite Moisture Index (TMI) og årlig nedbør, klimastasjoner fra Statens vegvesens MOTIV.*

Av figur 23 ser en at det er ganske mange klimastasjoner i Norge hvor beregnet TMI er større enn 75 hvor beregnet metningsgrad basert på figurene 20-22 er basert på ekstrapolasjon. Det synes ut fra dette å være vanskelig å ha noen sikker oppfatning av hvor godt modellene i M-E PDG passer for norske klimaforhold.

Det er generelt en ganske bred oppfatning i det norske vegmiljøet at nedbør og vanninnhold i materialene er av vesentlig betydning for granulære materials egenskaper og gjennom dette for vegens tilstandsutvikling. Dette synet er bl.a. underbygget av flere delprosjekter under samarbeidsprosjektet ROADEX, ref. 12.

De fleste undersøkelser har imidlertid ikke et klart skille mellom effekten av frost og teleløsning i forhold til nedbør uten frost. Det er ikke helt ulogisk at et materiale som i et klima med mye nedbør er tilnærmet vannmettet, ikke i noen vesentlig grad får reduserte deformasjonsegenskaper ved en ytterligere nedbørsøkning. Frostens negative innvirkning gjennom dannelsen av islinser og et overskudd av vann under



ting, er helt åpenbar. Når materialene pakkes sammen ved et overskudd av vann under og etter teleløsningen, vil påkjenningene fra trafikken gi et viktig bidrag til sporutviklingen i dekket.

En forsøksvis konklusjon kan være at nedbørens innvirkning på vegdekkets tilstandsutvikling isolert sett er relativt beskjeden, vesentlig mindre enn man tidligere har antatt. En annen, kanskje mer nærliggende konklusjon, er at modellene i M-E PDG ikke er godt egnet til å vurdere nedbørens betydning for tilstandsutviklingen under norske forhold. Dette kan f.eks. skyldes at modellene i betydelig grad er basert på registrert tilstandsutvikling for observasjonsstrekninger under SMP (Seasonal Monitoring Program) i USA og Canada. En annen usikkerhetsfaktor er knyttet til anvendelsen av Thorntwaite Moisture Index, en indeks som er utviklet for landbruket.

### 3.4 Trafikkens og overbygningens betydning for sporutvikling

De resultater som er presentert i figurene ovenfor, er i hovedsak knyttet til en trafikkmengde (ÅDT = 7000, 15 % tunge kjøretøy), en valgt vegoverbygning og Bæreevnegruppe 4 og 6 for materialet i grunnen. For å få et mer detaljert bilde av de faktorer som kan forventes å være av betydning for utviklingen av deformasjonsspor i vegdekket, er det gjennomført analyser av 9 forskjellige kombinasjoner av tykkelse av asfalt og granulære lag i vegoverbygningen med materialer i Bæreevnegruppe 1, 4, 5 og 6 i grunnen. Analysene er ikke gjennomført for Bæreevnegruppe 2 og 3 fordi resultatene fra de innledende analysene viste meget små forskjeller mellom Bæreevnegruppe 1 og 4. I beregninger for vegnettet, kap 3.6, er det for vegnettet med material i grunnen i Bæreevnegruppe 2 og 3 benyttet de samme forventede endringer i tilstandsutvikling som for Bæreevnegruppe 1.

De 9 forskjellige overbygningene er vist i tabell 2 og 3 nedenfor. Lagtykkelsene er valgt slik at de er mest mulig representative for spekteret av vegoverbygninger for riksveger (tidligere stamveger) og fylkesveger (tidligere øvrige riksveger og fylkesveger) slik dette fremkommer av Vegdatabankens Oppgravingsregister og Dekkeregister. For alle overbygning kombinasjoner er det forutsatt at de øverste 50 mm asfalt er et asfaltdekke, resten er forutsatt å være et bærelag av asfaltert grus (Ag).

<b>Kombinasjon nr</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Asfalttykkelse, mm	50	100	150
Tykkelse granulære lag, mm	200	500	850
Total overbygn.tykkelse, mm	250	600	1000
<b>Kombinasjon nr</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Asfalttykkelse, mm	100	150	200
Tykkelse granulære lag, mm	200	550	800
Total overbygn.tykkelse, mm	300	700	1000
<b>Kombinasjon nr</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
Asfalttykkelse, mm	150	220	300
Tykkelse granulære lag, mm	150	480	700
Total overbygn.tykkelse, mm	300	700	1000

Tabell 2. Lagtykkelser for typiske vegoverbygninger, Riksveger

<b>Kombinasjon nr</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Asfalttykkelse, mm	50	75	90
Tykkelse granulære lag, mm	150	625	910
Total overbyggn.tykkelse, mm	200	700	1000
<b>Kombinasjon nr</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Asfalttykkelse, mm	80	125	160
Tykkelse granulære lag, mm	120	575	840
Total overbyggn.tykkelse, mm	200	700	1000
<b>Kombinasjon nr</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
Asfalttykkelse, mm	150	200	250
Tykkelse granulære lag, mm	150	500	750
Total overbyggn.tykkelse, mm	300	700	1000

Tabell 3. Lagtykkelser for typiske vegoverbygninger, Fylkesveger

De detaljerte analyser er gjennomført for to klimaregioner, Region 07 med klimastasjon Stavanger, og Region 11 med klimastasjon Vest-Torpa. Disse regionene er valgt for å dekke typisk kystklima med beskjeden frost og med mye nedbør, og typisk innlandsklima i Sør-Norge med moderat nedbør, mye frost og relativt varme somre.

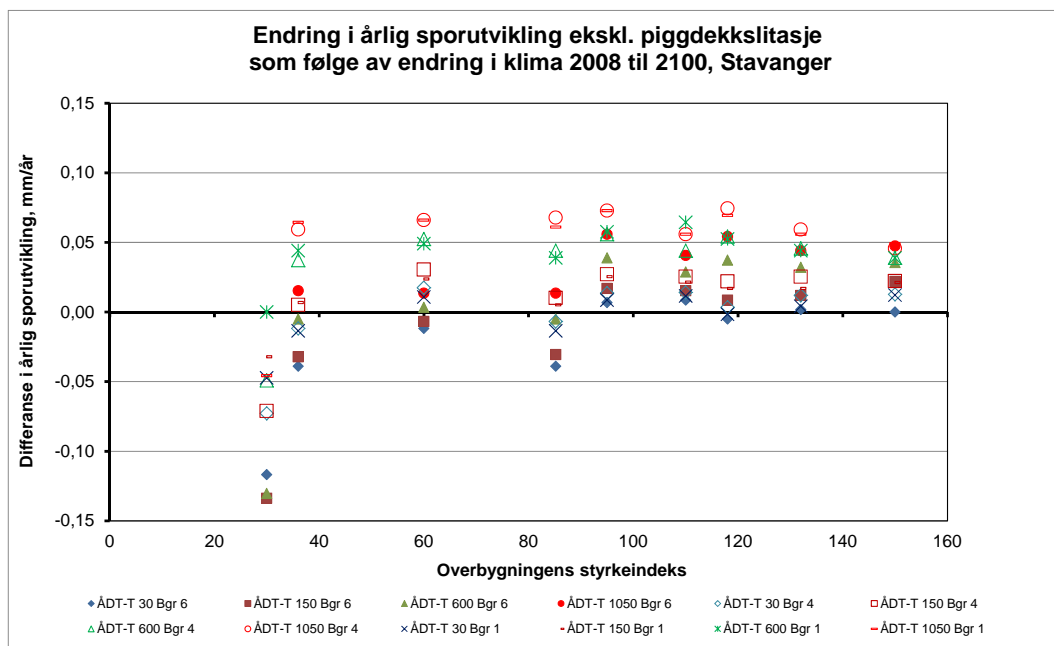
Beregningene er gjennomført for fire trafikkmengder med hensyn på tunge kjøretøy,  $\text{ÅDT}_{\text{tunge}}$  lik 30, 150, 600 og 1050. Det er viktig å være oppmerksom på at kombinasjonene av trafikkmengde, overbygninger og materialet i grunnen dekker alt fra en overdimensjonert til en betydelig underdimensjonert vegkonstruksjon i forhold til Vegnormalenes dimensjonering. Som man vil se av resultatene nedenfor, avviker resultatene for noen av kombinasjonene betydelig fra hovedtyngden av resultatene. Dette gjelder spesielt resultatene for en svak vegkonstruksjon på Bæreevnegruppe 6 med stor trafikkmengde.

Figur 24 – 33 viser beregningsresultatene for deformasjonsspor for Klimasoner 07 Stavanger og 11 Vest-Torpa. I figurene er endringene i årlig utvikling i spor på grunn av deformasjoner vist i forhold til overbygningens Styrkeindeks som er angitt langs X-aksen. I figurene er det ikke tatt med noen ekstremverdier fra beregninger hvor M-E PDG ikke synes å gi fornuftige resultater, slik det er beskrevet ovenfor. Som det fremgår av figurene, inkluderer beregningene basert på lagtykkelser angitt i tabell 2 og 3, vegoverbygninger med Styrkeindeks lik 30. Dette må sees i forhold til dimensjoneringen i Håndbok 018 som angir et minstrekrav til Bærelagsindeks lik 39 for den laveste trafikkguppen.

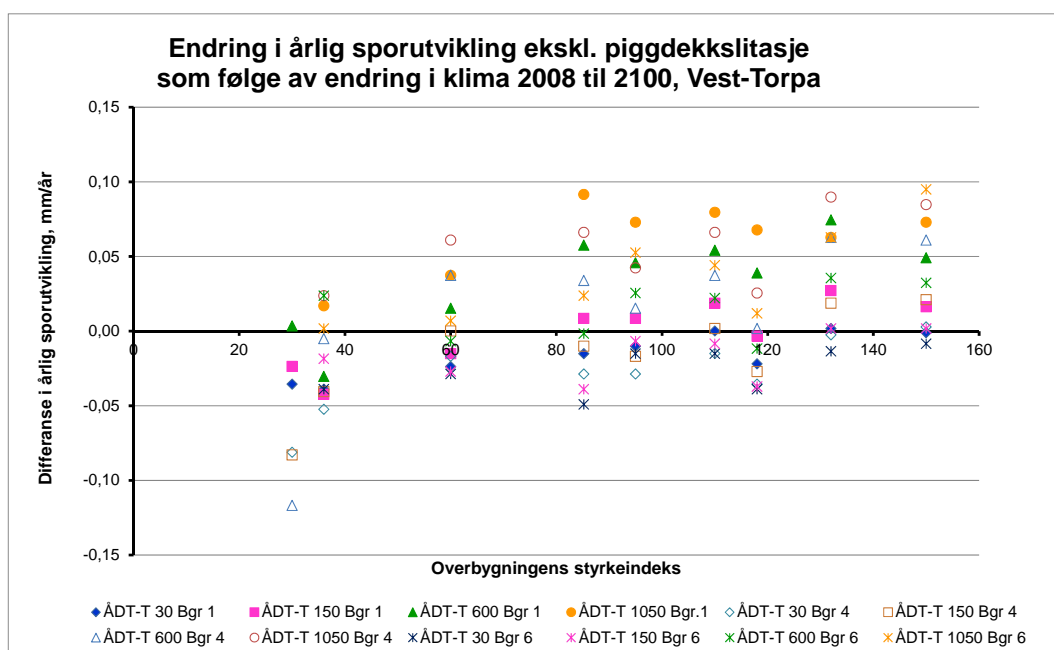
Figur 24 og 25 viser den beregnede totale sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfaltlagene, de granulære lag i overbygningen og i grunnen. Figur 26 til 31 viser deformasjonssporutviklingen splittet med hensyn på de tre komponentene av deformasjoner i asfalt, granulære lag i overbygningen og i grunnen. Figur 32 og 33 viser summen av sporutviklingen på grunn av deformasjoner i grunnen og i de granulære lag i overbygningen.

Med unntak av de svakeste vegoverbygningene viser figur 24 og 25 at klimaets innvirkning på beregnet sporutvikling er tilnærmet uavhengig av vegoverbygningens Styrkeindeks. Klimaendringene gir for de fleste beregninger en økning i sporutviklingen, men man finner også beregningsresultater med en reduksjon i den

totale sporutvikling. Figur 26 og 27 viser at den beregnede økning i sporutviklingen i det alt vesentlige skyldes økningen i deformasjoner i asfallagene på grunn av høyere sommertemperaturer.



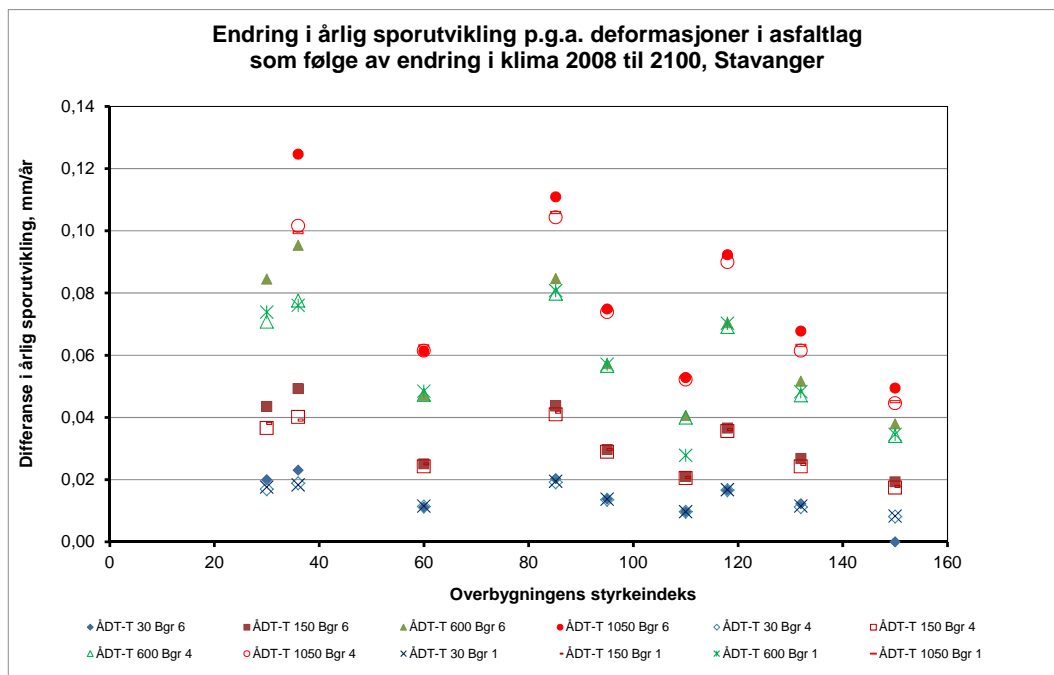
Figur 24. Endring i årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalt, granulære lag og i grunnen som følge av klimaendringer, klimasone 07 Stavanger.



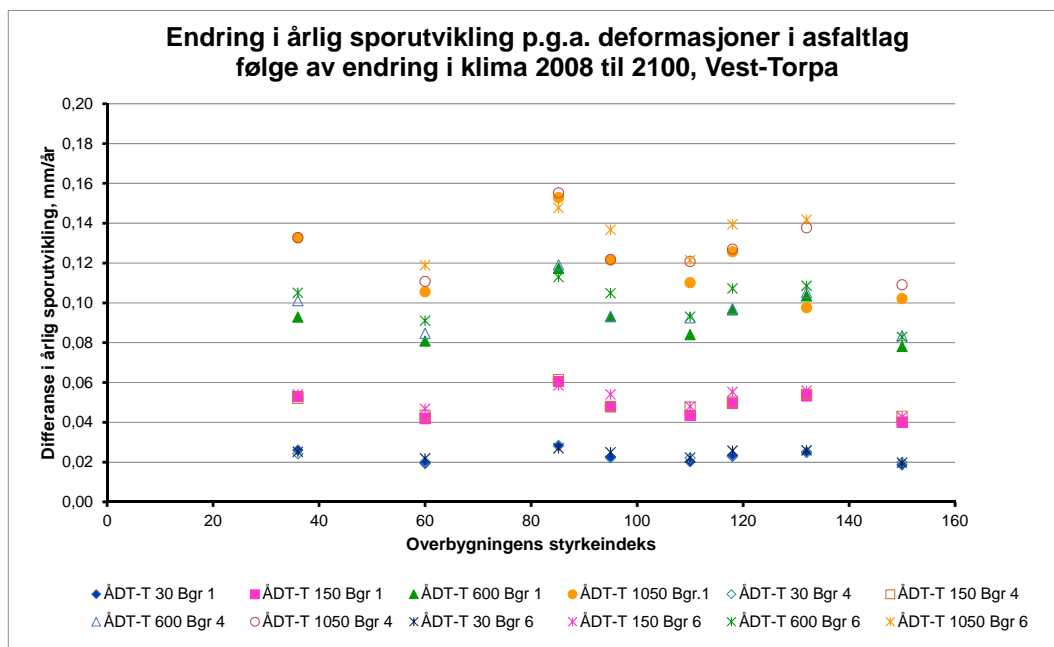
Figur 25. Endring i årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalt, granulære lag og i grunnen som følge av klimaendringer, klimasone 11 Vest-Torpa.

Figur 26 og 27 viser også at deformasjonene i asfallagene er relativt uavhengig av vegoverbygningens styrkeindeks for klimasone 11 Vest-Torpa, mens effekten av

klimaendringene synes å bli mindre ved økende styrkeindeks for klimasone 7 Stavanger. Trafikkmengden er naturlig nok av stor betydning for begge klimasonene.



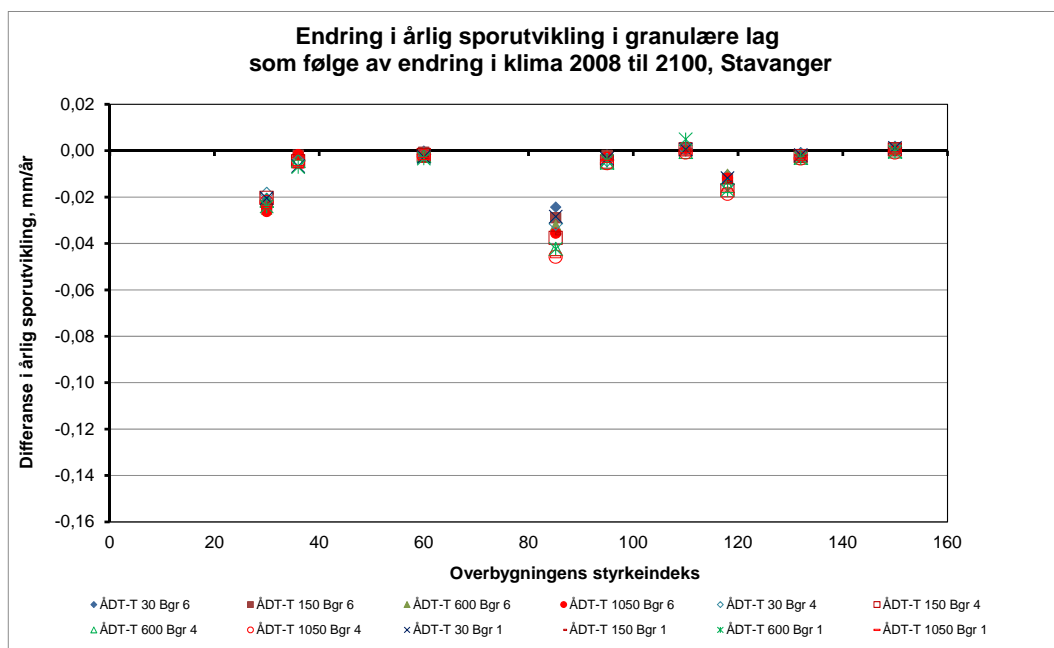
Figur 26. Endring i årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalt som følge av klimaendringer, klimasone 07 Stavanger.



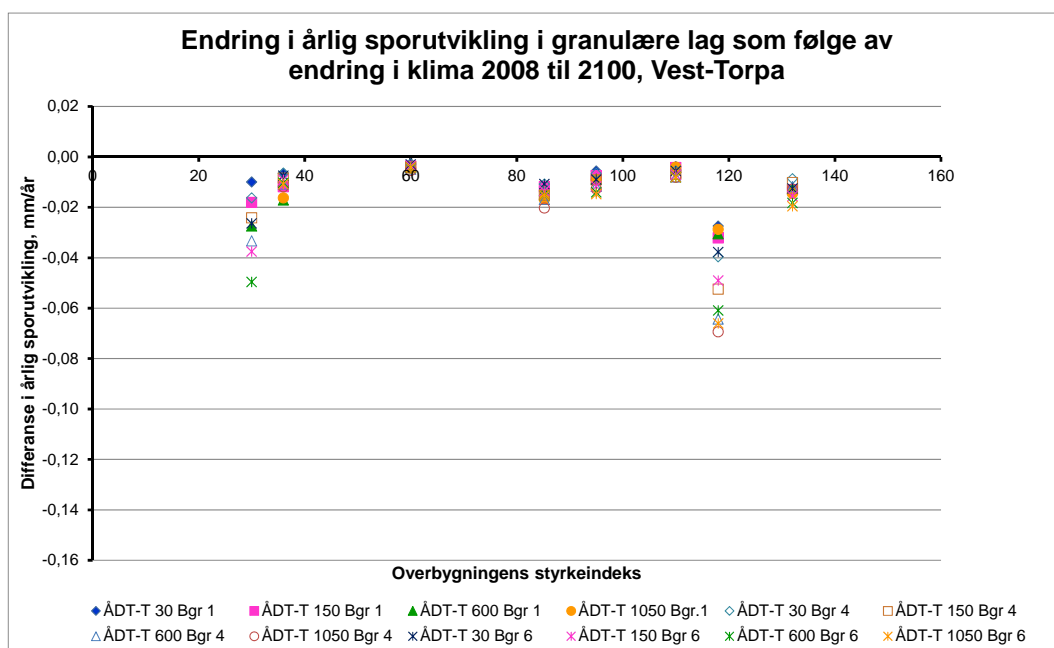
Figur 27. Endring i årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalt som følge av klimaendringer, klimasone 11 Vest-Torpa.

Figur 28 og 29 viser at klimaendringene synes å ha svært beskjeden innvirkning på sporutviklingen som skyldes deformasjoner i de granulære lag i overbygningen.

Effekten av klimaendringene er generelt meget liten, for de fleste beregninger tallmessig mindre enn 0,04 mm/år og de er negative. Man kan også legge merke til at betydningen av trafikkmengden synes å være liten. For Stavanger ser man at den største effekten av klimaendringer synes å være for overbygninger med styrkeindeks i størrelsesorden 85, men den største effekten synes på være ved Styrkeindeks i størrelsesorden 118 for Vest-Torpa. Det er ut fra figur 24 og 25 er naturlig å konkludere med at det er andre forhold enn trafikbelastninger og vegoverbygningenes styrke som er i samspill med klimaendringene når det gjelder deformasjoner i de granulære lag i overbygningen.

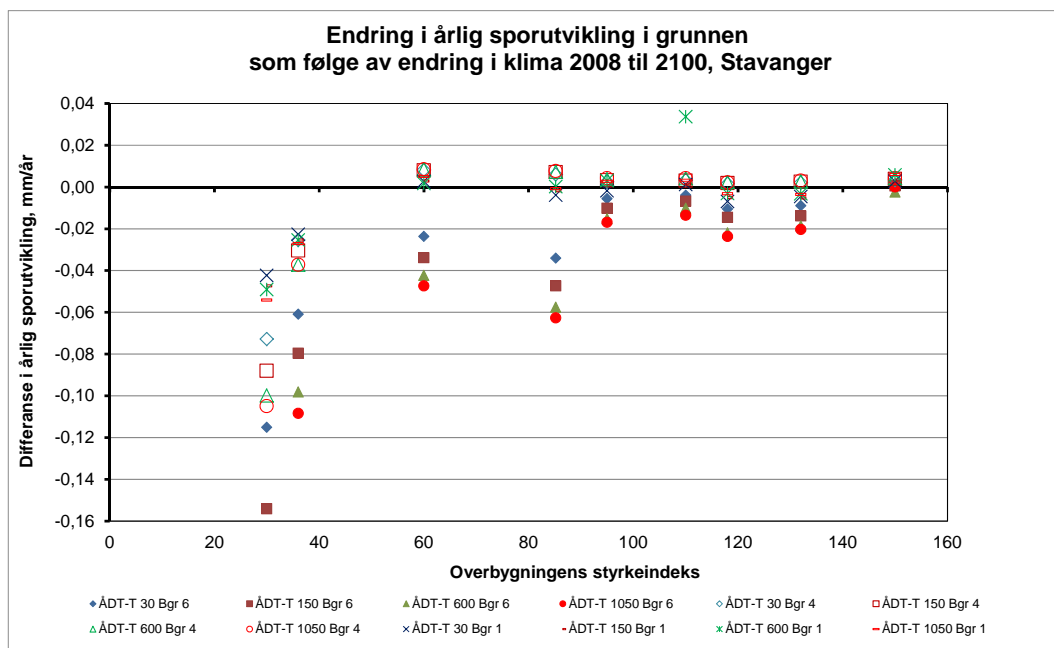


Figur 28. Endring i årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i granulære lag i overbygningen som følge av klimaendringer, klimasone 07 Stavanger.

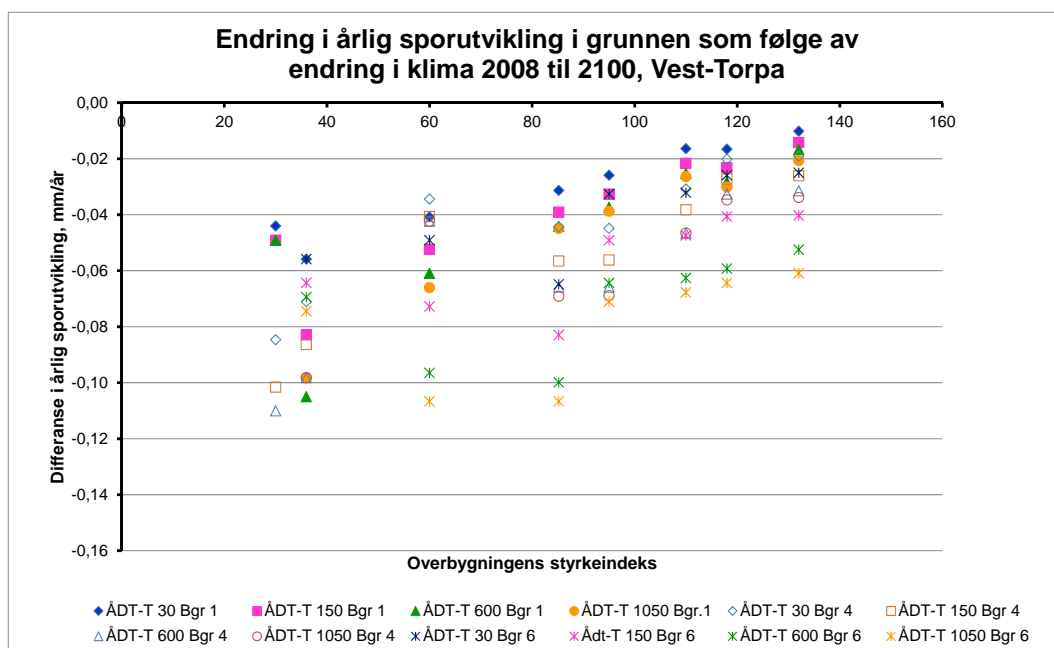


Figur 29. Endring i årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i granulære lag i overbygningen som følge av klimaendringer, klimasone 11 Vest-Torpa.

Figur 30 og 31 viser at det er relativt store forskjeller mellom Stavanger og Vest-Torpa med hensyn på innvirkningen av klimaendringer på sporutviklingen på grunn av plastiske deformasjoner i materialene i grunnen. For Stavanger er det i hovedsak negative endringer for materialene i Bæreevnegruppe 6, mens endringene er dels negative, dels positive for bæreevnegruppe 1 og 4. For de underdimensjonerte vegoverbygningene er det også for Stavanger klart negative endringer.

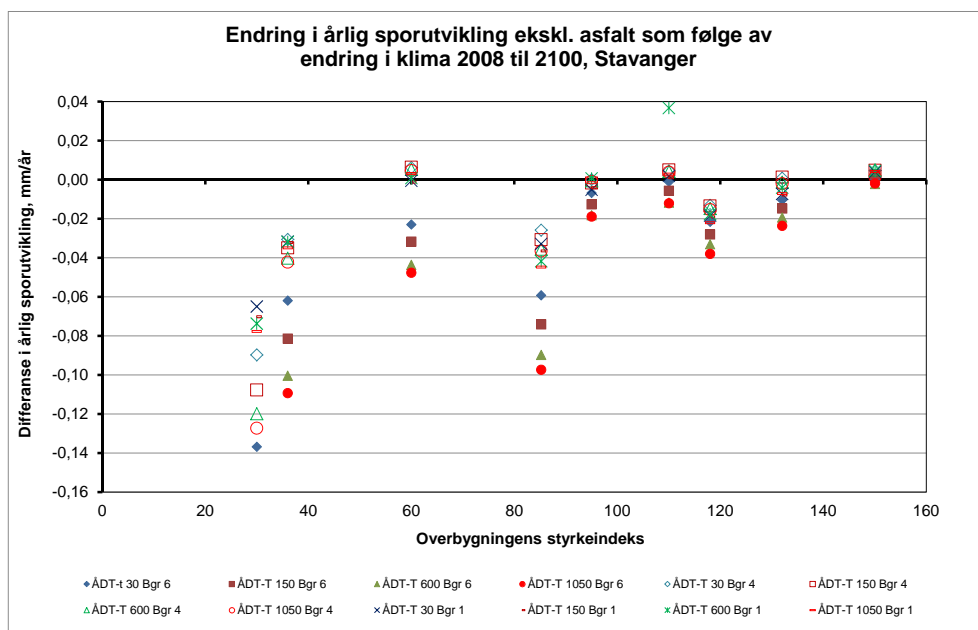


Figur 30. Endring i årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i grunnen som følge av klimaendringer, klimasone 07 Stavanger.

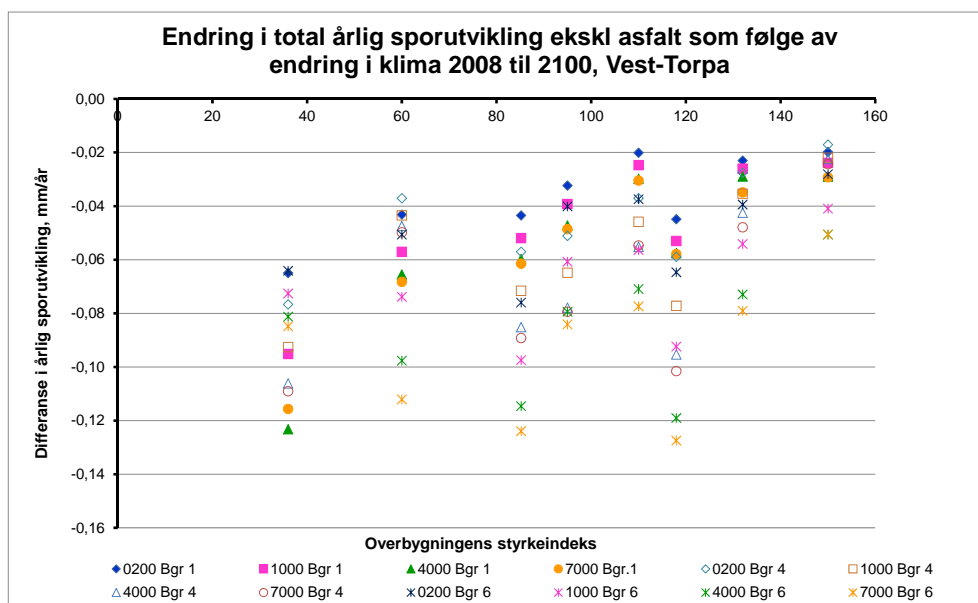


Figur 31. Endring i årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i grunnen som følge av klimaendringer, klimasone 11 Vest-Torpa.

For Vest-Torpa er endringene klart negative for alle trafikkmengder og alle kombinasjoner av vegoverbygning og grunnforhold. Effekten blir større ved økende trafikkmengde og ved svakere vegoverbygninger. Det er naturlig å knytte dette til effekten av redusert frostmengde som en følge av klimaendringer, en effekt som synes å være langt større enn effekten av mer nedbør. Svakere vegoverbygninger vil generelt bety en tynnere vegoverbygning som igjen fører til at tykkelsen på de lagene i grunnen som blir utsatt for tele blir større. Dermed blir innvirkningen på redusert bæreevne i teleløsningsperioden også større.



Figur 32. Endring i årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i grunnen og i granulære lag som følge av klimaendringer, klimasone 07 Stavanger.



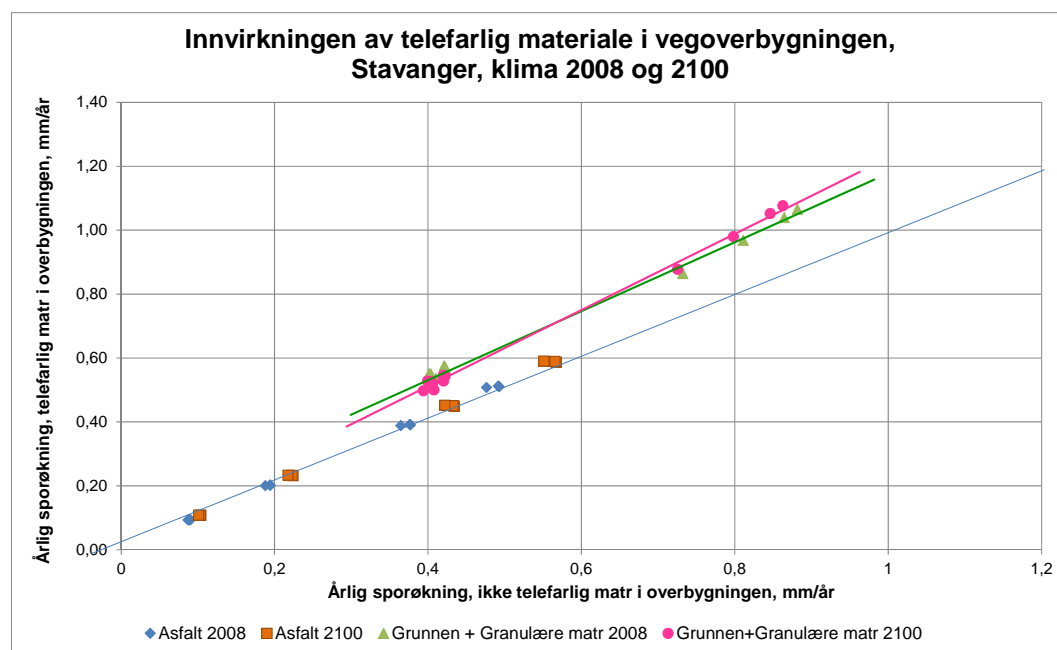
Figur 33. Endring i årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i grunnen og i granulære lag som følge av klimaendringer, klimasone 11 Vest-Torpa.

### 3.5 Telefarlige materialer i overbygningen

En betydelig del av både riks- og fylkesvegnettet har telefarlig granulære materialer i vegoverbygningen. I figur 34 til 36 er det vist noen typiske eksempler på sammenlikninger mellom beregninger basert på telefarlig materiale i vegoverbygningen i forhold til ikke telefarlig materiale i overbygningen. Resultatene i figur 34 til 36 gjelder for Bæreevnegruppe 4, 5 og 6 for materialet i grunnen. Av de tre figurene ser en at sporutviklingen på grunn av deformasjoner i asfaltlagene i svært liten grad påvirkes av hvorvidt de granulære materialene i overbygningen er telefarlige eller ikke.

Figur 34 omfatter forskjellige kombinasjoner av trafikkmengde og bæreevnegruppe for materialet i grunnen. Alle beregningsresultater i figur 34 gjelder for klimasone 7 Stavanger og samme vegoverbygning, dvs. samme lagtykkelse og materialegenskaper med unntak av telefarlig/ikke telefarlig material i forsterkningslaget. Lagtykkelsene er typisk for gjennomsnittet for fylkesveger i Norge.

Figur 34 til 36 viser at sporutvikling som skyldes deformasjoner i grunnen og i de granulære lag i vegoverbygningen, påvirkes av hvorvidt de granulære materialer i overbygningen er telefarlige eller ikke, men effekten av et evt. samvirke mellom telefarlig/ikke telefarlig materiale i overbygningen og klimaendringene synes å være minimal. Det er liten forskjell mellom beregninger basert på klimaet i 2100 i forhold til klimaet i 2008.

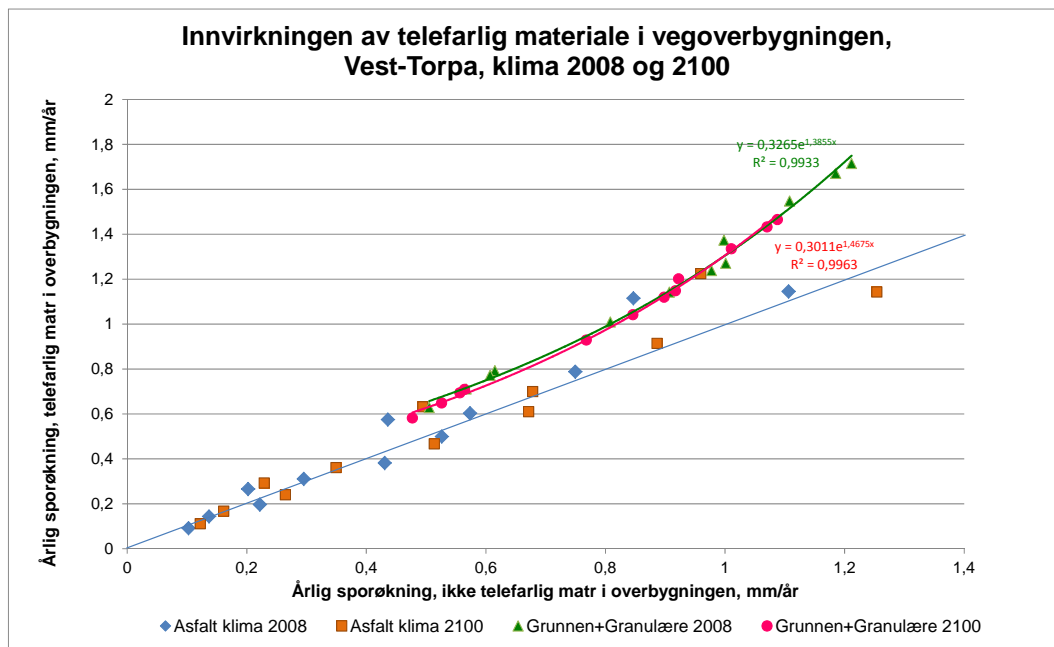


Figur 34. Årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalt og i granulære lag + i grunnen som følge av klimaendringer, effekt av telefarlig materiale i overbygningen, klimasone 11 Stavanger.

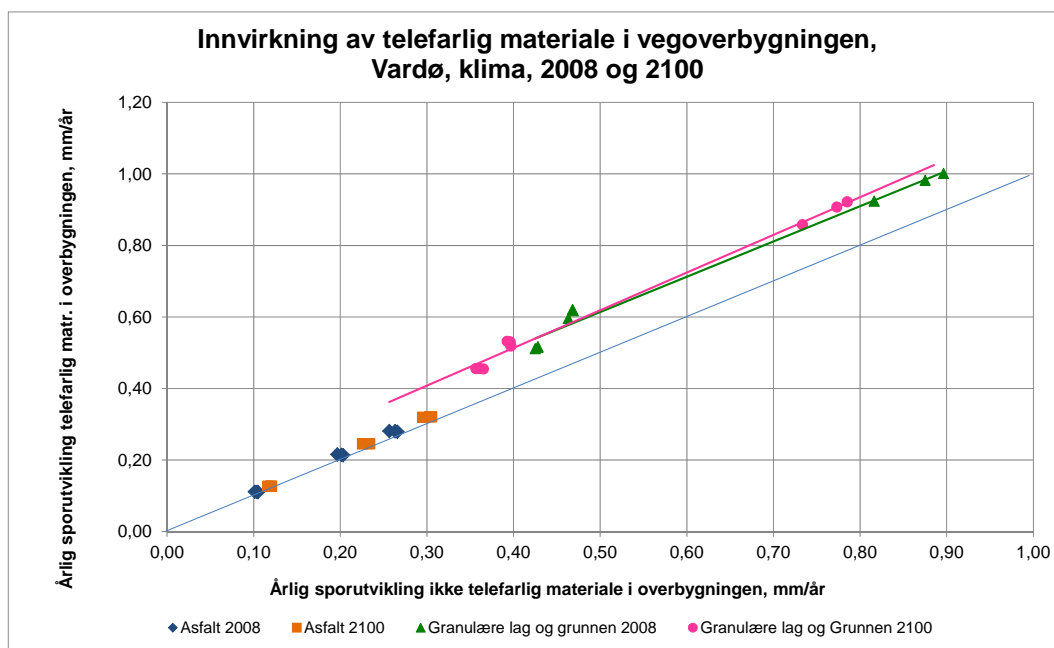
Figur 35 viser beregningsresultater for klimasone 11 Vest-Torpa. I disse analysene har man variert både lagtykkelser i overbygningen og trafikkmengdene. Alle resultatene gjelder for Bæreevnegruppe 6 for materialet i grunnen. Til tross for store forskjeller



mellom Stavanger og Vest-Torpa med hensyn til nedbør og temperatur, harmonerer resultatene i figur 31 med resultatene i figur 30. Klimaendringene påvirker i liten grad forskjellen mellom telefarlig og ikke telefarlig materiale i overbygningen med hensyn på beregnet sporutvikling på grunn av deformasjoner i grunnen og i de granulære lag i overbygningen.



Figur 35. Årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalt og i granulære lag + i grunnen som følge av klimaendringer, effekt av telefarlig materiale i overbygningen, klimasone 11 Vest-Torpa.



Figur 36. Årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalt og i granulære lag + i grunnen som følge av klimaendringer, effekt av telefarlig materiale i overbygningen, klimasone 01 Vardø.

Grunnlaget for resultatene i figur 36 er det samme som grunnlaget for figur 34 med unntak av at klimasonen. Beregningsforutsetningene er samme vegoverbygning, dvs. samme lagtykkelse og materialegenskaper med unntak av telefarlig/ikke telefarlig material i forsterkningslaget, mens trafikkmengden og Bæreevnegruppen for materialet i grunnen er variert.

Figur 34 – 36 viser at telefarlige materialer i vegoverbygningen har en markert innvirkning på forventet tilstandsutvikling med hensyn på spor, i størrelsesorden 0,1 mm/år eller mer. Effekten er sannsynligvis enda sterkere på andre tilstandsparametre som krakelering etc. Effekten av samspillet mellom telefarlig/ikke telefarlig og klimaendringer synes imidlertid å være ubetydelig i forhold til andre faktorer som påvirker tilstandsutviklingen. I en analyse hvor man ser spesielt på effekten av klimaendringer, synes det derfor ikke å være nødvendig å skille mellom telefarlig og ikke telefarlig materiale i vegoverbygningen.

Det er også gjennomført noen beregninger basert på Bæreevnegruppe 1 for materialet i grunnen. Resultatene fra disse beregningene viser at forskjellen mellom telefarlig og ikke telefarlig materiale overbygningen er vesentlig mindre enn det som er vist i figur 30-32. Også for disse beregninger synes klimaendringenes innvirkninger på beregnet sporutvikling å være ubetydelige.

### 3.6 Beregninger for vegnettet

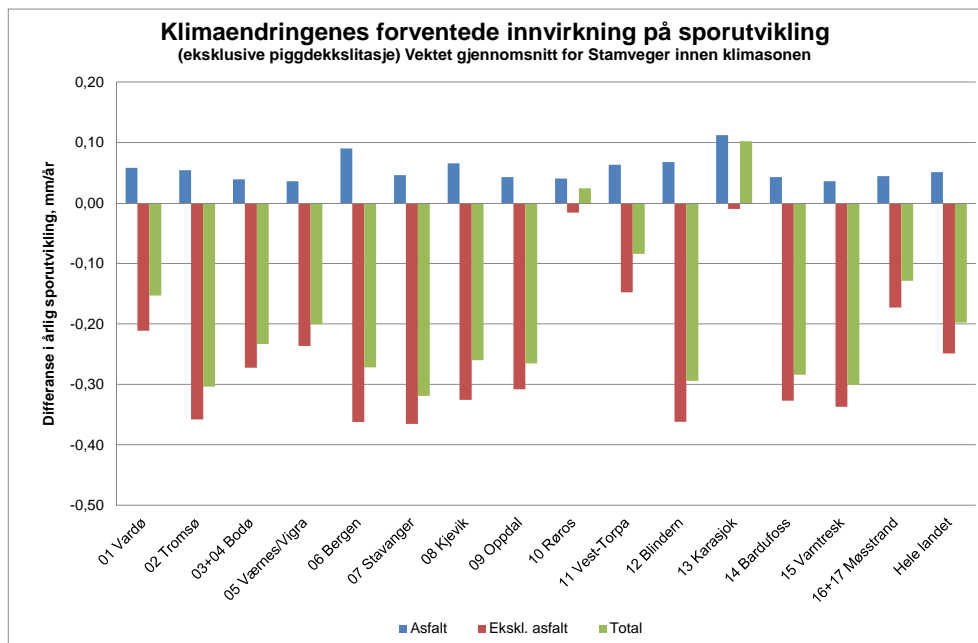
Beregninger av vektete gjennomsnitt for det norske vegnettet er basert på den inndeling man hadde før forvaltningsreformen fra 1.1.2010. Dette betyr at separate analyser er gjennomført for Stamveger, Øvrige Riksveger og Fylkesveger, med den inndeling i typiske vegstrekninger som er beskrevet i pkt. 2.6 ovenfor. Datagrunnlaget omfatter i alt 4 163 km Stamveger (48 % av veglengden), 15 298 km Øvrige riksveger (75 % av veglengden) og 8 342 km Fylkesveger (30 % av veglengden).

Med bakgrunn i de analyser som er beskrevet ovenfor, er det utarbeidet et sett av regresjonslikninger for å beskrive relasjonene klimaendringer og endringer i forventet tilstandsutvikling med hensyn på spor i vegdekket, som er den tilstandsparameter som er dominerende for dekkelevetidene på det norske vegnettet.

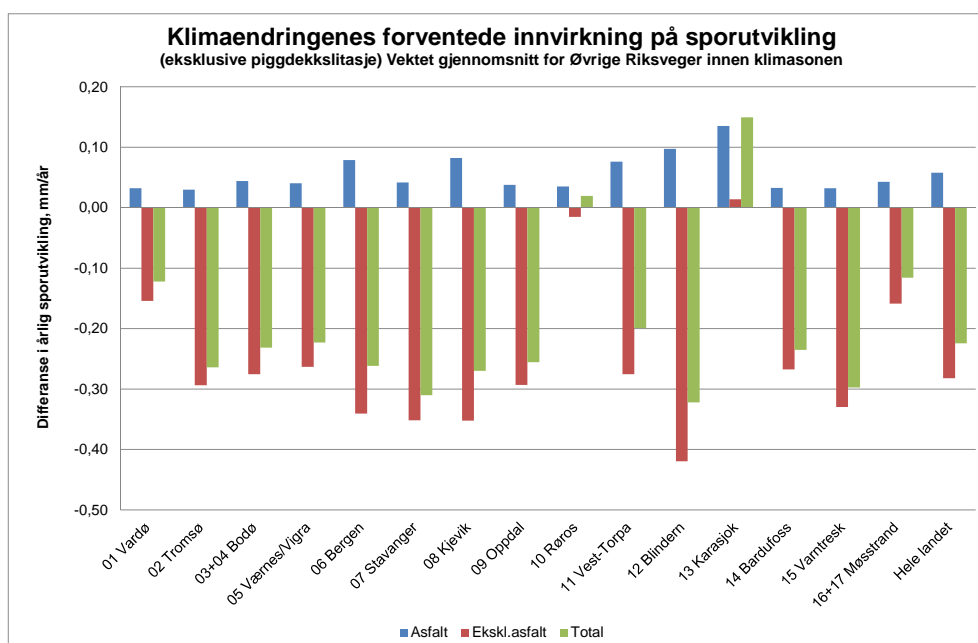
Figur 37 – 39 viser vektete gjennomsnitt for beregnede endringer i årlig sporutvikling som en følge av klimaendringene fra 2000-2008 til 2070-2100. man har valgt å gjennomføre separate analyser for Stamveger, Øvrige Riksveger og Fylkesveger (inndeling før 1.1.2010), bl.a. på grunn av de store forskjellene man har i datagrunnlaget for de tre vegkategoriene. Et begrenset datagrunnlag for Stamveger kan antagelig begrunnes med at en betydelig del av dette vegnettet har en meget god bæreevne uten behov for oppgravingsdata for å vurdere dette. Det er sannsynligvis en større usikkerhet ved beregningene for fylkesvegnettet. Et datagrunnlag som bare omfatter 30 % av det faktiske vegnettet er relativt lavt, og årsaken kan sannsynligvis ikke knyttes til god bæreevne og fravær av behov for informasjon om dette vegnettets bæreevne.

Ved vurdering av resultatene i figur 37-39 er det viktig å ta hensyn til at figurene ikke direkte viser forskjellene mellom de enkelte klimasonene med hensyn på hvordan klimaendringene innvirker på tilstandsutviklingen. I grunnlaget for figurene inngår

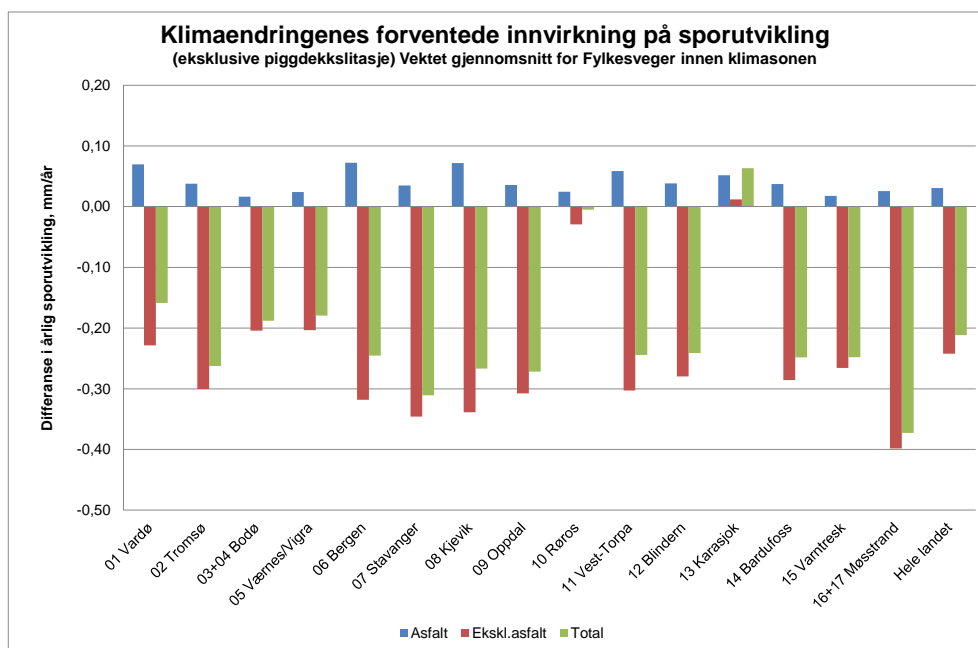
også andre viktige påvirkningsparametre som trafikkmengde, vegens oppbygning, etc. Når man f.eks. for Øvrige fylkesveger i figur 38 ser at Klimasonen 12 Blindern er den som gir størst utslag med hensyn på spor på grunn av deformasjoner i grunnen og i de granulære lag i overbygningen, er dette primært et resultat av de store trafikkmengdene i denne klimasonen. Dersom man ønsker å studere variasjonene mellom de forskjellige klimasoner, gir sannsynligvis figur 7 – 16 et bedre grunnlag.



Figur 37. Endring i årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalt og i granulære lag og grunnen som følge av klimaendringer, vektete gjennomsnitt for Stamveger innen den enkelte klimasonen.



Figur 38. Endring i årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalt og i granulære lag og grunnen som følge av klimaendringer, vektete gjennomsnitt for Øvrige Riksveger innen den enkelte klimasonen.



Figur 39. Endring i årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalt og i granulære lag og grunnen som følge av klimaendringer, vektete gjennomsnitt for Fylkesveger innen den enkelte klimasonen.

Som et grovt gjennomsnitt for hele riks- og fylkesvegnettet i Norge kan man av figurene over anta at den årlige sporutvikling på grunn av høyere sommertemperaturer og redusert deformasjonsmotstand i asfalten er i størrelsesorden 0,5 mm/år, mens den årlige sporutvikling i de underliggende lagene på grunn av endringer i nedbør og frost reduseres med ca. 0,25 mm/år. Totalt sett er den beregnede effekt av klimaendringer fra 2000-2008 til 2070-2100 en reduksjon i årlig sporutvikling i størrelsesorden 0,2 mm/år. For veier hvor sporutviklingen er bestemmende for vegdekkenes levetid, vil man etter dette få en økning i dekkelevetiden i størrelsesorden 13 – 16 %. Dette må anses som en betydelig økning i dekkelevetiden.

Det er en del variasjoner mellom klimasonene med hensyn til beregnet innvirkning på sporutvikling. Som omtalt ovenfor må man ved vurdering av de geografiske variasjoner som vises i figurene over, ta hensyn til at både trafikkmengde, klimaet, vegoverbygningens styrke og grunnforholdene er viktige påvirkningsparametre for resultatene i figur 37-39.

Klimasonen 10 basert på Røros lufthavn klimastasjon og klimasonen 13 basert på Karasjok klimastasjon, viser resultater som avviker en del fra de øvrige resultater. Man har ikke analysert mulige årsaker til dette nærmere ut over å påse at årsaken ikke ligger i mulige feil i beregningene.

### 3.7 Klimaets innvirkning på piggdekkslitasjen

Alle beregninger og vurderinger i kapitlene over er rettet mot sporutvikling som skyldes deformasjonen i grunnen og i de forskjellige lagene i vegoverbygningen. For asfaltdekket har man i tillegg en ikke ubetydelig sporutvikling på grunn av

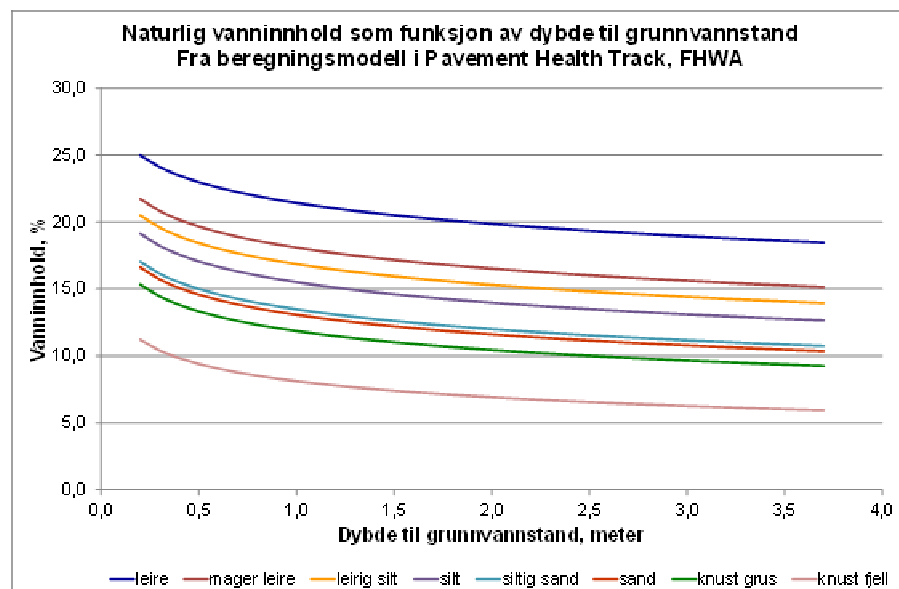
piggdekkslitasje. Denne dekkes ikke av beregningsprogrammet M-E PDG og må analyseres særskilt.

Som et grunnlag for å estimere forventet sporutvikling er et beregningsprogram fra Statens väg- og transportforskningsinstitut, VTI, benyttet, Ref. 9. 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. Grovt regnet, er det forutsatt at saltet veg har ca 25% større sporutvikling på grunn av piggdekkslitasje, enn man har på usaltet veg. Økningen i slitasjen skyldes i det alt vesentlige at antall dager med våt veg øker. I Norge viste analyser utført i 1970-årene at slitasjen på våt veg er i størrelsesorden to ganger slitasjen på tørr veg.

Klimaendringene viser at antall dager med vått vegdekke i den tiden bruk av piggdekk er tillatt (fra 1. november til uken etter påske i Sør-Norge) øker noe. Samtidig kan man forvente at mildere klima kan gi en reduksjon i piggdekkbruken, både med hensyn til antall biler som bruker piggdekk om vinteren og lengden av perioden med piggdekk for desom velger å bruke piggdekk. Det er antatt at klimaendringene i seg selv er av underordnet betydning for piggdekkslitasjen på det norske vegnettet, sett i forhold til andre faktorer som innvirker på piggdekkslitasjen. Eventuelle endringer i strategien for vinterdriften har sannsynligvis langt større betydning.

### 3.8 Grunnvannstandens innvirkning

Modellene i Pavement Health Track, Ref. 19, består av et sett av likninger, hvorav de viktigste er relasjonen mellom dybde til grunnvannstanden og det naturlige vanninnhold i granulære materialer i grunnen og i vegoverbygningen, samt vanninnholdets betydning på sporutviklingen i vegdekkene.



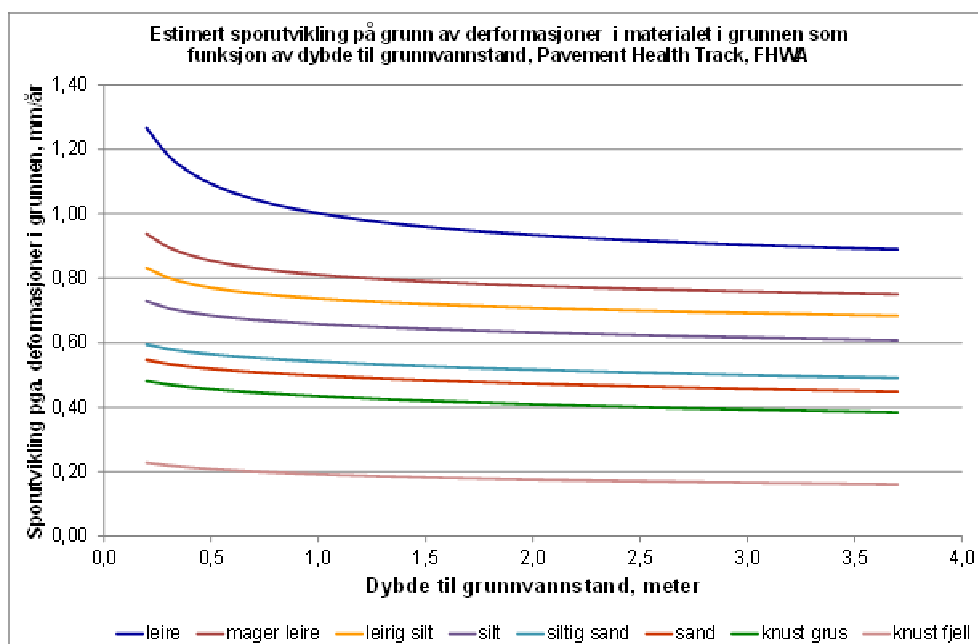
Figur 40. Relasjon mellom naturlig vanninnhold og dybde til grunnvannstand, modell i Pavement Health Track

Dersom man kombinerer resultatene i figur 40 med en del andre forutsetninger, hvorav de viktigste er:

Gjennomsnittlig årlig frostmengde:	12 000 h°C
Gjennomsnittlig årlig nedbørmengde:	600 mm
Sum ekvivalente 10 tonns aksellaster i dim.perioden:	1,5 Mill

får man relasjoner mellom årlig sporutvikling og dybde til grunnvannstanden som vist i figur 41.

Sum ekvivalente 10 tonns aksellaster i dimensjoneringsperioden tilsvarer Trafikkgruppe C i Håndbok 018.

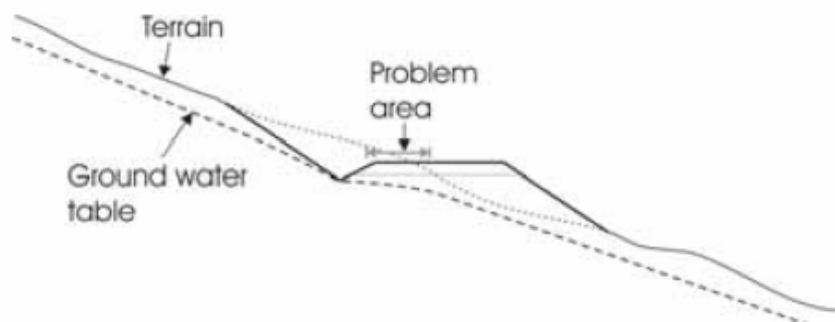


Figur 41. Relasjon mellom dybde til grunnvannstanden og beregnet årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i materialene i grunnen.

Selv om beregninger i Pavement Health Track har ambisjoner om å være universelle og uten geografiske begrensninger, består grunnlaget for etableringen av modellene av LTPP-strekninger (Long Term Pavement Performance) hovedsakelig i USA og Canada. Dette innebærer bl.a. at modellene bygger på veier med helt annen vegbredde og med annen tverrprofilutforming enn det som dominerer det norske vegnettet, og topografien omkring vegene er i stor grad også en annen.

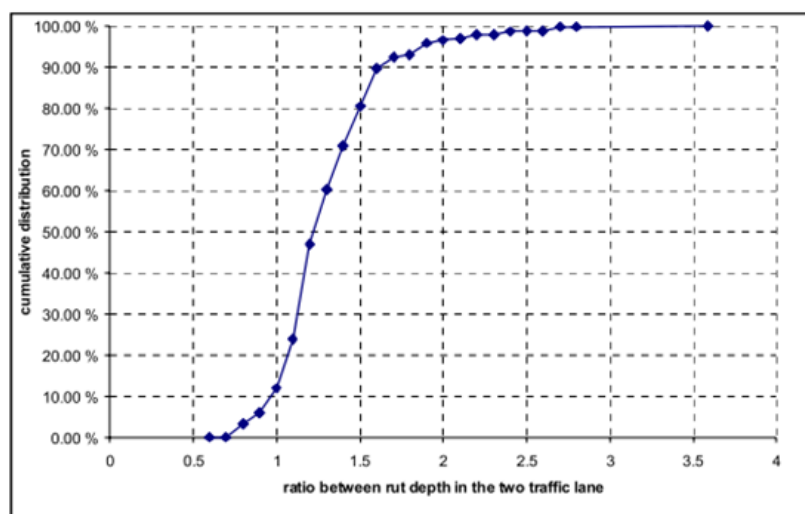
I delprosjekt Veg i Vegkapitalprosjektet ble det gjennomført et begrenset arbeid med å kalibrere beregningene i versjon 0.7 av M-E PDG til norske forhold ut fra målt sporutvikling på en del vegstrekninger. Gjennomsnittlig kalibreringsfaktor var i størrelsesorden 6,5. Dersom denne faktoren også benyttes ved estimeringen av grunnvannstandens innvirkning på sporutviklingen for vegdekkene, får man at en reduksjon i grunnvannstanden på 0,1 meter tilsvarer en økning i gjennomsnittlig sporutvikling i størrelsesorden 0,013 – 0,026 mm/år.

ROADEX-prosjektet har bl.a. analysert tilstandsutviklingen for vegger i skrånende terreng, slik dette er illustrert i figur 42.



Figur 42. Prinsippskisse for tverrprofil og grunnvannstand for veg i skrånende terreng

På vegger i skrånende terreng vil man ofte har mer alvorlig sporutvikling i det kjørefeltet som er nærmest skjæringsskråningen enn det man har i kjørefeltet på fylling. Hvor stor denne forskjellen er, avhenger bl.a. av trafikkmengde, hvor skrått terrenget er, hva slags materialer man har i grunnen og i vegoverbygningen og av grøftens tilstand. I figur 43 er denne variasjonen vist ved en kumulativ fordeling av forholdet mellom årlig sporutvikling i kjørefelt i skjæring og i kjørefelt på fylling.



Figur 43. Kumulativ fordeling for forholdstall for årlig sporutvikling for indre og ytre kjørefelt

Figur 43 viser at for 90 % av vegstrekningene i skrånende terreng som inngår i ROADEX-analysene, er sporutviklingen større i indre kjørefelt (kjørefelt i skjæring) enn i ytre kjørefelt (kjørefelt på fylling). Medianen for dette forholdet er ca. 1,25. For 20 % av strekningene er forholdstallet større enn 1,5.

Dersom man antar at dybden til grunnvannstanden i gjennomsnitt er ca. 1,0 meter mindre for indre kjørefelt (kjørefelt i skjæring) enn for ytre kjørefelt (kjørefelt på fylling), blir estimatet at en reduksjon i dybden til grunnvannstand på 0,1 meter gir en økning i den totale sporutvikling i størrelsesorden 2,5 %.

For en veg i ÅDT-intervallet mellom 1500 og 3000 er normert dekkelevetid ca. 14 år. Med et initialspor lik 5 mm, utløsende spordybde i vedlikeholdsstandarden lik 25 mm, samt et gjennomsnittlig forhold mellom 90/10-verdien og gjennomsnittlig spordybde lik 1,42, får man at den gjennomsnittlige totale sporutviklingen for vegger med ÅDT 1500-3000 er i størrelsesorden 1,0 mm per år. En økning på 2,5 % i årlig sporutvikling tilsvarer dermed en økning på 0,025 mm/år, noe som er i nærheten av det som ble beregnet ved hjelp av modellene i Pavement Health Track.

En økning i de årlige kostnader til dekkevedlikehold i størrelsesorden 2,5 %, tilsvarer en total kostnadsøkning på 30 Mill. kroner per år. Grunnlaget for denne kostnadsestimeringen er vist i Vedlegg 1.

### 3.9 Endring i grunnvannstanden ved endret klima

Grunnvannet er det vannet som fyller porene og sprekke i grunnen under oss. Grunnvannets overflate kalles grunnvannsspeilet og defineres som den flaten der grunnvannstrykket er lik atmosfæretrykket. I fjell vil ikke grunnvannsspeilet være en sammenhengende flate fordi vannet stort sett befinner seg i sprekker og hulrom. Under grunnvannsspeilet, i grunnvannssonen, regner man at alle hulrommene er fullstendig fylt med vann og sonen omtales ofte som mettet sone. Mellom grunnvannsspeilet og overflaten, i markvannssonen, er derimot hulrommene delvis fylt med luft og vannet befinner seg på kornoverflatene i løsmassene og på bergflatene i fjellet. Derfor kalles markvannssonen for umettet sone. (ref. [www.grunnvann.no](http://www.grunnvann.no)). Markvannssonen er ikke behandlet videre i dette notatet.

I det videre brukes begrepet grunnvannsmagasin. Dette betegner mengden/dybden grunnvann, og endring i grunnvannsmagasin referer seg til grunnvannsspeilet og endring i dybden i forhold til overflaten finner dette.

#### 3.9.1 Årlig variasjon i grunnvannsmagasin

NVE drifter et landsomfattende mark- og grunnvannnett med om lag 80 målepunkt hvor grunnvannsstand overvåkes (Opedahl / Colleuille, 2009).

Studier av et utvalg av målepunktene fra <http://www2.nve.no/h/hd/plotreal/GRW/plotoversikt.html> viser variasjoner i grunnvannsmagasinene gjennom året. Variasjonene er lokalt betinget. Generelt ser det ut til at den årlige variasjonen i grunnvannstanden ligger mellom 1 og 2 meter, men med unntak. Et fåtall av målepunktene har små årlige variasjoner på bare noen centimeter, mens andre igjen varierer med 5-6 meter. Hvordan grunnvannsmagasinet endrer seg gjennom året varierer også lokalt. Dersom det søkes etter felles nevner kan det trekkes ut at de fleste punktene har et maksimum på våren (april, mai med snøsmelting og tele som tiner) og et minimum på tidlig høst etter tørke gjennom sommeren, men det finnes mange unntak.

Figur 44 viser tilfeldige eksempler fra Eikamoen (Telemark), Abrahamsvoll (Oppland), Dombås (Oppland) og Karasjok (Finnmark). De to punktene i Oppland viser et maksimum i mai-juni og minimum grunnvannstand i april, mens de to andre viser henholdsvis maksimum i oktober (Eikamoen) og januar/februar (Karasjok).



Figurene illustrerer også at grunnvannstanden er lokalt betinget ved at dybden enkelte steder ligger på 8-10 meter, mens man andre steder finner grunnvann bare ett par meter under overflaten.

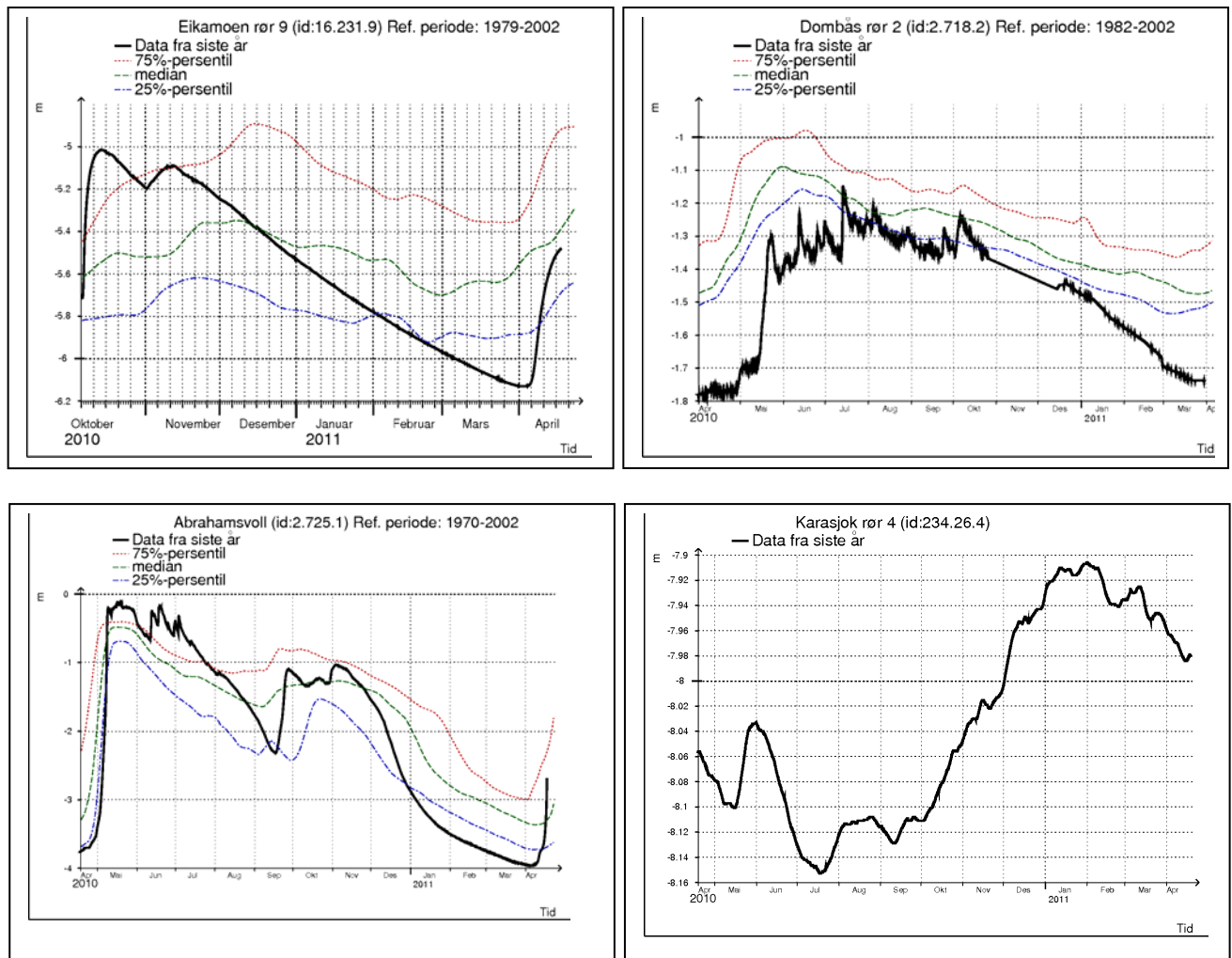


Fig.44: Variasjon over året i grunnvannsdypde i målepunktene på Eikamoen, Dombås, Abrahamsvoll og Karasjok.

### 3.9.2 Endring i grunnvannmagasin fra 1961-1990 til 2071-2100

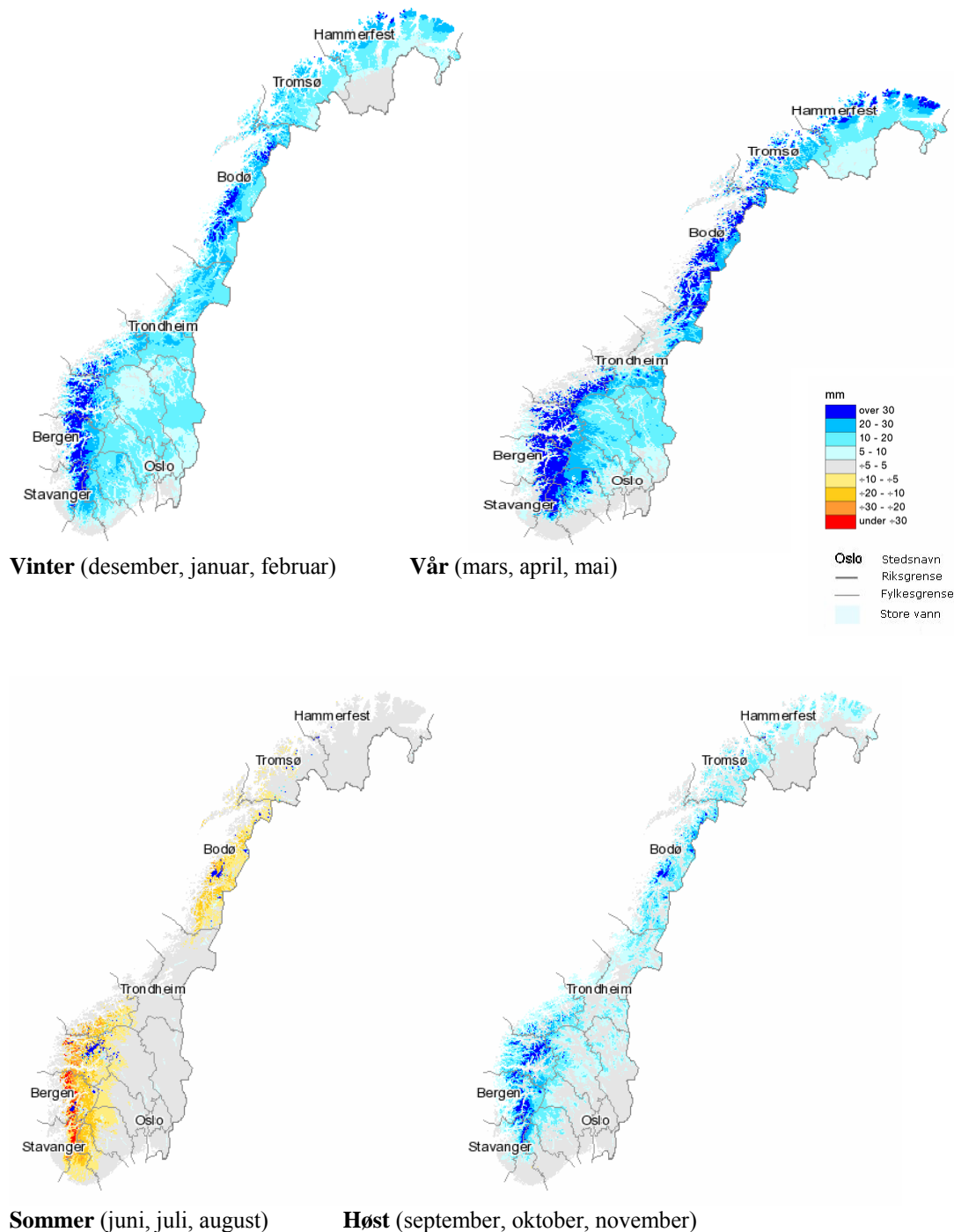


Fig.45 Forventet endring i grunnvannsmagasinet per årstid fra normalperioden 1961-1990 til perioden 2071-2100. (senorge.no(temalag fra NVE))

### 3.9.3 Datagrunnlag og kilder

Kartene på figur 45 er basert på den globale klimamodellen ECHAM4/OPYC3 fra det tyske Max-Planck-Institut für Meteorologie, den regionale klimamodellen HIRHAM,

IPCC SRES scenario B2 for økning i drivhusgasser i atmosfæren og den hydrologiske modellen HBV. Temaet er behandlet av NVE og presentert på [www.senorge.no](http://www.senorge.no).

Basis for de prognostiserte endringene er normalperioden fra 1961 til 1990. I andre deler av Klima og transport prosjektet er det sett på en normalperiode fra 2000 til 2008. Det er vist at denne perioden har bestått av et varmere og våtere klima (nasjonalt) enn tidligere. Dette betyr at noe av den forventede endringen prognostisert på grunnlag av tidligere normalperiode allerede har eller kan ha inntruffet, og dermed at den forventede endringen illustrert på kartene over kan være mindre med referanse til dagens dato enn det som vises over.

### 3.9.4 Funn og diskusjon, årstidsvariasjon

Figurene viser at det på nasjonal basis er forventet at de største endringene i fremtiden skjer vinter og vår og med størst endring på Vestlandet, litt inn fra kysten. I sommermånedene vil grunnvannsmengden avta i forhold til i dag, mens det i resten av året vil skje en økning.

Fra figuren som viser forventet endring på våren (mars, april og mai) ser vi at det i store områder er forventet en økning i grunnvannsmagasiner langs kysten av Norge på mer enn 30mm relativt til nivået i normalperioden fra 1961-1990. For de indre strøkene i Sør-Norge er endringen forventet å ha en størrelse på mellom 0 og 30mm.

På høsten vil også endringen være positiv, med andre ord en økning i grunnvannsmagasiner, men av en mindre størrelsesorden landet sett under ett enn tilfelle er på vinter og vår. I sommermånedene er det forventet en reduksjon i grunnvannsmagasiner på Vestlandet og i Nordland. På Vestlandet kan endringen bli på mer enn 30mm, mens det i Nordland vil kunne bli en endring på maksimalt 20mm dersom prognosene slår til.

Det er med andre ord Vestlandet som får de største endringene både sommer, høst, vinter og vår og den årlige variasjonen blir derfor større i fremtiden enn den er i dag i disse områdene.

Det faktum at grunnvannsstanden varierer lokalt vil være av stor viktighet i forhold til hvilken betydning en endring i klima vil ha. Dersom grunnvannet ligger 8-10 meter under overflaten vil en heving på 2-3cm ha betraktelig mindre betydning enn dersom ordinært grunnvann har en overflate på 0,5 meters dyp.

## 4 Konklusjoner

Resultatene av de beregninger som er gjennomført ved hjelp av the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide fra FHWA i USA, med inngangsdata basert på norske forhold med hensyn til klimaendringer, trafikkmengder, tungtrafikkens sammensetning og materialegenskaper for vegoverbygningen, indikerer at klimaendringene totalt sett ikke påvirker tilstandsutviklingen negativt.

Når man vurderer beregnet tilstandsutvikling i forhold til de faktorer som forventes å påvirke tilstandsutviklingen, slik de f.eks. er presentert i figur 24-33, får man et relativt uklart bilde. Dette stemmer på mange måter godt med hva man burde forvente

ut fra den komplekse situasjon man har i en vegoverbygning hvor mange faktorer virker sammen. Trinnvise beregninger av tilstandsutviklingen, slik M-E PDG er bygget opp, er sannsynligvis helt nødvendig for å kunne fange opp samspillet mellom de mange faktorer som påvirkertilstandsutviklingen og hvordan disse varierer over døgnet, over året og gjennom vegens dimensjoneringsperiode. Ut fra dette burde M-E PDG være særlig godt egnet til å estimere konsekvenser av endret klima for tilstandsutviklingen på vegger med fast dekke.

Som en følge av høyere sommertemperaturer får man en ikke ubetydelig økning i sporutviklingen på grunn av deformasjoner i asfaltlagene. Innvirkningen på årlig sporutvikling er for hele vegnettet i størrelsesorden 0,05 mm/år. Temperaturøkningene om vinteren er imidlertid minst like store som økningen om sommeren. Når man i tillegg vet at det meste av endringene i asfaltens deformasjonsegenskaper foregår i de øverste deler av asfaltlagene, vil det være godt mulig å kompensere for effekten av klimaendringene ved å benytte stivere bindemiddel ved det fremtidige dekkevedlikeholdet. Med en gjennomsnittlig dekkelevetid på 12-14 år vil man ha gode muligheter for å ta i bruk dette virkemiddelet for hele vegnettet. I dette inngår også at de vegger hvor sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfaltlagene er størst, også har mest trafikk og kortest gjennomsnittlig dekkelevetid.

For sporutvikling på grunn av deformasjoner i materialene i grunnen og i de granulære lag i vegoverbygningen, viser beregningene av man kan forvente en positiv utvikling. Den fremtidige sporutvikling er mindre enn den man har i dag. Årsaken til dette kan knyttes til to forhold. For det første er den beregnede effekt av økningen av årlig nedbør, mindre enn man tidligere hadde antatt. Det andre er at en vesentlig del av sporutviklingen kan relateres til redusert bæreevne i teleløsningsperioden om våren og den omlagring og sammenpakking som finner sted i materialene i grunnen og i de granulære lag i overbygningen under og i lang tid etter at all tele er ute av vegoverbygningen. Fra tidligere analyser av data for vegenes jevnhet i lengdeprofilen (IRI) har man erfart at prosessen med sammenpakking av materialene for store deler av vegnettet pågår frem mot slutten av juni måned. Dersom man antar at påkjenningene fra tungtrafikken er en viktig faktor i den omlagring og sammenpakking som finner sted, er det ikke ulogisk at frosten er en viktig parameter for sporutviklingen på vegnettet.

De forventede klimaendringer gir en vesentlig reduksjon i forventede frostmengder, som vist i figur 4. Reduksjonene i frostmengdene er sannsynligvis den viktigste årsak til at beregningsresultatene viser en mindre sporutvikling i fremtiden enn man har under dagens klima. I tillegg kommer at man over året generelt sett også får færre dager hvor temperaturen veksler rundt 0°C, noe som totalt sett må antas å gi mindre problemer med lokale teleløsninger gjennom året.

For hele riks- og fylkesvegnettet samlet gir klimaendringene en gjennomsnittlig reduksjon i forventet sporutvikling i størrelsesorden 0,2 mm/år, noe som medfører en økning i dekkelevetiden i størrelsesorden 13 – 16 %. Dette må anses som en betydelig økning. En økning i dekkelevetiden i denne størrelsesorden tilsvarer en besparelse i dekkevedlikeholdskostnadene på 150 – 200 Mill. kroner per år.

Det er viktig å ta hensyn til at konklusjonene over er basert på beregninger gjennomført ved hjelp av beregningsprogrammet M-E PDG fra USA. Selv om det er lagt vekt på å få modellene i programmet kalibrert til norske forhold, er det mange usikkerheter knyttet til selve kalibreringen og vurderingene av de materialeegenskapene

som er benyttet i analysene. Dette kan f.eks. skyldes at modellene i betydelig grad er basert på registrert tilstandsutvikling for observasjonsstrekninger under SMP (Seasonal Monitoring Program) i USA og Canada. En annen usikkerhetsfaktor er knyttet til anvendelsen av Thornthwaite Moisture Index, en indeks som er utviklet for landbruket. Thornthwaite Moisture Index er først og fremst utviklet for landområder hvor det er underskudd av fuktighet, noe som bl.a. medfører at det meste av norsk klima representerer en ekstrapolering i forhold til grunnlaget for relasjonene i M-E PDG. En grundig tilpasning av M-E PDG til norske forhold vil kreve en innsats som langt overgår det som kan inngå i dette delprosjektet i etatsprogrammet Klima og transport.

Usikkerhetene ved å anvende modellene i M-E PDG for å estimere tilstandsutviklingen for det eksisterende norske vegnettet er også knyttet til vegens geometri og plassering i terrenget. De fleste LTPP-strekninger som utviklingen av modellene bygger på, er brede sammenliknet med det norske vegnettet. Strekningenes plassering i terrenget, utformingen av sidegrøfter, etc. er i henhold til vegbyggingskravene, i motsetning til store deler av det norske vegnettet. Det er neppe noen tvil om at smal veg, dårlige eller manglende sidegrøfter, telefarlige materialer i vegoverbygningen etc. er svært ugunstig for tilstandsutviklingen på det norske vegnettet. De årlige målinger av spor og jevnhet på det norske vegnettet, viser tilstandsutviklinger som for svært store deler av vegnettet gir dekkelevetider som er vesentlig kortere enn hva man forventer av en riktig dimensjonert og bygget veg. Unormalt korte dekkelevetider gir unormalt høye kostnader til dekkevedlikeholdet for vegnettet. Med de forbehold som er beskrevet ovenfor med hensyn på M-E PDGs modeller og deres gyldighet for det norske vegnettet, indikerer beregningene i de analyser som er beskrevet i denne rapporten, at klimaendringene sannsynligvis ikke forverrer de forhold som i utgangspunktet er svært ugunstige for tilstandsutviklingen på det norske vegnettet med fast dekke.

Effekten av en endring i dybden til grunnvannstanden er i Kap. 3.8 og 3.9 behandlet separat og isolert fra de andre påvirkningsfaktorer. I Kap 3.8 ble økning i de årlige kostnader til dekkevedlikeholdet på riks- og fylkesvegnettet i Norge beregnet til 30 Mill kroner per år ved en økning i gjennomsnittlig grunnvannstanden på 0,10 meter.

En dominerende del av sporutviklingen finner sted i løpet av våren. Av den grunn må man anta at endringen i dybde til grunnvannstanden om våren er bestemmende for den årlige sporøkningen. Ut fra figur 45 kan man grovt anta at en reduksjon i dybde til grunnvannstanden i størrelsesorden 25 mm er representativt for gjennomsnittet på det norske vegnettet. Dette gir da en økning i dekkevedlikeholdskostnadene på ca. 0,8 %, noe som tilsvarer ca. 10 Mill kroner per år.

## Litteraturliste

- 1 Per Otto Aursand og Ragnar Evensen  
*Klimaets påvirkning på tilstandsutviklingen for vegdekker – E 136*  
Rapport 2599 Teknologidivisjonen, Vegdirektoratet, 2010
- 2 Geir Berntsen og Ragnar Evensen  
*Vurdering av EDB-system for beregning av nedbrytning av veg*  
Rapport 2520 Teknologidivisjonen, Vegdirektoratet, 2007
- 3 Nasjonal Transportplan 2010-2019.  
*Virkninger av klimaendringer for transportsektoren.*  
Rapport fra tverrfaglig arbeidsgruppe. mai 2007  
Avinor, Jernbaneverket, Kystverket, Statens vegvesen
- 4 *Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpasning.*  
Norsk klimasenter, foreløpig utgave Juni 2009
- 5 Zapata C. E and Houston W. N.  
*Calibration and Validation of the Enhanced Integrated Climatic Model for Pavement Design*  
NCHRP Report 602, Washington 2008
- 6 Houston W. N., Mirza M. W. and Zapata C. E  
*Project no. 9-23. Environmental Effects in Pavement Mix and Structural Design Systems. Calibration and Validation of the ICM Version 2.6*  
Preliminary Draft Final Report, Part 2.  
NCHRP Washington, October 2006
- 7 NCHRP Project 1-37A  
*Mechanistic\_Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement structures*  
<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/mepdg/software.htm>
- 8 Johansen J. M., Evensen R., Sund E. og Saba R. G  
*Tilstandsutviklingsmodell for vegfundament og vegdekke*  
Vegkapital, Delprosjekt VEG  
Oppdragsrapport, Vegdirektoratet 2005
- 9 Jacobson T, och Wågberg L-G  
*Utveckling och uppgradering av prognosmodell för beläggningsslitage från dubbade däck samt en kunnskapsöversikt över innverkande faktorer. Version 3.2.03*  
Statens väg- och transportforskningsinstitut, VTI-notat 7-2007
- 10 Houston W. N. et al  
*Environmental Effects in Pavement Mix and Structural Design Systems.*  
Part 1 of Contractor's Final Report for NCHRP Project 9-23  
NCHRP Document 113, Washington, September 2005

- 11 Houston W. N, Mirza M. W. and Zapata C. E  
*Environmental Effects in Pavement Mix and Structural Design Systems. Calibration and Validation of the ICM Version 2.6*  
Preliminary Draft, Final Report, Part 2  
NCHRP Project no 9-23, October 2006
- 12 ROADEX-prosjektene ROADEX Pilot Project og ROADEX II  
<http://www.roadex.org>
- 13 Titus-Glover L. Et al.  
*Pavement Health Track (PHT), Remaining Service life (RSL) Forecasting Models, Technical Information*  
Federal Highway Administration, Office of Asset Management  
May 2010
- 14 *Pavement Health Track (PHT), Graphical User Interface User's Guide and Hands-On Workbook*  
Federal Highway Administration, Office of Asset Management  
May 2010
- 15 Eric Oscarsson  
*Evaluation of the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide model for permanent deformations in asphalt concrete*  
International Journal of Pavement Engineering, Vol 12 No. 1 Feb 2011
- 16 Lars-Göran Wågberg  
*Utveckling av nedbrytningsmodeller. Sprickinitiering och sprickpropagering*  
VTI Meddelande 916-2001, Väg- och transportforskningsinstitutet, Sverige
- 17 Nils-Gunnar Göransson  
*Tilstandsuppföljning av observationssträckor. Datainsamling, lägesrapport 2010-12*  
VTI Notat 1-2011, Väg- och transportforskningsinstitutet, Sverige
- 18 *Pavement Health Track (PHT). RSL Forecasting Models. Technical Information.*  
Federal Highway Administration, Office of Asset Management, May 2010
- 19 Geir Berntsen og Timo Saarenketo  
*Drainage on Low Traffic Volume Roads. Problem description, improvement techniques and life cycle costs*  
ROADEX II; april 2005

# Vedlegg 1 Klima og transport, effekt av mulig endring i grunnvannstand

Notat til: Gordana Petkovic                      Vegdirektoratet  
Fra:        Anette H Mahle                      ViaNova Plan og Trafikk AS  
            Tor Erik Saltnes                     ViaNova Plan og Trafikk AS  
            Ragnar Evensen                      ViaNova Plan og Trafikk AS  
Dato: 12.        mai 2011

## 1 Innledning

FoU programmet 'Klima og transport, delprosjekt 5.3 "Virkninger endret klima har for veger med bituminøst dekke" har gjennomført analyser av de innvirkninger som forventede klimaendringer sannsynligvis har på tilstandsutviklingen med hensyn på spor i vegbanen, og gjennom dette på forventede dekkelevetider for riks- og fylkes vegnettet i Norge.

Analysene er gjennomført ved hjelp av beregningsprogrammet Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, M-E PDG, utviklet for Federal Highway Administration i USA, men med inngangsdata som er representative for norske forhold med hensyn til trafikk og klima. I disse analysene inngår klimaforholdene i beregningsgrunnlaget gjennom nedbør, sol, vind og temperatur, men dybde til grunnvannstanden inngår ikke som selvstendig parameter i nåværende versjon av programmet. Bl.a. av den grunn ønsker Vegdirektoratet å supplere arbeidet gjort i 'Klima og transport' med:

- En overslagsmessig beregning av kostnader for å opprettholde dagens dekkestandard forutsatt samme vedlikeholdsstandard og drenering (grøfter, stikkrenner) som i dag, men med endret grunnvannsnivå som følge av klimaendringene. Beregningene gjennomføres som en følsomhetsanalyse som ser på hvordan varierende dybde til grunnvannstand påvirker dekkelevetid.
- Det bør gjøres et estimat over hvor mye grunnvannstanden vil øke i endret klima.
- Det skal også gjøres et grovt estimat av kostnader knyttet til nødvendig utbedring av drenering (i forhold til dagens situasjon) for å forebygge eventuell reduksjon av dekkelevetid. Beregningene skal omfatte riks- og fylkesvegnettet med bituminøst dekke.

Dette notatet har som mål å utrede de problemstillinger som er omtalt ovenfor, på en best mulig måte innen for de gitte tids- og kostnadsrammer. Det presiseres at endret klima er vurdert i henhold til beskrivelsen i rapporten "Klima i Norge 2100", av Norsk klimasenter, juni 2009.



## 2 Dybde til grunnvannstand - dekkelevetid

### 2.1 Modellgrunnlag

Det finnes i litteraturen rapporter fra en rekke analyser som viser hvilken innvirkning vanninnholdet i grunnen og i de granulære lag i vegoverbygningen har på tilstandsutviklingen for veger. Effekten av klimaet på tilstandsutvikling, dekkelevetid og vedlikeholdskostnader for veger er som regel oppdelt i flere problemstillinger. Noen av de viktigste er:

1. Hvilken innvirkning har klimaet (nedbør, temperatur, sol, årstid, grunnvannstanden, etc.) på vanninnholdet til materialet i grunnen og i de forskjellige granulære lag i vegoverbygningen.
2. Hvordan innvirker variasjoner i vanninnholdet på egenskapene til de granulære materialer (E-modul, skjærfasthet etc.)
3. Hvordan innvirker variasjoner i materialeegenskapene på tilstandsutviklingen for vegdekkene (sporutvikling, sprekker, jevnhet etc.)
4. Hvilken betydning har endringer i tilstandsutviklingen for dekkelevetiden og årskostnadene for vedlikeholdet av vegdekkene.

Når man skal diskutere de fire problemstillinger som er beskrevet ovenfor, er det viktig å huske at de faktorer som er omtalt, virker i samspill med en rekke andre faktorer. I den første problemstillingen må man ta hensyn til at effektene av klimaendringer må sees i sammenheng med den betydning som vegens geometri, drenering og omkringliggende terreng har for variasjonene i materialenes vanninnhold. I den tredje problemstillingen er det åpenbart at effekten av variasjoner i materialeegenskapene kan være beskjeden i forhold til hovedproblemstillingen som vanligvis er vegoverbygningens oppbygning (materialer og lagtykkelser) i forhold til materialet i grunnen.

Dekketilstanden uttrykkes i hovedsak ved spordybde, jevnhet i lengdeprofilet, krakelering og andre typer sprekker. For en dominerende del av det norske riks- og fylkesvegnettet er det sporutviklingen som oftest utløser dekketiltak, og det er den tilstandsparameter man i dag har best oversikt over for det norske vegnettet. I den fjerde problemstillingen gjør man derfor ingen stor feil ved å fokusere på sporutviklingen når man skal beregne årskostnadene for dekkevedlikeholdet.

Av de punkter som er listet opp ovenfor, er det den første og tredje problemstillingen som ut fra dagens kunnskapsnivå gir de største utfordringer og hvor usikkerhetene i en analyse er størst.

#### 2.1.1 Versjon 0.7 av M-E PDG

I versjon 0,7 av M-E PDG fra 2004 var dybden til grunnvannstand en sentral parameter ved beregning av granulære materialers egenskaper og hvordan dette påvirket utviklingen av deformasjonsspor.

De viktigste deler av formelverket i versjon 0.7 for beregning av sporutvikling på grunn av varige deformasjoner i grunnen og i de granulære lag i overbygningen er vist i likningene 1 – 6 nedenfor.

II

$$\delta_a(N) = \beta_1 \left( \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_r} \right) e^{-\left(\frac{\rho}{N}\right)^\beta} e_v h^\alpha \quad \text{Likn 1}$$

hvor  $\delta_a$  = permanent deformasjon i granulære lag (inches)  
 $N$  = antall lastrepetisjoner  
 $\varepsilon_0, \beta, \rho$  = materialparametre  
 $\varepsilon_r$  = referansetøyning ved bestemmelse av materialparametrene  
 $\varepsilon_v$  = gjennomsnittlig vertikaltøyning i laget  
 $h$  = lagtykkelse (inches)  
 $\beta_1$  = kalibreringsfaktor

Materialparametrene  $\beta$  og  $\varepsilon_0/\varepsilon_r$  beregnes ut fra materialets vanninnhold  $W_c$  ut fra likning 2 nedenfor:

$$\log \beta = -0,6119 - 0,017638 W_c \quad \text{Likn 2}$$

$$\log \left( \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_r} \right) = \frac{\left( \varepsilon \left( \frac{\rho}{10^9} \right)^\beta * a_1 E_r^{b_1} \right) + \left( \varepsilon \left( \frac{\rho}{10^9} \right)^\beta * a_9 E_r^{b_9} \right)}{2} \quad \text{Likn 3}$$

Materialparameteren  $\rho$  beregnes ved hjelp av likning 4 nedenfor:

$$\rho = 10^9 \left[ \frac{C_0}{(1 - (10^9)^\beta)} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad \text{Likn 4}$$

hvor:

$$C_0 = \ln \left[ \frac{(a_1 E_r^{b_1})}{(a_9 E_r^{b_9})} \right] \quad \text{Likn 5}$$

hvor  $a_1 = 0,15$   
 $b_1 = 0,0$   
 $a_9 = 20,0$   
 $b_9 = 0,0$

Materialets vanninnhold knyttes til Materialets E-modul og dybden til grunnvannstanden ved hjelp av likning 6 nedenfor.

$$W_c = 51,712 \left[ \left( \frac{E_r}{2555} \right)^{\frac{1}{0,64}} \right]^{-0,3586 + GW^0,1192} \quad \text{Likn 6}$$

hvor  $W_c$  = vanninnhold

$E_r$  = materialets resilient modul (psi)  
 $GWT$  = dybde til grunnvannstand (ft)

Likning 6 gir en mulighet for å estimere relasjonen mellom dybde til grunnvannstanden og materialets vanninnhold, et viktig element i den følsomhetsanalyse som er beskrevet i oppdraget for dette arbeidet.

### 2.1.2 Pavement Health Track (PHT)

M-E PDG som er omtalt ovenfor, er først og fremst rettet mot analyser på prosjektnivå. En analyse på vegnettsnivå slik det er gjennomført i delprosjekt 5 i etatsprogrammet Klima og transport, ref. 14, er en omstendelig og tidkrevende arbeidsoppgave. Bl.a. av den grunn har Federal Highway Administration (FHWA) i USA utviklet analyseverktøyet Pavement Health Track (PHT)/Pavement Remaining Service Life (RSL), Ref. 4.

I introduksjonen av PHT angir FHWA følgende: *The PHT Analysis Tool uses pavement performance models developed by FHWA for the Highway Economic Requirements System (HERS) and the National Pavement Cost Models. These pavement performance models are simplified versions of the models and procedures used in the American Association of State Highway and Transportation Officials' Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide.*

PHT ble tilgjengelig høsten 2010, versjon 2.0 forelå i januar 2011.

De viktigste deler av formelverket for beregning av sporutvikling på grunn av deformasjoner i grunnen og i de granulære materialer i overbygningen er vist ved likning 7 – 12 nedenfor.

$$W_c = 51,712 \left[ \left( \frac{MR}{2555} \right)^{1,5625} \right]^{-0,3596 * GWT^{0,1192}} \quad \text{Likn 7}$$

Likning 7 er identisk likning 6 for M-E PDG

$$\beta = 0,7 * 10^{-0,6119 - 0,017628W_c} \quad \text{Likn 8}$$

Med unntak av konstanten 0,7 er likning 8 identisk med likning 2 for M-E PDG

Den totale sporutvikling beregnes som summen av sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalten, i de granulære lag i overbygningen og i grunnen. De to siste delene, som påvirkes av vanninnholdet i materialene, kan beregnes ved hjelp av likning 9 og 10 nedenfor.

$$BASERUT = 4,4833 * \epsilon_{vBases} * h_B * CESAL^{0,1207} \quad \text{Likn 9}$$

$$SUBGRUT = (0,0025PRECIP + 0,000080FT) * \left( \frac{\epsilon_0}{\epsilon_r} \right)^{0,9692} * e^{-\left( \frac{p}{CESAL} \right)^{\beta}} * \epsilon_{vSubgr}^{0,1116}$$

hvor  $h_B$  = tykkelse av granulært lag i overbygningen, inch  
 CESAL = sum ekvivalente 18 KIP aksellaster i dimensjoneringsperioden  
 PRECIP = gjennomsnittlig årlig nedbørsmengde, inches  
 FI = gjennomsnittlig frostindeks, dager<sup>o</sup>F

Den norske dimensjoneringsstabellens Sum ekvivalente 10 tonn aksellaster i dimensjoneringsperioden kan omregnes til CESAL ved å multiplisere med faktoren 2,2.

Parameteren  $\rho$  og forholdet  $\varepsilon_0/\varepsilon_r$  beregnes ved hjelp av likning 11 og 12 nedenfor

$$\rho = 10^{(0,622685+0,541524W_c)} \quad \text{Likn 11}$$

$$\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_r} = 10^{(0,74168+0,08109W_c-0,000012157MR)} \quad \text{Likn 12}$$

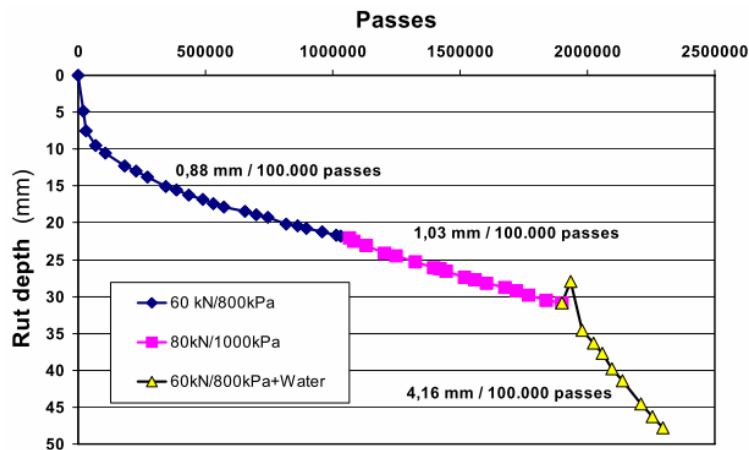
hvor MR = resilient modul for materialet i grunnen, psi  
 Wc = materialets vanninnhold

### 2.1.3 ERA-NET Road P2R2C2

ERA-NET Road "Coordination and Implementation of Road Research in Europe" har i perioden fra september 2008 til mars 2010 gjennomført et FoU-program betegnet som "P2R2C2 Pavement Performance and Remediation Requirements following Climate Change". Programmet er gjennomført som et samarbeid mellom vegadministrasjonene i Østerrike, Danmark, Finland, Tyskland, Irland, Holland, Norge, Polen, Sverige og Storbritannia. Vesentlige deler av grunnlaget for P2R2C2 er basert på konklusjonene i COST Action 351, Water Movement in Road Pavements and Embankments, ref. 8 og 13.

I Rapport 2 fra programmet, ref. 4, er det presisert at infiltrasjon av vann gjennom sprekker i asfaltdekkene normalt er av relativt liten betydning for vanninnholdet i en vegoverbygning. Høy grunnvannstand er av vesentlig større betydning for variasjonene i de granulære materialers egenskaper. Dette gjelder spesielt finkornige materialer med høy vannfølsomhet, som f.eks. siltige materialer.

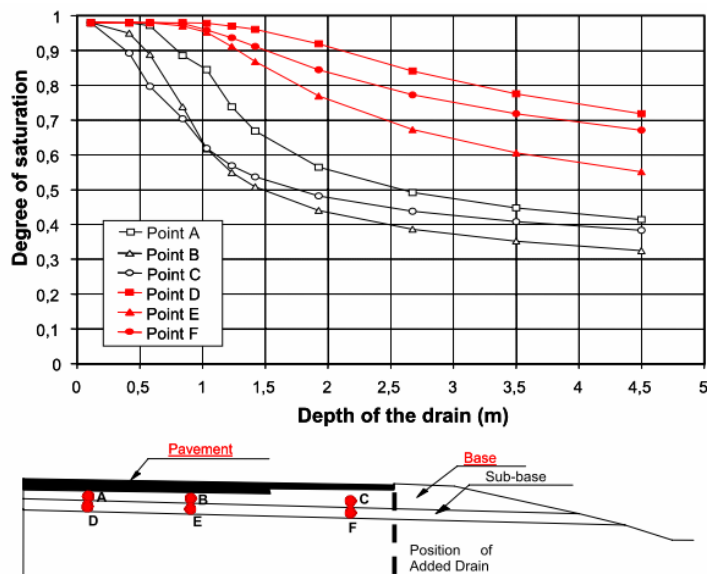
Blant de mange arbeider som det er referert til i rapportene fra P2R2C2, er måling av sporutvikling ved akselererte belastninger ved hjelp av Heavy Vehicle Simulator av særlig interesse. Ved å heve grunnvannstanden til 300 mm under planum (det høyeste som er tillatt i Sverige), øker sporutviklingen til mer enn 4 ganger sporutviklingen ved lav grunnvannstand, som vist i figur 1 nedenfor.



Rut depth propagation rates for different conditions (from Watmove project, 2008, courtesy of L. Wiman).

Figur 1. Sporutvikling ved akselerert belastning HVS, Sverige

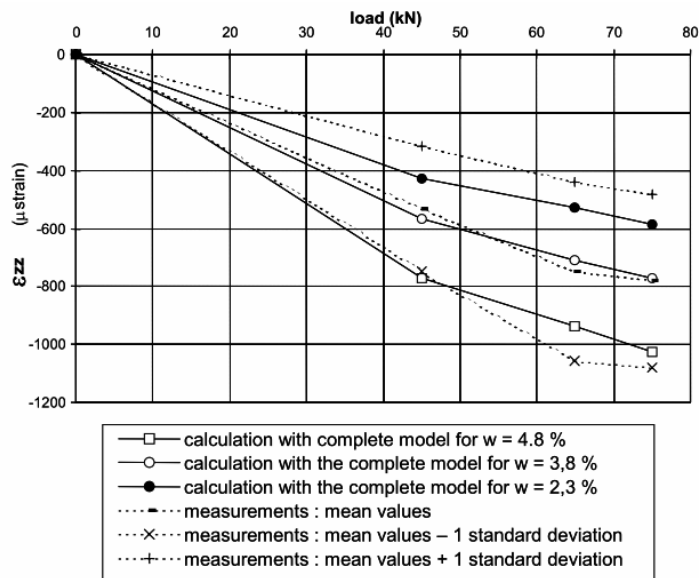
Rapport 2 fra P2R2C2, ref. 3, har også gjengitt et arbeid av Alonso et al. hvor graden av vannmetning i en vegoverbygning og i grunnen under en veg er modellert for middelhavsklima. Konklusjonen av denne analysen er at dreneringsdybden er av stor betydning for vanninnholdet i granulære bærelag og forsterkningslag, slik det er vist i figur 2. Dreneringsdybden synes imidlertid i mindre grad å innvirke på vanninnholdet i materialet i grunnen.



Degree of saturation obtained when a drain is installed at the pavement – shoulder contact (Alonso et al., 2002).

Figur 2. Grad av vannmetning i bærelag og forsterkningslag som funksjon av dreneringsdybden

Ut over dette er det i P2R2C2 trukket frem en del eksempler på vannets innvirkning på deformasjonsegenskapene til granulære materialer. Et eksempel er vist i figur 3 nedenfor.



Comparison of experimental and predicted maximum vertical strains at the top of the granular layer for 3 load levels (Watmove, 2008).

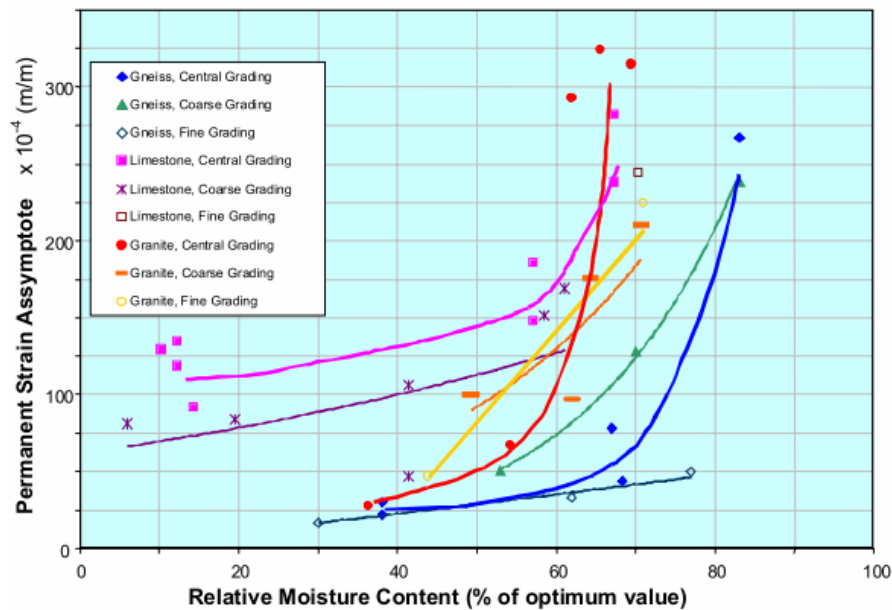
Figur 3. Eksempel på vanninnholdets innvirkning på deformasjonsegenskapene til granulære materialer

## 2.1.4 ROADEX II

Forskningsprosjektet ROADEX er et samarbeidsprosjekt mellom Närings-, trafik- og miljøcentralen i Finland, Trafikverket Region nord og Skogsstyrelsen i Sverige, Statens vegvesen Region nord i Norge, Vegagerdin på Island, Grønlands selvstyre, the Highland Council, Forestry Commission og the Western Isles Council i Skottland, samt the National Roads Authority i Irland. Målet med det tekniske samarbeidet var å dele vegrelatert informasjon og forskning mellom partene. Andre del av samarbeidsprosjektet, ROADEX II, ble gjennomført i perioden 2002 – 2005.

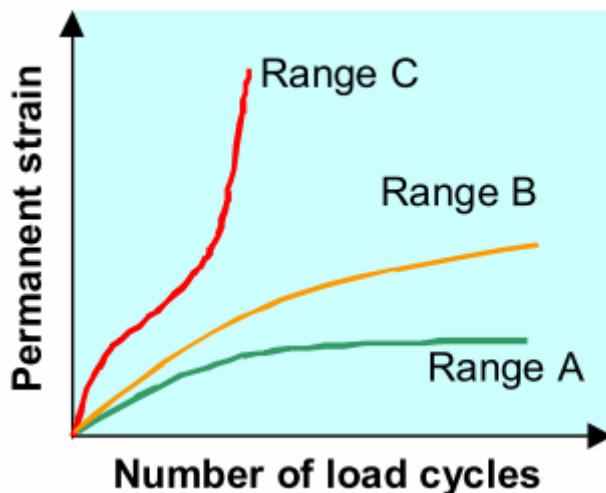
De arbeider som først og fremst berører problemstillingen knyttet til grunnvannstanden, er arbeidene med permanente deformasjoner og drenerings betydning, ref. 5 og 6.

ROADEX har gjennom en rekke forskjellige analyser demonstrert hvordan vegens drenering innvirker på egenskapene til materialene i grunnen og i de granulære lag i overbygningen og hvordan god og dårlig drenering innvirker på vegdekkenes tilstandsutvikling og dekkelevetid. Noen av de viktigste resultatene er gjengitt nedenfor.



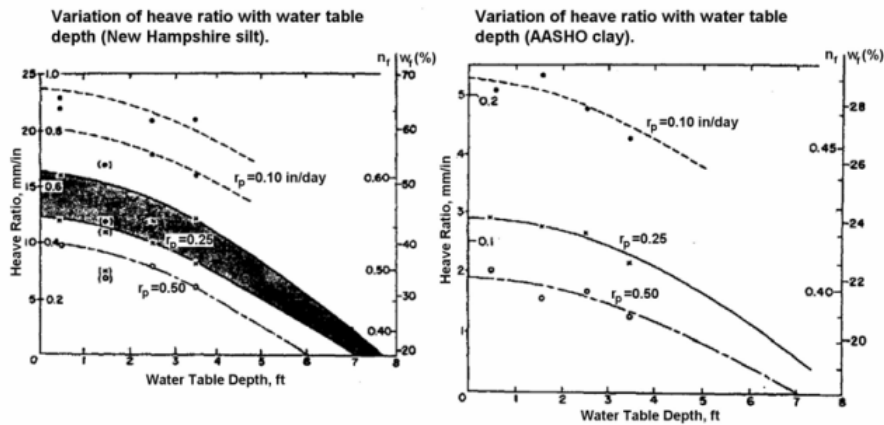
Figur 4. Vanninnholdets betydning for deformasjonsegenskapene til en del materialer.

Figur 4 viser noen eksempler på vanninnholdets innvirkning på de varige deformasjoner i en del granulære materialer. Resultatene i figur 4 representerer det som i figur 5 er angitt som "Range B" med hensyn til forholdet mellom påkjenninger og materialenes styrke, og skalaen langs Y-aksen angir helningen på asymptoten for tilstandsutviklingen. I figur 4 er vanninnholdet angitt i prosent av optimalt vanninnhold.



Figur 5. Tre scenarier mht. deformasjonutviklingen ut fra forhold mellom påkjenninger og materialets styrke

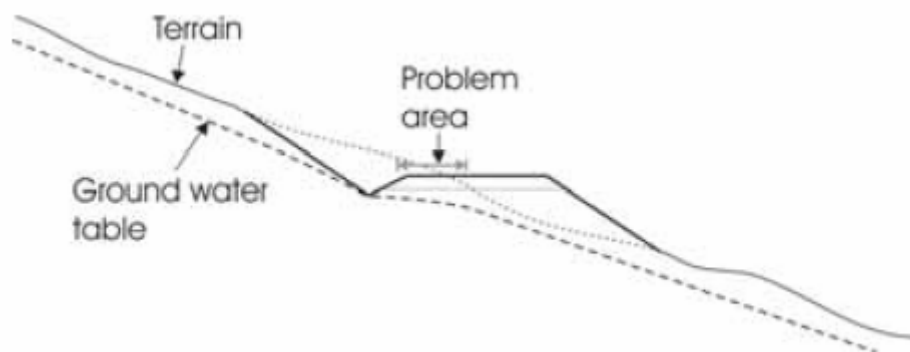
ROADEX-prosjektet har også referert til et arbeid utført av McGaw i 1972, ref. 10. Analysen bygger på laboratorieforsøk hvor hastigheten av telehiv vurdert i forhold til dybden til grunnvannstanden. Resultatene av dette arbeidet, som omfatter silt og leire, er vist i figur 6 nedenfor. Det må bemerkes at Y-skalaene i figurene er forskjellige.



Figur 6. Grunnvannstanden betydning for telehiv ved frost, ref. 10.

De forventede klimaendringer omfatter endringer i både frostmengde slik det er beskrevet i Ref. 14, og endringer i grunnvannstanden slik det er omtalt i kap 3 i dette notatet. Grovt sett kan man anta at en økning i grunnvannstanden om våren til en viss grad demper effekten av mindre frostmengde og mindre alvorlige teleløsningsperioder om våren. Dette notatet har begrenset analysenes fokus til bare å omfatte effekten av endret grunnvannstand.

En viktig del av ROADEX-prosjektet har vært å analysere vanninnholdets innvirkning på vegens tilstandsutvikling ved å studere sporutviklingen for veger i skrånende terreng. En prinsippsskisse for vegens tverrprofil og antatt grunnvannstand er vist i figur 7.

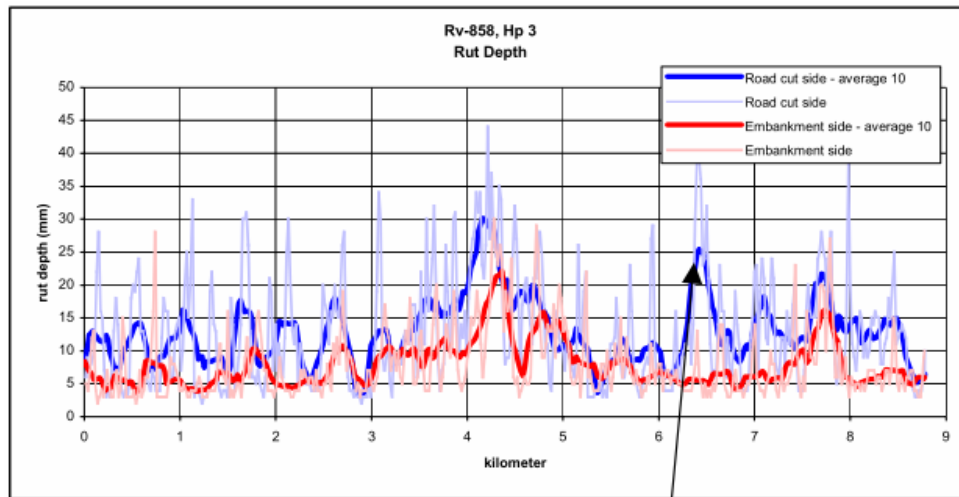


Figur 7. Prinsippsskisse for tverrprofil og grunnvannstand for veg i skrånende terreng

I figurene 8 – 10 er det vist tre eksempler på forskjellen i tilstandsutvikling for indre kjørefelt (kjørefeltet i vegskjæring) og ytre kjørefelt (kjørefelt på fylling).

For Fv 858 i Troms, vist i figur 8, er gjennomsnittlig sporutvikling ca. 1,0 mm per år for kjørefeltet i skjæring mens årlig sporutvikling er 0,4 – 0,5 mm for kjørefeltet på fylling. Forholdet mellom sporutviklingen er med andre ord i overkant av 2,0.





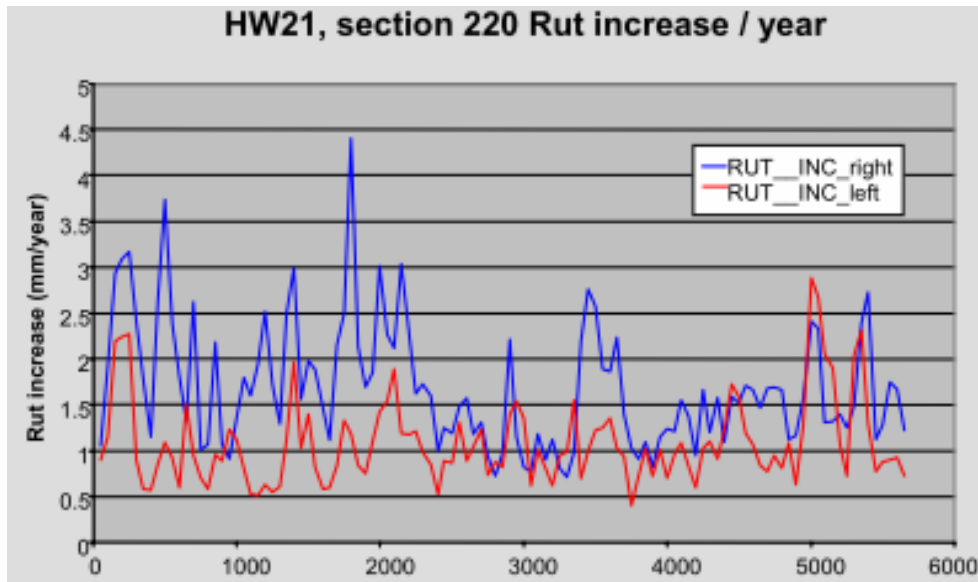
Figur 8. Spormålinger for indre og ytre kjørefelt, Fv 858 i Troms

For Fv 861 i Troms, vist i figur 9, er gjennomsnittlig sporutvikling ca. 3,1 mm per år for kjørefeltet i skjæring mens årlig sporutvikling er ca. 2,0 mm for kjørefeltet på fylling. Forholdet mellom sporutviklingen er med andre ord i overkant av 1,6.



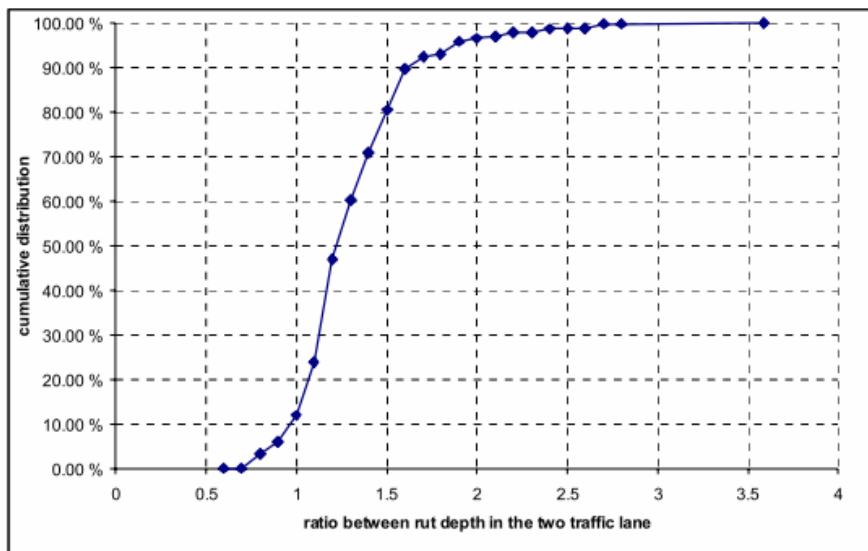
Figur 9. Spormålinger for indre og ytre kjørefelt, Fv 861 i Troms

For HW 21 i Kilpisjärvi i Finland, vist i figur 10, er gjennomsnittlig sporutvikling ca. 2,0 mm per år for kjørefeltet i skjæring mens årlig sporutvikling er ca. 1,0 mm for kjørefeltet på fylling. Forholdet mellom sporutviklingen er med andre ord i overkant av 2,0. Resultatene over er basert på analyse av strekningen fra km 0,5 til km 2,5, den delen av vegen hvor terrengets helning er størst.



Figur 10. Spormålinger for indre og ytre kjørefelt, HW 21 Kilpisjärvi, Finland

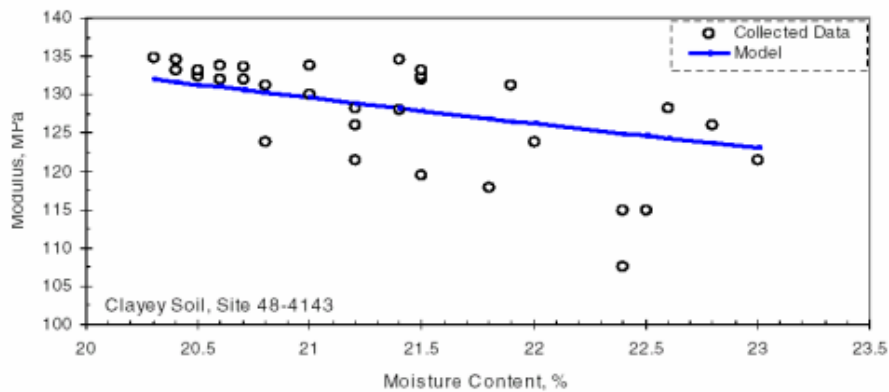
Analysen som er beskrevet for de tre eksemplene over, er gjennomført for en rekke vegstrekninger i skrånende terreng. Resultatene for alle analysene er sammenstilt i figur 11 som viser en kumulativ fordeling av forholdstallene mellom sporutvikling for kjørefelt i skjæring og kjørefelt på fylling på samme strekning. Av figuren ser en at for 90 % av de analyserte strekninger har kjørefelt i skjæring større sporutvikling enn for kjørefelt på fylling. I gjennomsnitt er forholdet i størrelsesorden 1,25.



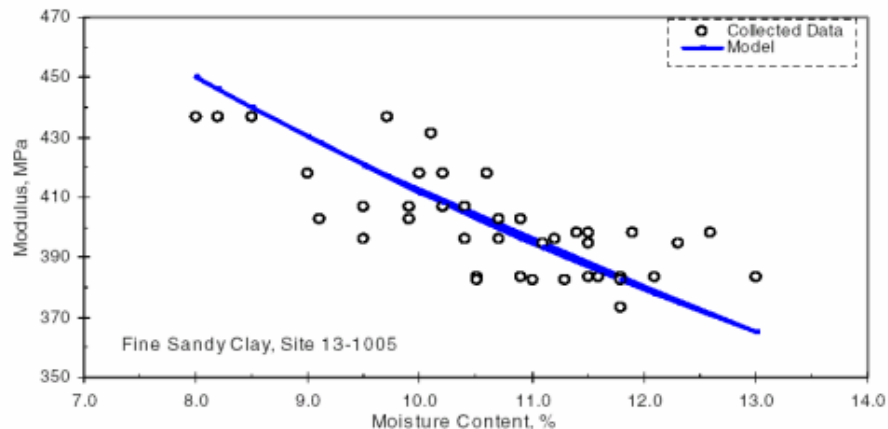
Figur 11. Kumulativ fordeling for forholdstall for årlig sporutvikling for indre og ytre kjørefelt

Analysene i ROADEX av tilstandsutvikling for veger i skrånende terreng har begrenset informasjon om dybden til grunnvannstanden for de to kjørefeltene. I forhold til de analysene som dette notatet skal fokusere på, må man derfor gjøre noen grove estimater av antatt dybde til grunnvannstand dersom resultatene skal utnyttes i forhold til vårt behov.

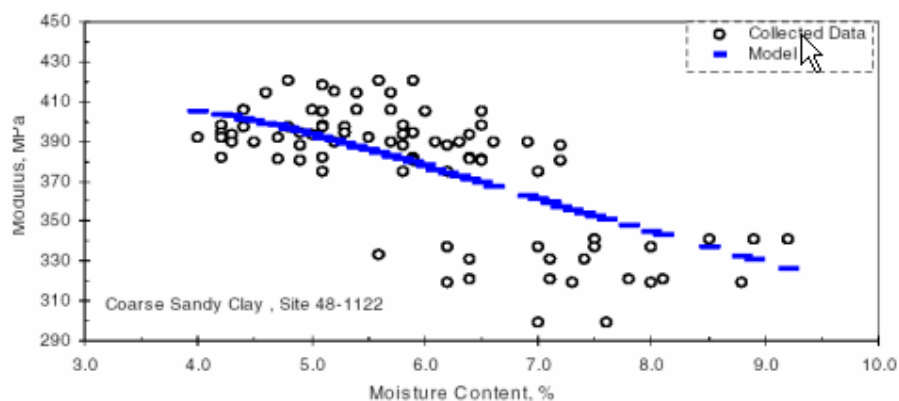
Internasjonalt og nasjonalt er det gjennomført en rekke analyser og laboratorietester som demonstrer vanninnholdets innvirkning på egenskapene til materialer i grunnen og granulære materialer i vegoverbygningen. Nedenfor er det kort gjengitt resultater fra arbeider utført av Bayomy et al., ref. 11. Figur 12 til 14 viser vanninnholdets betydning for E-modulen til plastiske materialer, mens figur 15 til 17 viser den tilsvarende innvirkning for ikke plastiske materialer.



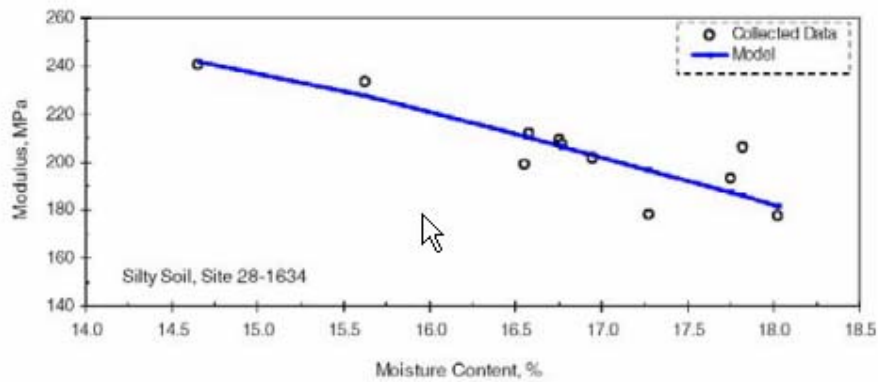
Figur 12. Vanninnholdets innvirkning på E-modulen til leire



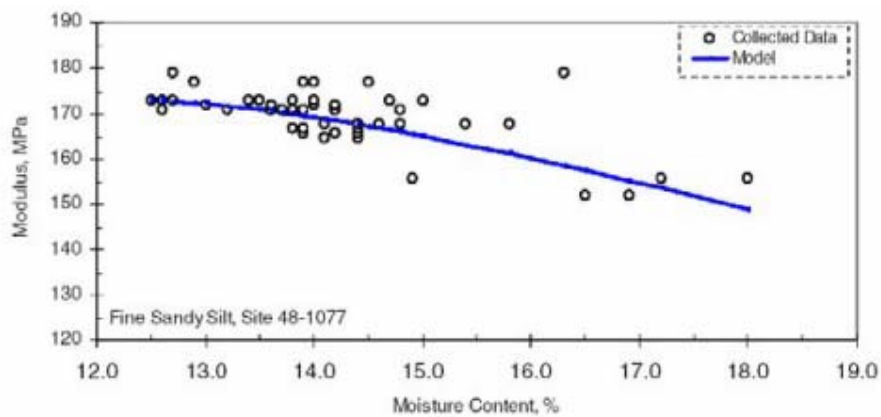
Figur 13. Vanninnholdets innvirkning på E-modulen til sandig leire



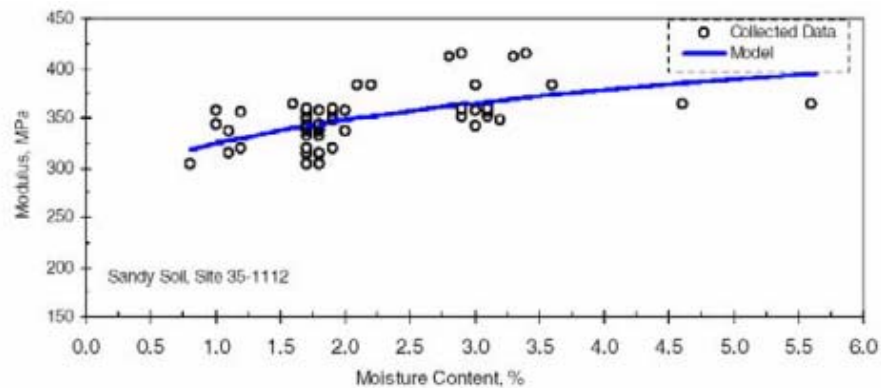
Figur 14. Vanninnholdets innvirkning på E-modulen til grov sandig leire



Figur 15. Vanninnholdets innvirkning på E-modulen til silt



Figur 16. Vanninnholdets innvirkning på E-modulen til sandig silt



Figur 17. Vanninnholdets innvirkning på E-modulen til sand

Vägverket (nå Trafikverket) i Sverige har utarbeidet en metodebeskrivelse for veginventering som grunnlag for dimensjonering av forsterkningsarbeider, ref. 12. Metodebeskrivelsen erstatter tilsvarende kapitler i VÄG 2005. I denne veginventeringen inngår en vurdering av vegens drenering basert på inndeling i tre dreneringsklasser.

1. Overbygningen er godt drenert
2. Overbygningens drenering har mangler (eller kan ikke bedømmes)
3. Overbygningen er dårlig drenert.

Dreneringsklassenes innvirkning på E-modulen for granulære materialer i vegoverbygningen og for tre forskjellige materialer i grunnen, slik dette inngår i det svenske dimensjoneringsprogrammet, er vist i figur 18.

Ved å knytte resultatene fra analyser av tilstandsutvikling for veger i skrånende terreng til klassifiseringen over, er det i ROADDEX-prosjektet gjennomført vurderinger av hvordan en forbedring av vegens dreneringsforhold innvirker på vegdekkenes levetid. Resultatet er vist i figur 19 nedenfor. Av denne figuren ser man f.eks. at dreneringstiltak for en veg i dreneringsklasse 3 slik at vegen etter tiltaket er i dreneringsklasse 1, gir en faktor i størrelsesorden 2,25 for forventet forbedring i vegdekkets levetid.

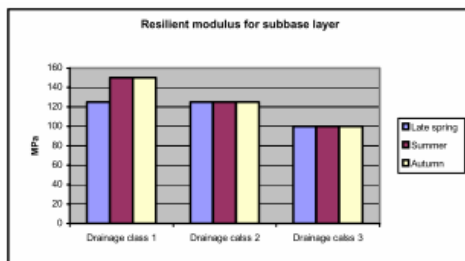


Figure 87. Res. modulus for subbase layer

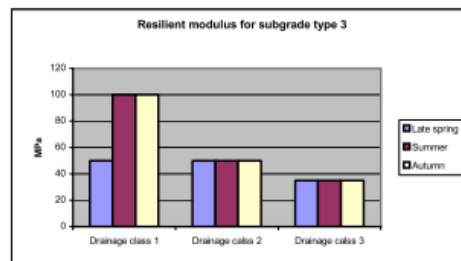


Figure 88. Res. mod. for subgrade type 3 (moraine)

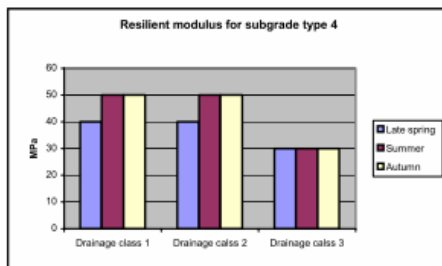


Figure 89. Res. mod. for subgrade type 4 (clay)

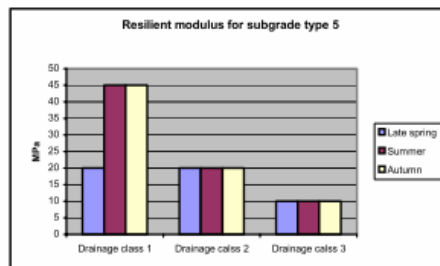


Figure 90. Res. mod. for subgrade type 5 (silt)

Figur 18. Dreneringsklassens innvirkning på E-modulen til granulære lag i overbygningen og tre materialer i grunnen, ref.6

Drainage condition	Drainage classes 1)	Factor - change in lifetime by improving the drainage system
<i>Group 1</i> Drainage system does not work at all (or drainage system does not exist). Water susceptible soil in road structure and subgrade. Very high ground water table. Low ground and rocks blocking the ground water flow. Often local spots.	>3	> 2,5
<i>Group 2</i> Drainage system does not work at all and the soil in road structure and subgrade are less water susceptible then in group 1.  Drainage system is working badly because of lack of maintenance (ditches and culverts not cleared) and water susceptible soil in road structure and subgrade.	3	2-2,5
<i>Group 3</i> Drainage system is working badly because of lack of maintenance. (Ditches and culvert not cleared.) The soil in road structure and subgrade are less water susceptible.	2	1,5-2
<i>Group 4</i> Drainage system is working unsatisfactory because of lack of maintenance or the maintenance guidelines are not sufficient.	1-2	1-1,5

1) Comparison to the drainage classes in the Swedish design guide.

Figur 19. Dreneringsklassens innvirkning på E-modulen til granulære lag i overbygningen og tre materialer i grunnen, ref.6

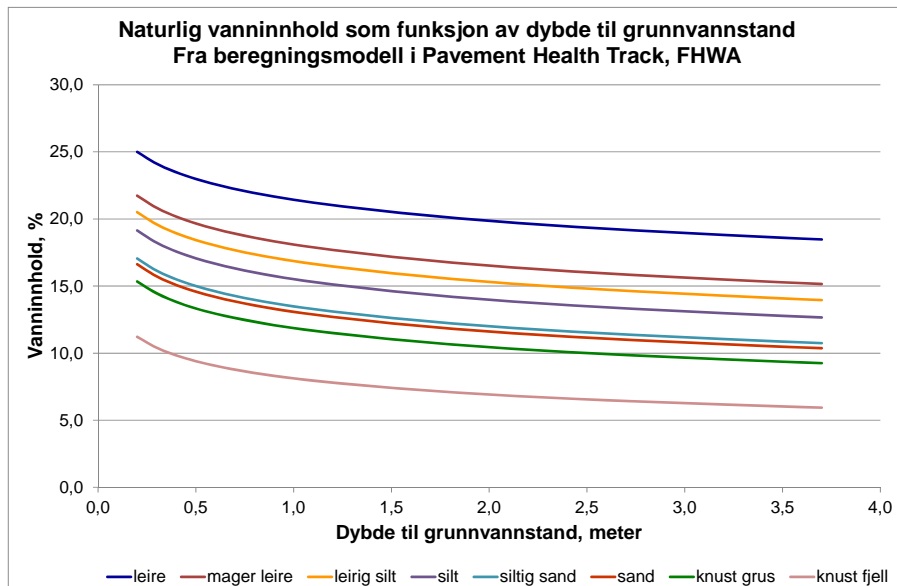
## 2.2 Grunnvannsnivå og dekkelevetid - en følsomhetsanalyse

I kap 2.1 er det vist en del eksempler på relasjonene mellom grunnvannsnivå, vanninnhold i materialer, vanninnholdets innvirkning på materialeegenskaper og hvordan dette innvirker på vegdekkenes tilstandsutvikling. De fleste av disse undersøkelsene omfatter imidlertid bare deler av den helhet som er nødvendig for at man kan få gjennomført en kvantitativ følsomhetsanalyse av vegdekkers levetid og kostnader til dekkevedlikehold i forhold til endringer i grunnvannstanden.

Dette kan belyses med et eksempel. Analysene av tilstandsutvikling for kjørefelt i skjæring i forhold til kjørefelt på fylling, slik dette er gjennomført i ROADEX-prosjektet, kan danne grunnlaget for en følsomhetsanalyse dersom man med en rimelig grad av sikkerhet kan estimere dybden til grunnvannstanden i de to kjørefeltene, slik det skissemessig er antydnet i figur 7. Påliteligheten i denne følsomhetsanalysen blir dermed helt avhengig av gode estimater av grunnvannsnivåene.

### 2.2.1 Pavement Health Track

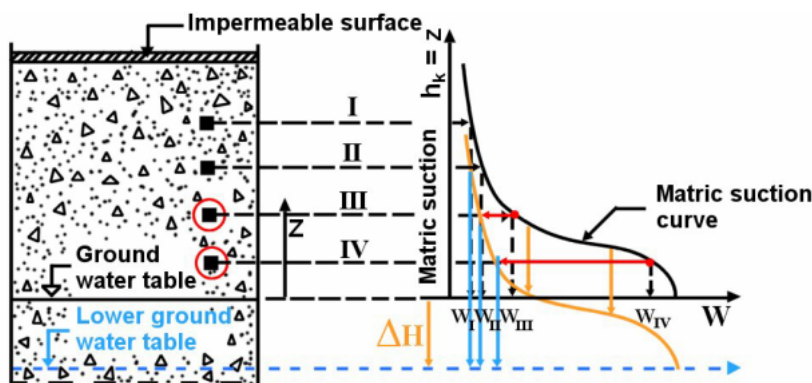
Relasjonen mellom dybde til grunnvannstand og vanninnholdet er for noen typiske materialer vist i figur 20. Denne figuren er en grafisk presentasjon av likning 7 ovenfor ved å benytte standardverdier for materialenes E-moduler.



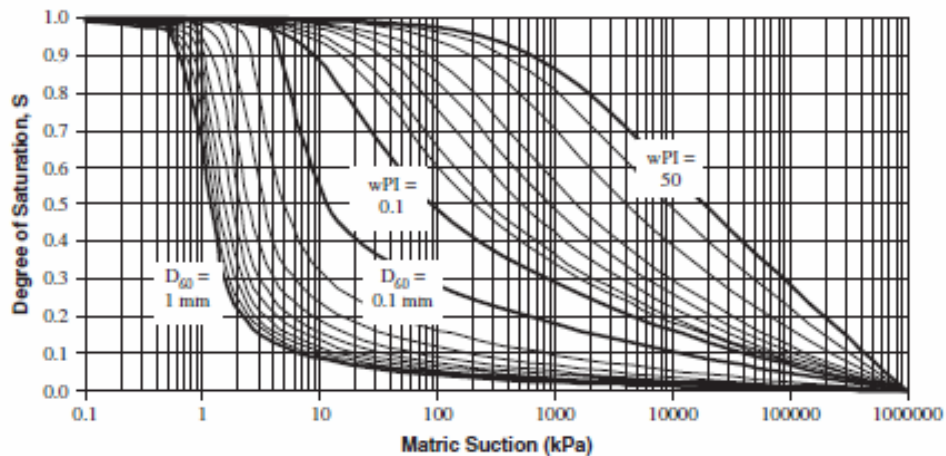
Figur 20. Relasjon mellom naturlig vanninnhold og dybde til grunnvannstand, modell i Pavement Health Track, likning 6

Kurvene i figur 20 ovenfor synes ikke å være i god overensstemmelse med prinsippskissen i figur 21 eller med SWCC-kurvene i figur 22. Ved sammenlikning av kurvene i figur 20 med figur 22 må man ta hensyn til at både X- og Y-aksene er forskjellige.

Selv om beregninger i Pavement Health Track har ambisjoner om å være universelle og anvendbare alle steder, består grunnlaget for etableringen av modellene av LTPP-strekninger (Long Term Pavement Performance) hovedsakelig i USA og Canada. Dette innebærer at bl.a. at modellene bygger på veger med helt annen vegbredde og med annen tverrprofilutforming enn det som dominerer det norske vegnettet, og topografien omkring vegene er i stor grad også en annen.



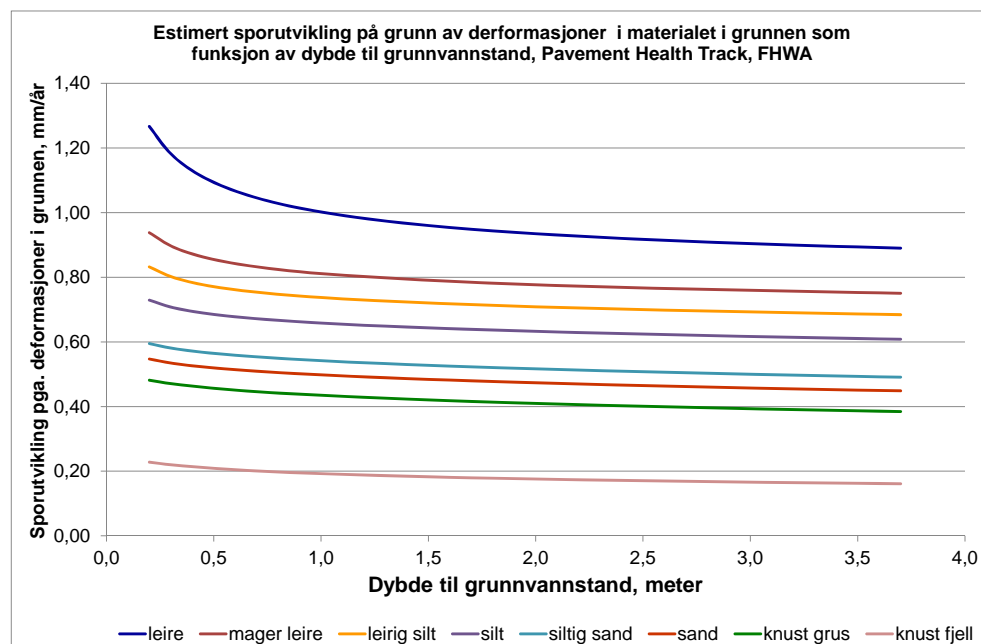
Figur 21. Prinsippskisse for relasjon mellom naturlig vanninnhold og dybde til grunnvannstand, Ref. 6.



Figur 22. Relasjon mellom naturlig vanninnhold og poresug, Matrix suction Ref. 1.

En viss likhet mellom figur 20 og 22 får man dersom man antar at kurvene i figur 22 bare omfatter et utsnitt av kurvene i figur 22.

Ved å kombinere resultatene i figur 20 med likningene 8, 10, 11 og 12 gjengitt ovenfor, får man relasjoner mellom dybde til grunnvannstanden og sporutvikling på grunn av deformasjoner i materialet i grunnen som vist i figur 23 nedenfor.



Figur 23. Relasjon mellom dybde til grunnvannstanden og beregnet årlig sporutvikling på grunn av deformasjoner i materialene i grunnen.

Følsomhetsanalysen i figur 23 er basert på en rekke forutsetninger. De viktigste av disse er:

- Gjennomsnittlig årlig frostmengde: 12 000 h°C
- Gjennomsnittlig årlig nedbørmengde: 600 mm
- Sum ekvivalente 10 tons aksellaster i dim.perioden: 1,5 Mill



Sum ekvivalente 10 tonns aksellaster i dimensjoneringsperioden tilsvarer Trafikkgruppe C i Håndbok 018.

Likning 10 for beregning av sporutvikling på grunn av deformasjoner i materialet i grunnen har vertikaltøyning (sammenpressing) som en av beregningsparametrene. I figur 23 er denne bestemt ved å benytte det svenske dimensjoneringsprogrammet PMS Objekt i kombinasjon med overbygninger i henhold til kravene i Håndbok 018.

Ut fra figur 23 kan man konkludere at en reduksjon i dybde til grunnvannstanden på 0,1 meter tilsvarer en økning i gjennomsnittlig sporutvikling i størrelsesorden 0,002 – 0,004 mm/år.

I delprosjekt Veg i Vegkapitalprosjektet ble det gjennomført et begrenset arbeid med å kalibrere beregningene i M-E PDG til norske forhold ut fra målt sporutvikling på en del vegstrekninger. Gjennomsnittlig kalibreringsfaktor var i størrelsesorden 6,5. Dersom denne faktoren også benyttes ved estimeringen av grunnvannstandens innvirkning på sporutviklingen for vegdekkene, får man at en reduksjon i grunnvannstanden på 0,1 meter tilsvarer en økning i gjennomsnittlig sporutvikling i størrelsesorden 0,013 – 0,026 mm/år.

Endringene er ikke lineære, ved mindre dybde til grunnvannstanden øker følsomheten. Ut fra figur 23 får man et relativt godt samsvar med beregningsresultatene ved å anta en relasjon basert på uttrykket nedenfor.

$$\text{Endring i sporutvikling} = k \cdot (\text{Endring i dybde til grunnvannstand})^{-a}$$

Dersom man legger figur 23 til grunn for relasjonen over, varierer eksponenten a mellom 0,07 og 0,12 avhengig av materialene i grunnen. Koeffisienten k er en konstant for det enkelte materialet, men verdien avhenger bl.a. av materialtypen, slik det fremgår av figur 23.

## 2.2.2 ROADEX

Som tidligere bemerket, bygger modellene i M-E PDG versjon 0.7 og PHT for relasjonen mellom tilstandsutvikling og dybde til grunnvannstand på et stort antall observasjonsstrekninger, i hovedsak fra U.S.A. og Canada. Man må bl.a. forvente at disse strekningene er på veger med helt andre vegbredder og skulderbredder enn hva som er typisk for det norske vegnettet. Skulderbreddens betydning for vanninnholdet i vegoverbygningen kan man bl.a. se av figur 2 ovenfor.

Ett av de få andre arbeider som har fokus på forholdet mellom vegens drenering, klimaforhold og vegens tilstandsutvikling, er ROADEX som er omtalt i kap. 2.1.4. ROADEX er i stor grad basert på en oppfølging av tilstandsutviklingen på vegstrekninger i Norge, noe som er en åpenbar fordel for våre vurderinger.

Figur 11 viser at for 90 % av vegstrekningene i skrånende terreng som inngår i ROADEX-analysene, er sporutviklingen større i indre kjørefelt (kjørefelt i skjæring) enn i ytre kjørefelt (kjørefelt på fylling). Medianen for dette forholdet er ca. 1,25. For 20 % av strekningene er forholdstallet større enn 1,5.

Ved å anta at dybden til grunnvannstanden i gjennomsnitt er ca. 0,5 meter mindre for indre kjørefelt (kjørefelt i skjæring) enn for ytre kjørefelt (kjørefelt på fylling), kan

man grovt estimere at en reduksjon i dybden til grunnvannstand på 0,1 meter gir en økning i den totale sporutvikling i størrelsesorden 5 %.

For en veg i ÅDT-intervallet mellom 1500 og 3000 er normert dekkelevetid ca. 14 år. Med et initialspor lik 5 mm, utløsende spordybde i vedlikeholdsstandarden lik 25 mm, samt et gjennomsnittlig forhold mellom 90/10-verdien og gjennomsnittlig spordybde lik 1,42, får man at den gjennomsnittlige totale sporutviklingen for veger med ÅDT 1500-3000 er i størrelsesorden 1,0 mm per år. En økning på 5 % i årlig sporutvikling tilsvarer dermed en økning på 0,05 mm/år. Dette er i overkant av det dobbelte av det som ble beregnet ved hjelp av modellene i Pavement Health Track.

Dersom man antar at dybden til grunnvannstanden i gjennomsnitt er ca. 1,0 meter mindre for indre kjørefelt (kjørefelt i skjæring) enn for ytre kjørefelt (kjørefelt på fylling), blir estimatet at en reduksjon i dybden til grunnvannstand på 0,1 meter gir en økning i den totale sporutvikling i størrelsesorden 2,5 %, noe som er i nærheten av det som ble beregnet ved hjelp av modellene i Pavement Health Track. Gjennomsnittlig avstand mellom ytre hjulspor i de to kjørefeltene er i størrelsesorden 5,0 meter. En høydeforskjell på 1,0 meter for grunnvannstanden mellom disse sporene betyr at overkant av grunnvannet over vegterrsnittet har en helning lik 1:5 som antagelig ikke er helt urimelig.

### 2.3 Grunnvannsnivå – kostnader dekkevedlikehold

For å beregne de økonomiske konsekvenser av en heving av grunnvannstanden med 0,10 meter, må man ta utgangspunkt i det eksisterende riks- og fylkesvegnettet i Norge.

Alle veglengder i Figur 24 er hentet fra Vegdirektoratets Nasjonal vegdatabank, NVDB, mens gjennomsnittlige dekkebredder er hentet fra Vegkapitalprosjektet.

ÅDT-intervall	Dekkebredde, meter		Veglengder, km	
	Rv og Primære Fv	Sekundære og andre FV	Rv og Primære Fv	Sekundære og andre FV
0-300	6,4	5,5	2 844	15 914
301-1500	6,8	6,0	12 826	8 946
1501-3000	7,3	6,5	5 591	1 294
3001-5000	7,6	7,2	2 338	583
5001-10000	8,0	8,0	2 096	435
Over 10 000	12,0	12,0	1 704	88
Sum			27 399	27 260

Figur 24. Lengde og gjennomsnittlig bredde for riksvegnettet før 1.1.2010 (fra NVDB og Vegkapitalprosjektet, ref 15.)

ÅDT-intervall	Normert dekkelevetid, år
0-300	16
301-1500	15
1501-3000	14
3001-5000	12
5001-10000	9
Over 10 000	6

Figur 25. Normert dekkelevetid (Håndbok 018 Vegbygging)

Normert dekkelevetid er for alle praktiske formål det samme som gjennomsnittlig dekkelevetid for riksvegnettet i Norge, forutsatt at vedlikeholdsstandarden overholdes. Håndbok 018 angir noe varierende verdier for normert dekkelevetid avhengig av dekketype. Verdiene i figur 25 er basert på de dekketyper som er mest benyttet innen det enkelte ÅDT-intervall.

Kostnader til dekkefornyelse vil variere mellom dekketyper, nødvendig dekketiltak og ha geografiske variasjoner. Man gjør imidlertid ingen stor feil ved å anta følgende gjennomsnittlige enhetspriser for dekketiltak. Enhetsprisene inkluderer planfresing/opprettning, og nytt slitelag inkl. transport og MVA.

ÅDT	Enhetspriser, kr/m <sup>2</sup>
0 – 1500	80,-
1501 – 5000	90,-
over 5000	100,-

Figur 26. Gjennomsnittlige enhetspriser for dekketiltak, inkl MVA

Ut fra de forutsetninger som er gitt i figur 24, 25 og 26, får man årskostnader for dekkevedlikeholdet som vist i figur 27 nedenfor.

ÅDT-intervall	Årlig kostnad, kroner	
	Rv og primære Fv	Sekundære og andre Fv
0-300	91 008 000	437 635 000
301-1500	465 156 267	286 272 000
1501-3000	262 377 643	54 070 714
3001-5000	133 266 000	31 482 000
5001-10000	186 311 111	38 666 667
Over 10 000	340 800 000	17 600 000
Sum	1 478 919 021	865 726 381
Sum Rv og Fv	2 344 645 402	

Figur 27. Beregnede årskostnader for dekketiltak på riks- og fylkesvegnettet i Norge

Kostnadene i figur 27 er noe høye i forhold til de årlige kostnader til dekkefornyelse på riks- og fylkesvegnettet i Norge, jfr. Ref. 22. I 2009 og 2011 var de samlede kostnader til asfalt i dekkevedlikeholdet ca. 2,0 Mrd. kroner. Tilstandsmålingene viste at dette forbruket var tilstrekkelig til å stabilisere etterslepet i dekkevedlikeholdet.

Dersom man antar at 0,10 meter høyere grunnvannstand gir en økning i de årlige kostnader til dekkevedlikehold i størrelsesorden 2,5 %, og at hjulspordybden er utløsende dekketilstand for ca. 60 % av alle dekkefornyelser, blir den totale kostnadsøkningen på 30 Mill kroner per år.

### 3 Endring i grunnvannstanden ved endret klima

Grunnvannet er det vannet som fyller porene og sprekke i grunnen under oss. Grunnvannets overflate kalles grunnvannsspeilet og defineres som den flaten der

grunnvannstrykket er lik atmosfæretrykket. I fjell vil ikke grunnvannsspeilet være en sammenhengende flate fordi vannet stort sett befinner seg i sprekker og hulrom. Under grunnvannsspeilet, i grunnvannssonen, regner man at alle hulrommene er fullstendig fylt med vann og sonen omtales ofte som mettet sone. Mellom grunnvannsspeilet og overflaten, i markvannssonen, er derimot hulrommene delvis fylt med luft og vannet befinner seg på kornoverflatene i løsmassene og på bergflatene i fjellet. Derfor kalles markvannssonen for umettet sone. (ref. [www.grunnvann.no](http://www.grunnvann.no)). Markvannssonen er ikke behandlet videre i dette notatet.

I det videre brukes begrepet grunnvannsmagasin. Dette betegner mengden/dybden grunnvann, og endring i grunnvannsmagasin referer seg til grunnvannsspeilet og endring i dybden i forhold til overflaten finner dette.

### 3.1 Årlig variasjon i grunnvannsmagasin

NVE drifter et landsomfattende mark- og grunnvannsnett med om lag 80 målepunkt hvor grunnvannsstand overvåkes (Opedahl / Colleiulle, 2009).

Studier av et utvalg av målepunktene fra <http://www2.nve.no/h/hd/plotreal/GRW/plotoversikt.html> viser variasjoner i grunnvannsmagasinene gjennom året. Variasjonene er lokalt betinget. Generelt ser det ut til at den årlige variasjonen i grunnvannstanden ligger mellom 1 og 2 meter, men med unntak. Et fåtall av målepunktene har små årlige variasjoner på bare noen centimeter, mens andre igjen varierer med 5-6 meter. Hvordan grunnvannsmagasinet endrer seg gjennom året varierer også lokalt. Dersom det søkes etter felles nevner kan det trekkes ut at de fleste punktene har et maksimum på våren (april, mai med snøsmelting og tele som tiner) og et minimum på tidlig høst etter tørke gjennom sommeren, men det finnes mange unntak.

Figur 28 viser tilfeldige eksempler fra Eikamoen (Telemark), Abrahamsvoll (Oppland), Dombås (Oppland) og Karasjok (Finnmark). De to punktene i Oppland viser et maksimum i mai-juni og minimum grunnvannstand i april, mens de to andre viser henholdsvis maksimum i oktober (Eikamoen) og januar/februar (Karasjok).

Figurene illustrerer også at grunnvannstanden er lokalt betinget ved at dybden enkelte steder ligger på 8-10 meter, mens man andre steder finner grunnvann bare ett par meter under overflaten.

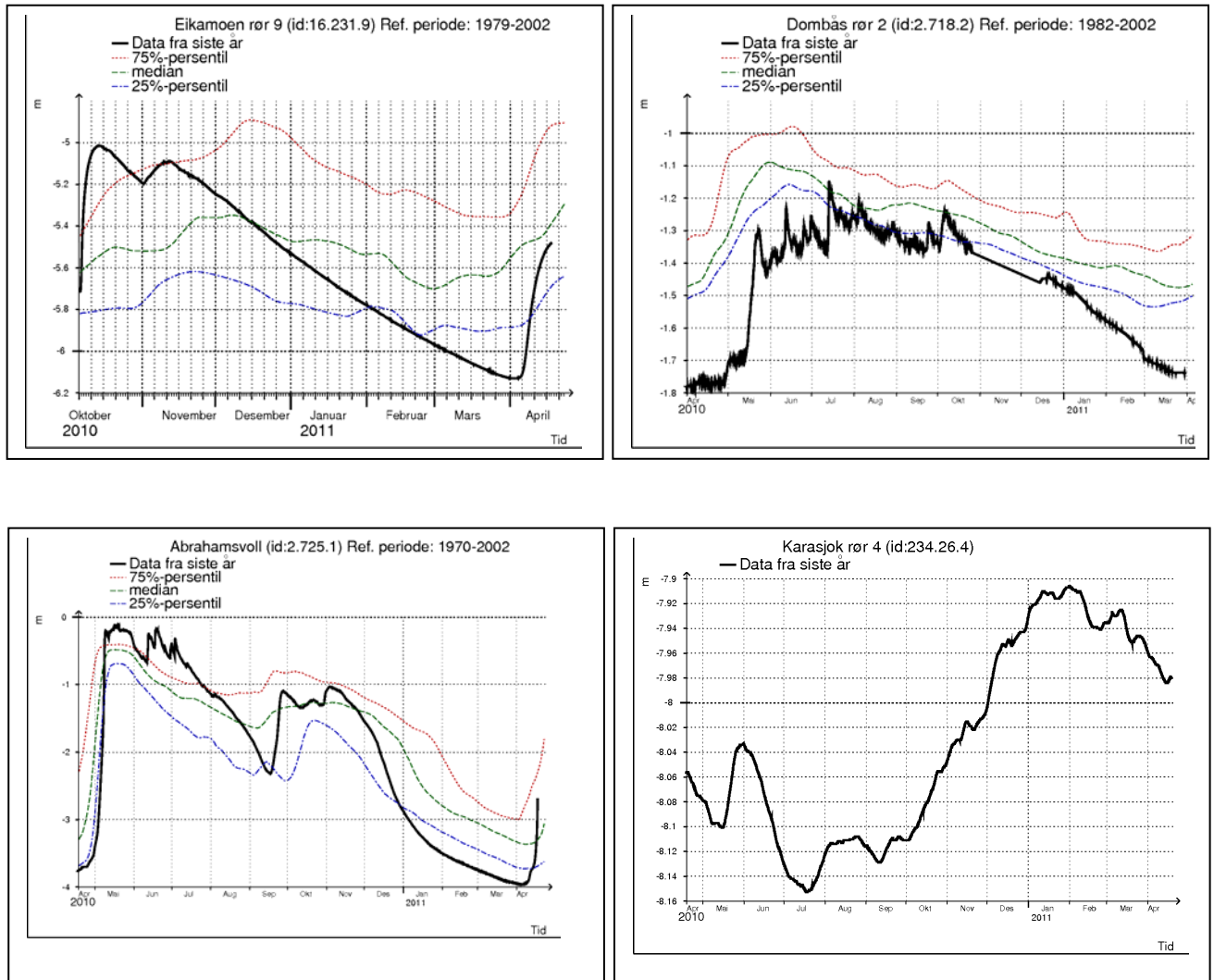


Fig.28: Variasjon over året i grunnvannsdypde i målepunktene på Eikamoen, Dombås, Abrahamsvoll og Karasjok.

### 3.2 Endring i grunnvannmagasin fra 1961-1990 til 2071-2100

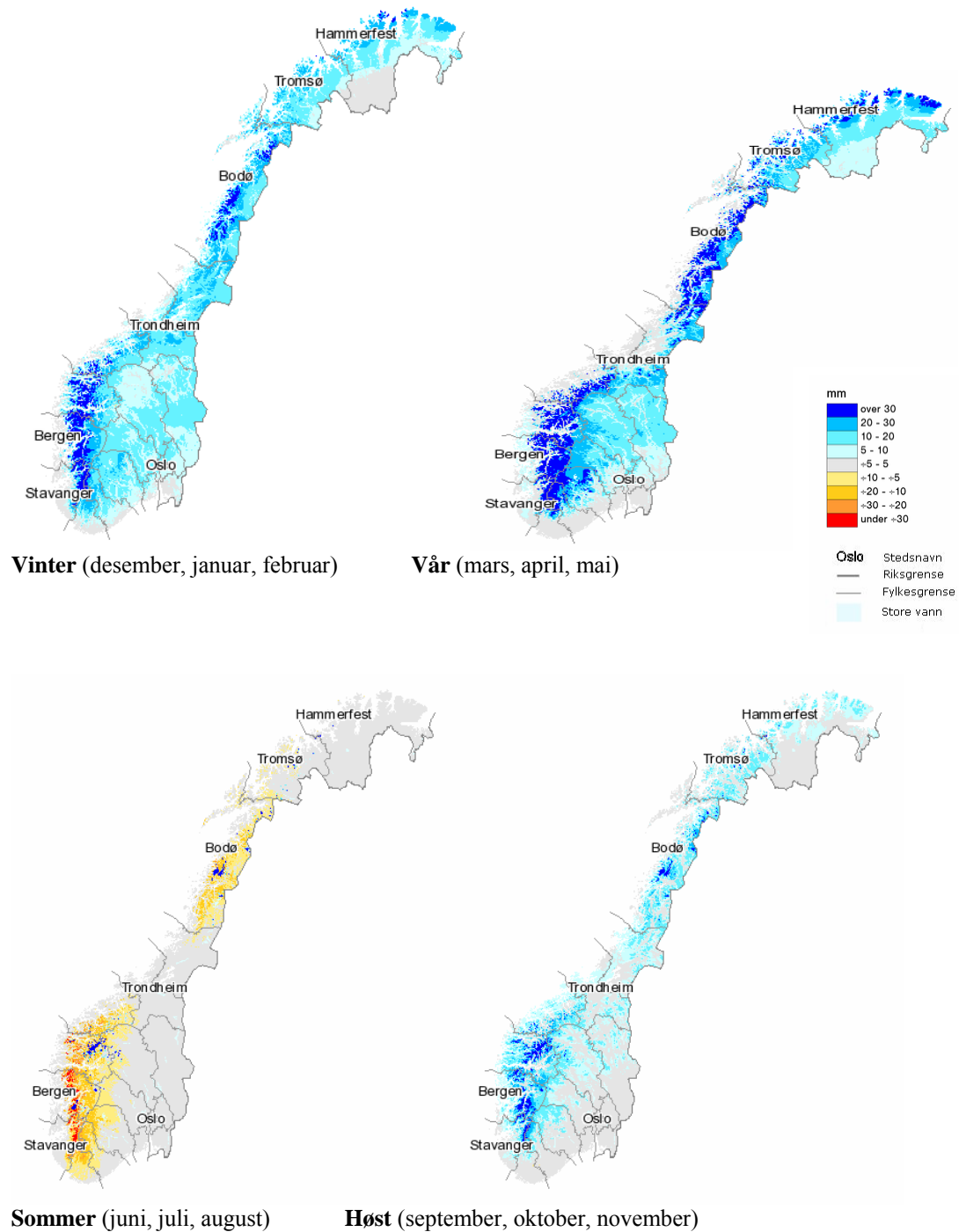


Fig.29 Forventet endring i grunnvannsmagasin per årstid fra normalperioden 1961-1990 til perioden 2071-2100. (senorge.no(temalag fra NVE))

### 3.3 Datagrunnlag og kilder

Kartene på figur xx er basert på den globale klimamodellen ECHAM4/OPYC3 fra det tyske Max-Planck-Institut für Meteorologie, den regionale klimamodellen HIRHAM, IPCC SRES scenario B2 for økning i drivhusgasser i atmosfæren og den hydrologiske modellen HBV.

Tema er behandlet av NVE og presentert på [www.senorge.no](http://www.senorge.no).

Basis for de prognostiserte endringene er normalperioden fra 1961 til 1990. I andre deler av Klima og transport prosjektet er det sett på en normalperiode fra 2000 til 2008. Det er vist at denne perioden har bestått av et varmere og våtere klima (nasjonalt) enn tidligere. Dette betyr at noe av den forventede endringen prognostisert på grunnlag av tidligere normalperiode allerede har eller kan ha inntruffet, og dermed at den forventede endringen illustrert på kartene over kan være mindre med referanse til dagens dato enn det som vises over.

### 3.4 Funn og diskusjon, årstidsvariasjon

Figurene viser at det på nasjonal basis er forventet at de største endringene i fremtiden skjer vinter og vår og med størst endring på vestlandet, litt inn fra kysten. I sommermånedene vil grunnvannsmengden avta i forhold til i dag, mens det i resten av året vil skje en økning.

Fra figuren som viser forventet endring på våren (mars, april og mai) ser vi at det i store områder er forventet en økning i grunnvannsmagasiner langs kysten av Norge på mer enn 30mm relativt til nivået i normalperioden fra 1961-1990. For de indre strøkene i sør-Norge er endringen forventet å ha en størrelse på mellom 0 og 30mm.

På høsten vil også endringen være positiv, med andre ord en økning i grunnvannsmagasiner, men av en mindre størrelsesorden landet sett under ett enn tilfelle er på vinter og vår. I sommermånedene er det forventet en reduksjon i grunnvannsmagasiner på vestlandet og i Nordland. På vestlandet kan endringen bli på mer enn 30mm, mens det i Nordland vil kunne bli en endring på maksimalt 20mm dersom prognosene slår til.

Det er med andre ord vestlandet som får de største endringene både sommer, høst, vinter og vår og den årlige variasjonen blir derfor større i fremtiden enn den er i dag i disse områdene.

Det faktum at grunnvannsstanden varierer lokalt vil være av stor viktighet i forhold til hvilken betydning en endring i klima vil ha. Dersom grunnvannet ligger 8-10 meter under overflaten vil en heving på 2-3cm ha betraktelig mindre betydning enn dersom ordinært grunnvann har en overflate på 0,5 meters dyp.

## 4 Kostnader for utbedring av drenering for å forebygge eventuell reduksjon av dekkelevetid.

I dette avsnittet skal det for riks- og fylkesvegnettet med bituminøst dekke gis et grovt estimat av kostnader knyttet til å utbedre drenering i forhold til dagens situasjon slik at eventuell reduksjon av dekkelevetid kan forebygges.

### 4.1 Grunnlag for og tolkning av oppgave

Det antydes at mangelfull drenering av en vegkonstruksjon medfører redusert dekkelevetid, og at man gjennom å utbedre/gjenopprette dreneringen vil kunne forebygge at forventet levetid på vegdekket reduseres. Dersom ikke drenering (stikkrenne, grøft) fungerer iht plan vil dette føre til at vann blir stående høyere i vegkonstruksjonen og/eller at vannet ikke dreneres bort. Dette kan medføre redusert dekkelevetid gjennom dårligere bæreevne (økt deformasjon) og/eller økt fare for telehivproblematikk vinter/vår.

Forventet levetid på et vegdekke vil variere, avhengig av en rekke faktorer hvor bl.a. dekketype og trafikkbelastning er avgjørende parametere.

Forventet levetid for et vegdekke oppnås når:

- vegen er riktig dimensjonert og bygget med overbygningstykkelser, materialbruk, grøfter mm tilpasset kravene i hb 018 tatt hensyn til undergrunn og forventede ytre belastninger (trafikk, klima, mm)
- det er valgt riktig dekketype
- vegen inklusive vegdekket med tilhørende arealer og utstyr er riktig driftet og vedlikeholdt

Vegkapitalprosjektet (Svv, 2002-2005) viste gjennom sine etterslepsberegninger, at det over tid ikke er brukt nok penger til å drifte og vedlikehold vegsystemet herunder også for hovedprosess 4 Grøfter, kummer og rør. Det ble dokumentert at man over analyseperioden hadde brukt mindre penger til drift og vedlikehold sammenlignet med det beregnede behovet hentet fra kostnadsmodellene i MOTIV.

I tillegg har vi veger på dagens riks- og fylkesvegnett som har "blitt til" over tid, både med hensyn til utforming og oppbygging. En del av disse vegene har også fått en helt annen belastning enn de opprinnelig var bygget for. Dette innebærer at deler av vegnettet har en mangelfull standard i forhold til dagens krav (standardetterslep), og dette påvirker den totale tilstandsutviklingen for vegen inklusive vegdekket sett i forhold til en tilsvarende veg bygget for optimal levetid.

Vi mangler en fullverdig kartlegging av tilstanden på dreneringssystemet på riks- og fylkesvegnettet i Norge. På vegnettsnivå vet vi hverken hva tilstanden er, hvor eller hvorfor den evt. er mangelfull.

Dette innebærer at vi totalt sett har en uoversiktlig situasjon som gjør det vanskelig og usikkert å gjøre beregninger på behov for utbedring og/eller fornying av dreneringssystemet på riks- og fylkesvegnettet for å forebygge at dekkelevetid reduseres.



Det fremtidige klimabildet indikerer et våtere og mildere klima i Norge, noe som vil kunne føre til økt vannavrenning med påfølgende økt overflateerosjon og dermed økt behov for å opprettholde og gjenopprette dreneringen av vegkonstruksjonen gjennom grøfter og stikkrenner mm.

### Tolkning av oppgaven

Det er et vedlikeholdsmessig etterslep på dreneringssystemet i tilknytning til dagens riks- og fylkesvegnett som vil påvirke levetiden til vegdekkene. Dersom dette etterslepet fjernes, vil dreneringssystemet ikke bidra til at dekkelevetiden reduseres. Da vil dreneringssystemet oppfylle sin tiltenkte funksjon slik den var da vegen ble bygget.

Det lages et overslag (grovt estimat) på hva det vil koste å gjenopprette dreneringssystemet til en tilstand/funksjon på nivå med slik den ble bygget. Det medtas ikke kostnader for å oppgradere dreneringssystemet i forhold til eventuelt standardetterslep eller eventuelt behov for større kapasitet på grunn av økt avrenning/nedbør i et fremtidig mildere og våtere klima.

### Metode for vurdering – datagrunnlag

På grunn av manglende tilgjengelig datagrunnlag (av årsaker nevnt i forrige avsnitt) samt tilgjengelig ramme for denne analysen tar vurderingene utgangspunkt i etterslepsberegningene på riks- og fylkesvegnettet som ble utført i forbindelse med Vegkapital-prosjektet (2002-2005) med etterfølgende ajourføringer.

Vurderingene tar utgangspunkt i følgende rapporter:

- Vegkapitalprosjektet: Beregning av vedlikeholdsetterslep for riksvegnettet (Svv, 2003)
- Vegkapitalprosjektet: Beregning av vedlikeholdsetterslep for fylkesvegnettet (Svv, 2005)
- KS: Vedlikeholdsetterslep i vegsektoren (Multiconsult 2009)

## 4.2 Beregninger av etterslep

### 4.2.1 Vegkapital: Definisjon av etterslep

Som en del av gjennomføringen av Statens vegvesens etatsprosjekt ”Vegkapitalprosjektet” (2002-2005), skulle etterslepet på hhv riks- og fylkesveger beregnes herunder også for hovedprosess 4 Grøfter, kummer og rør.

Etterslep ble definert som:

Vedlikeholdsetterslep for et vegobjekt er kostnaden ved å bringe objektet fra sin nåværende tilstand til et definert tilstandsnivå slik at objektet oppfyller sin tiltenkte funksjon over en normal levetid.

- *Driftskostnader er ikke en del av etterslepet selv om manglende drift kan ha konsekvenser for vedlikeholdskostnadene.*
- *Definert tilstandsnivå varierer med det enkelte vegelement, kostnad, restlevetid, politiske beslutninger etc.*
- *Normal levetid er definert som optimal levetid basert på ingeniørmessige og økonomiske betraktninger.*
- *Levetid varierer for det enkelte vegelement.*

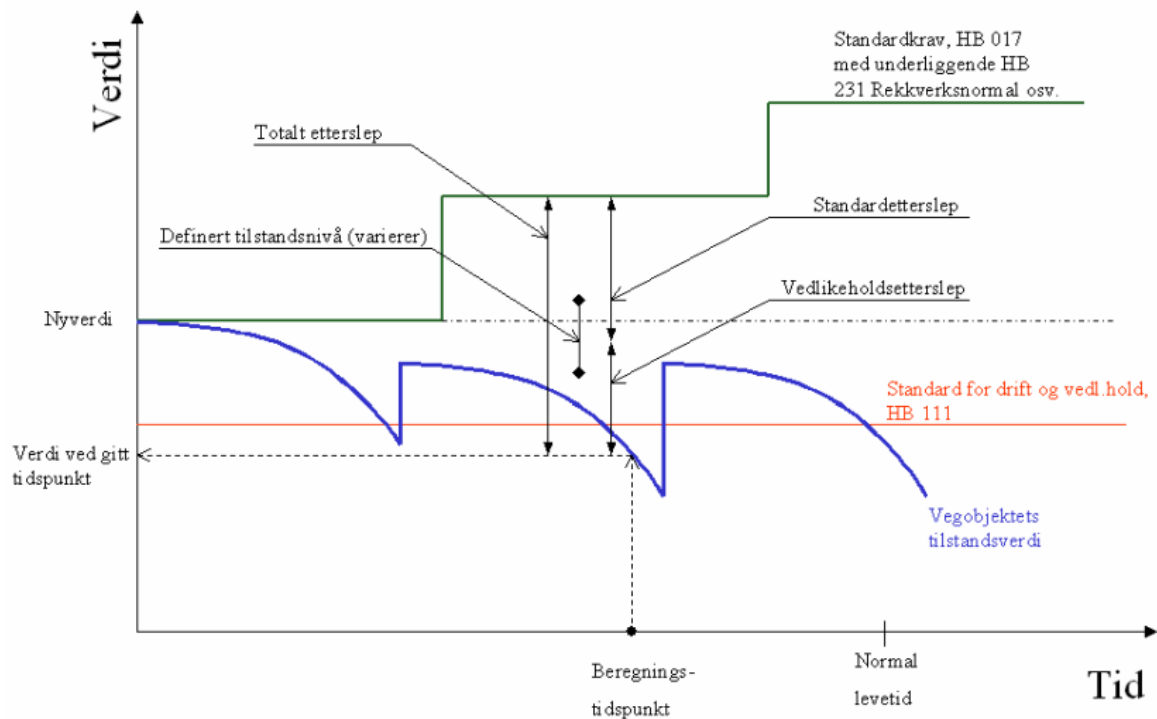


Fig.30 Vedlikeholdsetterslep og standardetterslep (Vegkapitalprosjektet)

Da det ikke forelå konkret registrering av tilstanden på objekter innen denne prosessen, ble etterslepet beregnet ut fra følgende metode:

*Etterslepet beregnes ut fra differansen mellom estimert behov for vedlikehold og faktisk gjennomført vedlikehold over en nærmere bestemt tidsperiode.*

*Behovet for vedlikehold estimeres ut fra årlig tildelingsbehov for å opprettholde standardkravene i håndbok 111 slik dette beregnes av kostnadsmodellen MOTIV*

*Faktisk gjennomført vedlikehold er estimert ut fra forbrukstallene (regnskapstall) for vedlikeholdsoppgavene på hovedprosess 4.*

*Akkumulert differanse mellom tildelingsbehov og forbruk for perioden 2002 - 1986 regnes som etterslepet på denne prosessen.*

*Driftsoppgavene tining, vannavledning og oppsteking holdes utenfor beregningen av etterslepet fordi dette utgjør driftsrettede vinteraktiviteter.*

*Beregningene av etterslep er gjort for prisnivå 2002 for riksveger og 2004 for fylkesveger. SSB's Byggekostnadsindekser for riks- og fylkesvegvedlikehold er benyttet som prisindeks. Merverdiavgift er inkludert i kostnaden med en effektiv MVA-sats på 2,5 %.*

Følgende forhold til hp 5 og 6 ble spesielt kommentert i rapportene:

*Tilstand og etterslep på prosess 48 vil ha betydning for tilstandsutvikling for*

vegdekker og vegfundament, hp 5 og 6, og dermed også mulig innvirkning på utviklingen av etterslepet for disse objektene.

*I den grad det i kostnadsberegningen av etterslepet på hp 5 som forsterkningskostnader er inkludert utbedring av drenering og drens-system, vil sum estimert etterslep for prosess 48 og hp 5 iht valgte metoder kunne være noe for høy i forhold til hva gjennomføring av utbedring vil koste. De valgte metoder gir ikke grunnlag for å fastlegge størrelsen på denne eventuelle dobbelttellingen.*

Beregning ble foretatt for følgende oppgaver:

- 48.1 oppgave 1 Rensk av kanter
- 48.1 oppgave 2 Rensk av overvannsgrøfter med sluk og lukket drenering,
- 48.1 oppgave 3 Rensk av dype grøfter
- 48.1 oppgave 4 Rensk hvor tilfredsstillende grøft mangler
- 48.2 oppgave 1 Rensk av inn- og utløp og rensk/spyling av renna
- 48.2 oppgave 2 Rensk av kummer
- 48.2 oppgave 3 Inspeksjon og spyling / slamsuging av lukket system
- 48.3 oppgave 1 Reparasjon av stikkrenner
- 48.3 oppgave 2 Reparasjon av lukket system
- 48.3 oppgave 3 Justering av kummer og sluk

Datagrunnlag og øvrige beregningsforutsetninger er beskrevet i rapportene.

#### 4.2.2 Vegkapital: Beregning for riksveger

Etterslepet pr 2002-12-31 er estimert til 800 mill. kroner (prisnivå 2002) med fordeling på fylker og stamveg/øvrig riksveg (vegnett fra før forvaltningsreformen) som vist i tabellen og figuren nedenfor.

Fylke	Akkumulert etterslep (mill kr)		
	Totalt	Stamveg	Øvrig riksveg
Østfold	21,8	4,1	17,7
Akershus	8,5	3,5	4,9
Oslo	12,2	6,2	6,0
Hedmark	45,5	11,9	33,6
Oppland	70,7	29,3	41,4
Buskerud	49,2	10,7	38,5
Vestfold	39,3	10,9	28,4
Telemark	29,7	7,1	22,6
Aust-Agder	39,4	5,9	33,5
Vest-Agder	14,3	2,8	11,5
Rogaland	52,1	13,6	38,5
Hordaland	36,9	11,9	25,0
Sogn og Fjordane	63,9	17,7	46,2
Møre og Romsdal	58,5	13,7	44,8
Sør-Trøndelag	29,8	8,1	21,7
Nord-Trøndelag	67,7	15,5	52,3
Nordland	105,6	40,8	64,8
Troms	36,2	11,0	25,2
Finnmark	18,8	9,8	9,0
Alle fylker	800,0	234,5	565,5

Fig.31 Etterslep Hovedprosess 4 pr. fylke, for stamveger og øvrige riksveger (før fovaltningssreformen)

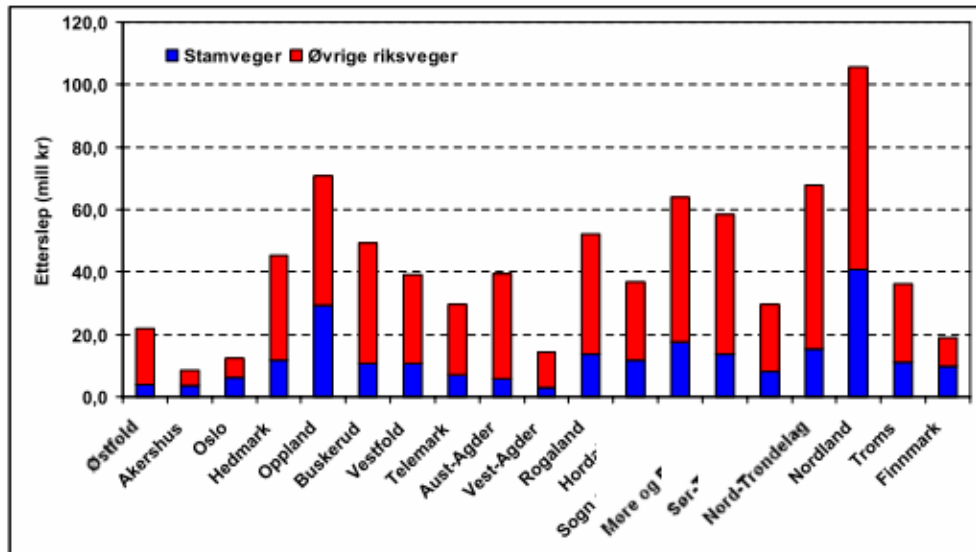


Fig.32 Etterslep Hovedprosess 4 pr. fylke, for stamveger og øvrige riksveger (før fovaltningssreformen)

Beregning er utført på et vegnett som i 2002 var 26 835 km.

#### 4.2.3 Vegkapital: Beregning for fylkesveger

Beregningene av etterslep er gjort for prisnivå 2004-01-01.

Vedlikeholdsmessig etterslep for hp 4, grøfter, kummer og rør (drenssystem) på fylkesveger ble estimert til 628 mill. kr pr 2004. Etter korrigering for antatte store mangler i datagrunnlaget ble estimatet justert til 928 mill. kr med regionvis fordeling som vist i tabellen nedenfor:

Vedlikeholdsmessig etterslep Hp 4 Grøfter, kummer og rør			
Region	Fylkesveglengde (km)	Etterslep (mill kr)	Korrigert etterslep (mill kr)
Øst	6 721	143,9	156,3
Sør	5 231	41,5	168,4
Vest	4 950	57,0	136,6
Midt	5 151	212,3	250,4
Nord	4 966	173,4	215,9
<b>Sum</b>	<b>27 019</b>	<b>628,0</b>	<b>927,5</b>

Fig.33 Etterslep Hovedprosess 4, fordeling mellom regioner, fylkesveger

Fylkesvegene er pr 2004, dvs. før forvaltningssreformen.

#### 4.2.4 KS: Beregning av etterslep i vegsektoren

Utgangspunktet for prosjektet var å kartlegge status for etterslepet på det offentlige vegnettet i forkant av gjennomføringen av forvaltningsreformen hvor fylkene skulle overta forvaltningsansvaret for den største delen av øvrige. Fra 1/1-2010 overtok fylkeskommunene ansvaret for ca. 17 000 km av riksvegene, slik at fylkesvegnettet da ble på ca. 44 000 km. Riksvegnettet ble fra samme dato redusert til ca. 10 200 km.

På oppdrag for KS – Kommunesektorens interesse- og arbeidsgiverorganisasjon, utførte Multiconsult følgende oppdrag:

- Fase I: Oppdatere dokumentasjon av vedlikeholdsetterslepet på riks- og fylkesvegene på bakgrunn av allerede eksisterende utredninger (Statens vegvesen sitt "Vegkapitalprosjekt" fra 2003-05)
- Fase II: Kartlegge tilstanden på det kommunale vegnettet, som underlag for å utrede og estimere vedlikeholdsetterslepet (finnes ingen tidligere utredninger/oversikter på nasjonalt nivå)

I denne sammenhengen er det deler av resultatene fra fase 1 som er aktuelle for denne analysen:

- Etablere en sammenstilling og oppsummering av eksisterende data for vedlikeholdsetterslep for fylkesveger og øvrige riksveger. Basis er vegkapitalprosjektet som Statens Vegvesen gjennomførte i 2003-2005
- Foreta en fremskriving av disse dataene til 2008-nivå

Rapporten gir følgende "siste offisielle" hovedtall fra Statens vegvesen på etterslepet for riks- og fylkesvegnettet i Norge pr 1.1.2008 (prisnivå 2007):

Tabell 4.1: Offisielt etterslep pr. 1.1.2008. Kilde: Statens vegvesen. Mill. 2007-kroner. Nøkkeltall for m veg pr. 1.1.2007. Kilde: Statens vegvesen

Region	Stamveger	Øvrige riksveger	Total riksveg	Fylkesveger
Hele landet	5658	10234	15892	12144
Km veg - nøkkeltall	8873	18487	27360	27069
Kr pr m veg	640	550	580	450

Fig.34 Totalt etterslep oppdatert til 1.1.2008, for stamveger, øvrige riksveger og fylkesveger (før fovaltningsreformen)

Rapporten gir kun fordeling av etterslep på hovedprosesser for det øvrige riksvegnettet (se kap 4.4 i rapport). Etterslepet på hp 4 er justert til 794 mill. kr pr 1.1.2008 (prisnivå 2007). Tilsvarende tall for fylkesvegnettet og stamvegnettet fremkommer ikke av rapporten.

Statens vegvesens ajourføring av status for etterslep på vegnettet er basert på vurderinger av budsjettnivåer sett i forhold til beregnet behov, og er ikke basert på konkrete målinger/registreringer på vegen.

#### 4.2.5 Samferdselsdepartementet: Nye etterslepsberegninger

På oppdrag fra Samferdselsdepartementet er Vegdirektoratet i ferd med å gjøre nye vurderinger av etterslepet på vegnettet (2009-2011).

Resultatene fra dette prosjektet foreligger foreløpig ikke.

#### 4.3 Vurdering av kostnader for utbedring av etterslep

Siden grunnlagsmaterialet fra KS-rapporten ikke er komplett med hensyn til fordeling av etterslep pr 1.1.2008 på hovedprosesser, tas det utgangspunkt i etterslepsberegningen som ble utført på hovedprosess 4 i Vegkapitalprosjektet for hele riks- og fylkesvegnettet (fra før forvaltningsreformen):

Svv: Vegkapitalprosjektet	Etterslep pr Prisnivå	Riksveger	Fylkesveger
		01.01.2003	01.01.2004
		2002	2004
Grøfter, kummer, rør (hp 4) (mill kr)		800	928

Fig.35 Etterslep for riksveger og fylkesveger, Hovedprosess 4.

Det totale etterslepet på riks- og fylkesvegnettet er beregnet både i Vegkapitalprosjektet og i KS-prosjektet:

Svv: Vegkapitalprosjektet	Etterslep pr Prisnivå	Riksveger	Fylkesveger
		01.01.2003	01.01.2004
		2002	2004
Totalt etterslep		11318	10775

KS: Beregning av etterslep i vegsektoren	Etterslep pr Prisnivå	Stamveger og øvrig riksveg	Fylkesveger
		01.01.2008	01.01.2008
		2007	2007
Totalt etterslep		15892	12144

Fig.36 Totalt etterslep for riksveger og fylkesveger, opprinnelig analyse og korrigert til 1.1.2008.

Dersom det antas at etterslepet på hovedprosess 4 har utviklet seg minst like mye som det totale etterslepet har utviklet seg i perioden, så kan etterslepet på riks- og fylkesvegnettet pr 1.1.2008 beregnes tatt hensyn til prisutviklingen i samme periode. Dette kan også forsvares ut fra at vedlikehold av drenering ikke har vært spesielt prioritert hverken på riks- eller fylkesveger de siste årene, sett i forhold til budsjettprioriteringer og spesielle tiltakspakker.

Dersom etterslepstallene for riksveger og fylkesveger prisjusteres til samme prisnivå som i KS-rapporten (2007), og ser på forholdene mellom disse beregningene, så er etterslepet på riksveger 14 % større pr 1.1.2008 enn pr 1.1.2003. For fylkesvegene viser beregningen samme verdi pr 1.1.2004 og 1.1.2008. Det innebærer at man for fylkesvegene ikke er estimert endringer i etterslepets omfang etter at Vegkapitalprosjektet ble avsluttet, men har kun korrigert for prisendringene.

Det antas at etterslepet på fylkesvegnettet har økt i tilsvarende grad som på riksvegnettet. Dersom etterslepstallene for hovedprosess 4 på riks- og fylkesveger fra hhv 2003 (prisnivå 2002) og 2004 (prisnivå 2004) justeres med 14 % økning, samt prisjusteres til 2010-prisnivå, kan etterslepet pr 1.1.2008 estimeres til 2,7 mrd. kroner.

## 5 Konklusjoner

En rekke rapporter og annen litteratur behandler forskjellige sider ved klimaets og dreneringens innvirkning på materialeegenskapene i en vegoverbygning, samt innvirkningen på vegdekkets tilstandsutvikling. Det er imidlertid få arbeider som tar for seg hele kjeden mellom grunnvannstandens innvirkning på fuktforholdene i grunnen og i de granulære materialer i vegoverbygningen, hvordan dette innvirker på materialeegenskapene under trafikkpåkjenninger, med angivelse av forventet betydning for vegdekkenes tilstandsutvikling.

Basert på en vurdering av rapporter fra et utvalg av prosjekter, har man valgt å basere en overslagsmessig beregning av kostnader for å opprettholde dagens vegdekkstandard ved endret grunnvannsnivå som følge av klimaendringene, i hovedsak på to arbeider:

- Modellene i Pavement Health Track fra FHWA i USA
- Analyser gjennomført som en del av ROADEX-prosjektet

De sentrale deler av modellene i Pavement Health Track er identiske med modellene i versjon 0.7 av Mechanistic - Empirical Pavement Design Guide fra FHWA. Disse beregningene er kalibrert til norske forhold i Vegkapitalprosjektet.

Analysene fra ROADEX-prosjektet består i hovedsak av sammenlikninger av målt tilstandsutvikling i indre kjørefelt (kjørefelt i skjæring) og ytre kjørefelt (kjørefelt på fylling) for veger i skånende terreng. Dersom man antar at differansen i dybde til grunnvannstand under ytre hjulspor i de to kjørefeltene er ca. 1,0 meter, får man at en heving av grunnvannstanden i størrelsesorden 0,10 meter gir en økning i sporutviklingen på ca. 2,5 %. For det norske riks- og fylkesvegnettet vil dette kreve en økning i dekkevedlikeholdskostnadene på ca. 30 Mill. kroner per år for å opprettholde vedlikeholdsstandarden som i dag.

NVE drifter et landsomfattende mark- og grunnvannsnett med om lag 80 målepunkt hvor grunnvannsstand overvåkes. Generelt ser det ut til at den årlige variasjonen i grunnvannstanden ligger mellom 1 og 2 meter, men med unntak. Et fåtall av målepunktene har små årlige variasjoner på bare noen centimeter, mens andre igjen varierer med 5-6 meter. Hvordan grunnvannsmagasinet endrer seg gjennom året varierer også lokalt. Forventet endring i grunnvannsmagasinet som følge av klimaendringer for perioden 1961 – 1990 til 2070 – 2100 er gjennomført av NVE.

I det meste av landet er det estimert en økning i grunnvannsmagasinet om høsten, vinteren og våren, mens det er en reduksjon om sommeren. Den største økningen får man om våren. I det meste av landet er økningen i grunnvannsmagasinet mindre enn 30 mm. Dersom man antar at den vesentlige delen av sporutviklingen på grunn av deformasjoner i grunnen og i de granulære lag i vegoverbygningen skjer om våren og høsten, samt at man i disse årstidene ut fra figur 29 estimerer at den gjennomsnittlige økning i grunnvannstanden er ca. 20 mm, får man at økningen i dekkevedlikeholds-

kostnadene som følge av klimaendringenes innvirkning på grunnvannstanden er i størrelsesorden 10 Mill kroner per år.

Et viktig tiltak for å motvirke effekten av endret grunnvannstand på dekkevedlikeholdskostnadene, er å sørge for at man har et velfungerende drencsystem for vegene.

I Vegkapitalprosjektet har Statens vegvesen beregnet det vedlikeholdsmessige etterslep for vegens drencsystem for riksvegnettet (2003) og for fylkesvegnettet (2005). Disse analysene er basert på riks- og fylkesvegnettet slik det var før forvaltningsreformen pr. 1.1.2010.

Disse beregningene er seinere justert og oppdatert ut fra Statistisk sentralbyrås Byggekostnadsindekser for riks- og fylkesvegvedlikehold. På oppdrag fra KS - Kommunesektorens interesse- og arbeidsgiverorganisasjon har Multiconsult i 2009 gjennomført en ny analyse av etterslepet for det øvrige riksvegnettet slik dette var før forvaltningsreformen. Denne analysen viste at volumet av etterslepet (ut over det som skyldes prisøkning) hadde økt med ca. 14 %.

Det synes ikke å være grunnlag for å anta at drencsystemene for vegene har hatt en mer gunstig utvikling med hensyn på vedlikeholdsetterslep en de øvrige vegobjekter i tiden etter Vegkapitalprosjektet. De forskjellige tiltakspakker har i stor grad vært rettet mot vegdekker og andre lett synlige tiltak.

Dersom etterslepstallene for hovedprosess 4 på riks- og fylkesveger fra hhv 2003 (prisnivå 2002) og 2004 (prisnivå 2004) justeres med 14 % økning, samt prisjusteres til 2010-prisnivå, kan etterslepet pr 1.1.2008 estimeres til 2,7 mrd. kroner.



## Litteraturliste

1	National Cooperative Highway Research Program, NCHRP <i>Guide for Mechanistic-Empirical Pavement Design System version 0.7 Part 3 Design Analysis, Chapter 3 Design of New and Reconstructed Flexible Pavements</i> USA 2004
2	ERA-NET Road P2R2C2 <i>Overall Advice &amp; Summary, draft Final Report</i> ERA-NET Road P2R2C2, October 2010
3	Carrera A, Dawson A and Steger J <i>State of the art of materials' sensitivity to moisture content change</i> ERA-NET Road P2R2C2, Report nr 2, October 2010
4	<i>Pavement Health Track (PHT). RSL Forecasting Models. Technical Information.</i> Federal Highway Administration, Office of Asset Management, May 2010
5	Andrew Dawson og Pauli Kolisoja <i>Permanent Deformation. Report on Task 2.1</i> ROADEX II; oktober 2004
6	Geir Berntsen og Timo Saarenketo <i>Drainage on Low Traffic Volume Roads. Problem description, improvement techniques and life cycle costs</i> ROADEX II; april 2005
7	Wiman, Leif G <i>Accelerated load testing of pavements. HVS-Nordic tests in Sweden 1999</i> VTI rapport 477A, 2001
8	COST 351 Water Movement in Road Pavements and Embankments <a href="http://www.watmove.org">www.watmove.org</a>
9	Øystein Myhre og Ragnar Evensen <i>Samfunnsmessige konsekvenser av forskjellige innsatsnivåer innen drift og vedlikehold. Delrapport drenering</i> Statens vegvesen, Vegteknisk avdeling, Intern rapport 2269, 2002
10	McGaw, R. <i>Frost heaving versus depth to water table.</i> Highway Research Record 393 Highway Research Board, Washington, D.C., 1972
11	Bayomy, F. M. Al-Taher, M. G. and Salem, H. M. <i>Prediction of seasonal variation of subgrade resilient modulus using LTPP data.</i> TRB 2003 annual meeting
12	Vägverket Metodbeskrivning VVMB 120 <i>Inventering och värdering av befintlig väg</i> Vägverket Publikation 2009: 109
13	Andrew Dawson et al <i>Water in Road Structures. Movement, Drainage &amp; Effects.</i> Springer Science+Business Media B.V. 2009
14	<i>Virkninger av endret klima på sporutvikling på vegger med bituminøst dekke</i>

	Klima og transport, Delprosjekt 5, Tilstandsutvikling på vegnettet Vegdirektoratet, 2011
15	Johnny M. Johansen et al <i>Tilstandsutviklingsmodell for vegfundament og vegdekke</i> Vegkapitalprosjektet Vegkapital/Delprosjekt VEG ViaNova Plan og Trafikk AS, Desember 2005
16	Opdahl J. og Colleuille H., 2010 <i>Landsomfattende mark- og grunnvannsnnett. Drift og formidling 2009.</i> NVE rapport nr. 9 2010
17	<a href="http://www.grunnvann.no">www.grunnvann.no</a>
18	<a href="http://www.nve.no">www.nve.no</a>
19	<i>Beregning av vedlikeholdsmessig etterslep for riksvegnettet</i> Vegkapitalprosjektet, Vegdirektoratet 2003
20	<i>Beregning av vedlikeholdsmessig etterslep for fylkesvegnettet</i> Vegkapitalprosjektet, Vegdirektoratet 2005
21	<i>Vedlikeholdsetterslep i vegsektoren. Tilstand og teknisk oppgraderingsbehov.</i> Multiconsult Rapport 119066 2009
22	Even Sund <i>Asfaltdagen 2011 Vegdekker – Status og veien videre</i> Innlegg på Asfaltdagen 2011 i Norsk Asfaltforening

## Vedlegg 2



### **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, økt nedbørmengde, kortere vintre, raskere værendringer osv. har påvirkning på material- og vegkonstruksjonsparametere, slik som stivhet, deformasjonsegenskaper, mm.

Delprosjektet ser på konsekvensene ved endret klima for to vegtyper:

- veger med asfaltdekke – det mest trafikkerte vegnettet, der kravet til standard er høyest og vedlikeholdskostnadene størst.
- grusveger – som utgjør en stor andel av vegnettet (ca. 26 % av fylkesvegnettet før 2010 og enda større andel av det kommunale vegnettet) og som er spesielt sårbare for klimapåvirkning. Skogsbilvegnettet er større enn det offentlige vegnettet og det meste av dette er grusveger med svært varierende standard.

Delprosjektet utreder grusvegnettets forhold i endret klima på en kvalitativ måte. For veger med asfaltdekke brukes modeller for beregning av tilstandsutvikling under påvirkning av klimaparametere. Disse modellene krever en tilpassing 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 3



### Prosjektrapporter fra 'Klima og transport' – pr mai 2011

Rapportnr.	Tittel	Utarbeidet av
2519	Klimapåvirkning av vegbyggingsmaterialer State of the art studie	Bjørn Ove Lerfald og Inge Hoff, SINTEF Byggforsk
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 E 136 Dombås - Ålesund	Kristine Flesjø og Hilde Hestangen, Statens vegvesen og Than Ngan Nguyen, NTNU student
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 og Kari Svelle Reistad, NVE
2599	Klimaets påvirkning på tilstandsutvikling for vegdekker – E136	Ragnar Evensen, ViaNova Plan og Trafikk AS
2600	Risikovurdering av steinsprangfare på Oppdølsstranda Samling av bakgrunnsmateriale	Heidi Bjordal, Statens vegvesen
2609	RV362 Bitu bru, Vinje kommune, Telemark, Pilotprosjekt erosjonssikring	Øyvind Armand Høydal,NGI
2610	Veger og drivsnø Håndbok om planlegging og drift av veger i drivsnøområder - Høringsutgave	Harald Norem og Espen Thøring, Statens vegvesen, Skuli Thordarson, Vegsýn
VD 4	Ny prioriteringsmodell for rassikringsplanene	Viggo Aronsen, Statens vegvesen m.fl.
VD 17	Pilotprosjekt på stikkrenner Casestudier Bulken, Sagelva og Neveråa	Jon Erling Einarsen, ViaNova Plan og Trafikk AS, Lena Tøfte, SINTEF, Øyvind Simonsen og Eivind Hesselberg, COWI AS
VD 18	Pilotprosjekt på stikkrenner Kapasitetsberegning E136 Dombås - Ålesund	Espen Arntzen, Egil Andersen, Multiconsult AS
VD 19	Databehov ved trinnsvis varsling av snøskredfare Erfaringer fra lokal og regional varsling i Møre og Romsdal mars 2010	Tore Humstad, Statens vegvesen
VD 20	NVDB som grunnlag for klimatilpasning Vurdering av datamodeller og data	Knut Jetlund, Statens vegvesen

VD 21	Samordning av vær- og klimadata Hvordan oppnå bedre utnyttelse av data fra statens værstasjoner?	Tore Humstad, Statens vegvesen m.fl.
VD 22	Kartportal FørVar Oppsummering ved prosjektets slutt	Tore Humstad, Statens vegvesen
VD 23	ROS-analyser av bruer mht værrelaterte hendelser	Arne Gussiås, Hans Olav Hagen, Statens vegvesen
VD 24	ROS-analyser av stikkrenner mht værrelaterte hendelser	Skuli Thordarson, Vegsýn, Steinar Myrabø, Jernbaneverket og Øystein Myhre, Statens vegvesen
VD 25	ROS-analyser av vegoverbygning mht værrelaterte hendelser	Ivar Horvli, ViaNova Plan og trafikk AS /Statens vegvesen
VD 26	Tilstandsutvikling på vegnettet Virkninger av endret klima på sporutvikling på veger med bituminøst dekke	Ragnar Evensen, ViaNova Plan og trafikk AS
VD 27	Veger og snøskred Håndbok om sikring mot snøskred - Høringsutgaven	Harald Norem, Statens vegvesen
VD 28	Beredskapsplan for driftskontraktene Forslag til ny mal for beredskapsplan ved uvær og naturfarer	Tore Humstad, Solveig Kosberg, Statens vegvesen
VD 30	Miljøeffekt av endret klima Oversikt over mulige problemstillinger	Ola Nordal, Asplan Viak AS



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet  
Publikasjonsekspedisjonen  
Boks 8142 Dep.  
N-0033 Oslo  
Tlf. (+47 915)02030  
E-post: [publvd@vegvesen.no](mailto:publvd@vegvesen.no)

ISSN: 1892-3844