



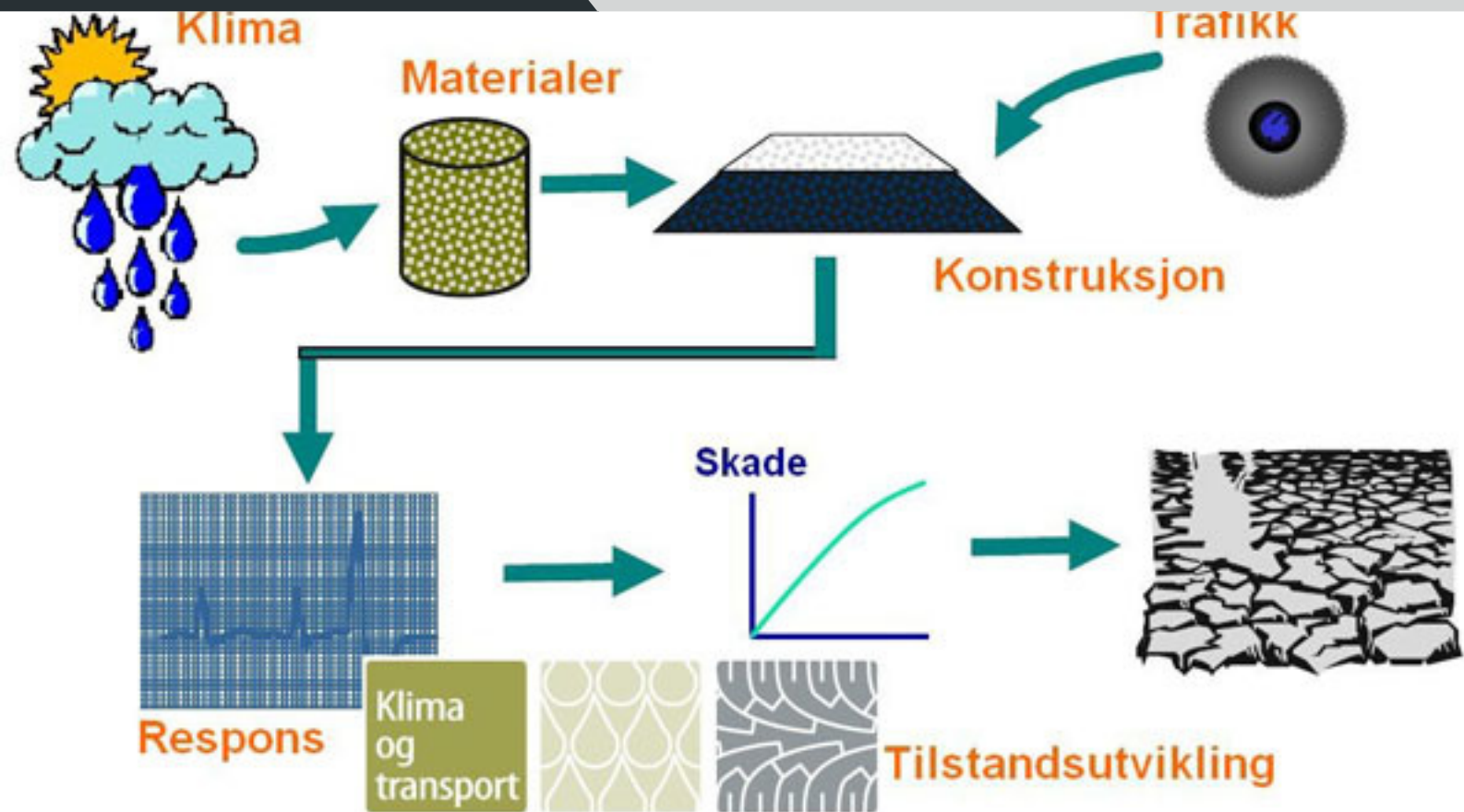
Statens vegvesen

Vurdering av EDB-system for beregning av nedbrytning av veg

RAPPORT

Teknologiavdelingen

Nr. 2520





Statens vegvesen

TEKNOLOGIRAPPORT nr. 2520

Tittel

Vurdering av EDB-system for beregning av nedbrytning av veg

Vegdirektoratet
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep
0033 Oslo

Telefon: (+47 915) 02030

www.vegvesen.no

Utarbeidet av

Ragnar Evensen, ViaNova Plan og Trafikk AS

Dato:

2007-12-15

Saksbehandler

Geir Berntsen

Prosjektnr:

602000

Kontrollert av

Per Otto Aursand

Antall sider og vedlegg:

34

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. Gjennom samarbeidet med Jernbaneverket er banetransport også inkludert.

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.

Denne rapporten har som mål å vurdere en del alternative modeller for tilstandsutvikling med hensyn på modellens egnethet til å studere hvordan klimaendringer innvirker på vegkroppens nedbrytning.

Summary

Emneord:

Etatsprosjekt Klima og Transport, Dp 5 Tilstandsutvikling på vegnettet

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 planlegging, prosjektering, bygging, drift og vedlikehold av vegnettet som svar på endrede klimaforhold.

Denne rapporten tilhører delprosjekt 5 ”Tilstandsutvikling på vegnettet!

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

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

- NTP-rapport ”Virkninger av klimaendringer for transportsektoren”, laget av en tverretattlig gruppe i transportsektoren: Jan Otto Larsen (leder) og Pål Rosland (sekretær), Statens vegvesen Vegdirektoratet, Kjell Arne Skoglund, Jernbaneverket, Eivind Johnsen, Kystverket og Olav Mosvold Larsen, Avinor.
- Vedleggsrapport ”Regionale klimascenarier for transportsektoren i Norge – en oppdatering”, av Jan Erik Haugen og Jens Debernard, Det Norske Meteorologiske institutt, februar 2007.

Vedleggsrapporten fra Meteorologisk institutt baserer seg på resultatene fra det nasjonale klimaprojektet RegClim. Fire nye regionale klimascenarier utviklet i RegClim prosjektet ble analysert som felles datasett.

'Klima og transport' består av følgende delprosjekter:

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

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

Delprosjekt 5, som denne rapporten hører til, studerer virkninger av klimaendringer på nedbrytning av vegnettet samt vurderer tiltak og tilhørende kostnader for å opprettholde dagens vegstandard. Ved utgivelsen av denne rapporten er delprosjektleder Geir Berntsen, Statens vegvesen Region øst. For mer informasjon om delprosjekt 5, se vedlegg 1.

Denne rapporten er utarbeidet av Ragnar Evensen, Via Nova. Rapporten beskriver og sammenligner flere EDB-systemer for beregning av nedbrytning av vegen og konkluderer med et forslag til system som skal brukes videre i prosjektet.

For oversikt over tidligere andre rapporter fra 'Klima og transport', se vedlegg 2.

Innhold

Behovet for tilstandsutviklingsmodeller	3
Klimascenarier	3
Noen aktuelle modeller for tilstandsutvikling	5
<i>MMOPP 2007, Danmark</i>	5
<i>PMS Objekt, Sverige</i>	8
<i>AASHTO 2002 Mechanistic Empirical Design Guide</i>	16
<i>HDM 4, PIARC</i>	24
<i>Modellering basert på Markov-kjeder</i>	28
Highway Investment Programming System, HIPS	29
LIFECON 31	
<i>Modeller for piggdekkslitasje</i>	32
Forslag til valg av modell(er)	33

Behovet for tilstandsutviklingsmodeller

Delprosjekt 5 ”Tilstandsutvikling på vegnettet” omhandler virkninger som endret klima har for nedbrytning av vegnettet samt vurdering av tiltak og tilhørende kostnader for å opprettholde dagens vegstandard.

Dette studiet har som mål å vurdere en del alternative modeller for tilstandsutvikling med hensyn på modellenes egnethet til å studere hvordan klima og klimaendringer innvirker på vegkroppens nedbrytning.

Vegmyndighetene i de nordiske land har gått sammen om et strategisk forskningssamarbeid med det formål å samordne og finansiere felles forskningsbehov, NordFoU. Innen dette programmet har Norge ledelsen av et utviklingsprosjekt om nedbrytningsmodeller for vegoverbygninger med fleksible dekker. Resultatet fra dette prosjektet er foreløpig ikke med i dette notatet, men det er naturlig å utnytte mest mulig fra prosjektet så snart dette foreligger.

Tilstandsutviklingsmodeller for vegoverbygning har fått stor oppmerksomhet i fagmiljøet de siste 10 – 20 årene. Både PMS (Pavement Management Systems) og forvaltning av vegkapital (Asset Management) må ha modeller for tilstandsutvikling som en del av systemet. Modellene for tilstandsutvikling kan variere med hensyn til både presisjon, nøyaktighet, hvilke inngangsparametre som inngår i modellene og modellenes følsomhet overfor endringer i inngangsparametrene. Gode modeller for tilstandsutvikling er ofte sett på som den kritiske faktor for å få pålitelige resultater fra de overordnede systemene.

Prognoser for tilstandsutvikling har i de seinere år også fått stor oppmerksomhet i forbindelse med dimensjonering av veger. Tilstandsutviklingsmodeller er blitt en helt nødvendig del av mange dimensjoneringsystemer. Uten slike modeller har man ingen mulighet for å vurdere om man ved vegdimensjonering har gjort en god eller en dårlig jobb.

Tilstandsutviklingsmodeller som en del av dimensjoneringsystemet er egentlig ikke noe nytt. Også i de første AASHTO-modellene fra 1960 bygde på et sett av tilstandsutviklingsmodeller. Selv om AASHTO-dimensjoneringen var helt sentral i utviklingen av norske dimensjoneringsregler, fikk selve modellene for tilstandsutviklingen relativt liten oppmerksomhet i Norge.

Klimascenarier

Rapporten ”Virkninger av klimaendringer for transportsektoren” inneholder scenarier for klimaendringer frem til 2100. Dette omfatter følgende klimafaktorer/parametre:

- Vind antall tilfeller med sterk vind
- Lufttrykkgradienter antall tilfeller med intense lavtrykk
- Nedbør antall tilfeller med store nedbørsmengder
- Temperatur antall tilfeller med ekstreme temperaturer
- Fryse/tineperioder antall tilfeller med fryse-/ tineperioder
- Bølger og vannstand signifikant bølgehøyde

Et sammendrag av forventede endringer for fire av klimafaktorene i listen ovenfor er gjengitt i tabellen nedenfor for de 12 regioner som inngår i analysen. Av tabellen ser en at de opprinnelige 12 regionene er redusert til 7 geografiske områder.

Geografiske områder	Kyststrøkene (utaskjærs + 50 – 100 km landstripe)					Innlandet (SørNorge)	
	Øst-Finnmark	Finnmark - Rørvik	Rørvik - Stadt	Vestlandet	Stavanger - Grenland	Langfjellene - Meråker	Østlandet
Regioner	1	2 - 4	5	6	7 - 8	9 - 10	11 - 12
Dager med nedbør over 20 mm							
Vinter	±	+ 30	±	+ 30	+ 80	±	±
Vår/sommer	±	+ 30	-10	+ 30	+ 50	+ 10	+ 50
Høst	±	+ 30	+ 15	+ 50	+ 30	+ 80	+ 80
Dager med snøfall over 10 cm							
Vinter	±	- 30	- 40	- 50	- 40	+ 30	+ 20
Dager med vind over 20 m/s							
Vinter	±	±	±	+ 10	+ 20	±	±
Vår/sommer	- 25	- 40	- 10	- 10	- 30	±	±
Høst	+ 15	+ 15	+ 15	+ 15	+ 20	±	±
Dager med temperatur ±2°C							
Vinter	+ 15	- 30	- 40	- 60	- 50	+ 60	+ 15

Tabell 1. Forventede klimaendringer frem til år 2100

Nedbøren antas å være blant de klimafaktorer hvor endringer har størst innvirkning på vegkroppens nedbrytning. Dette gjelder både frekvensen av dager med spesielt store nedbørsmengder, og endringer i gjennomsnittlig nedbør regnet over måneder eller årstider.

Dager med nedbør som snø har først og fremst innvirkning på vinterdriften. Indirekte kan det også ha en viss innvirkning på vegdekkets tilstandsutvikling, bl.a. ved at preventiv salting gir flere og lengre perioder med våt vegbane og dermed større piggdekkslitasje.

Isolert sett er vind sannsynligvis ikke den klimafaktor som har størst innvirkning på vegkroppens nedbrytning og tilstandsutvikling. I kombinasjon med andre klimafaktorer, som f.eks. temperatur, kan man likevel anta at vinden har en viss innvirkning. For vinterdriften er det forsåvidt positivt at regioner med mer vind om vinteren synes å få mindre nedbør som snø, og at regioner med flere dager med store snømengder, ikke forventes å få mer vind om vinteren.

Antall tilfeller med fryse-/tineperioder må forventes å ha stor betydning for vegkroppens nedbrytning. Store deler av det sekundære vegnettet har telefarlige materialer like under asfaltdekket slik at fryse-/tineperioder kan gi redusert bæreevne store deler av vinteren. Tabellen ovenfor viser at hyppigheten av slike perioder vil bli redusert i kyststrøkene, dvs. de regioner hvor dette er et problem i dag, mens det forventes en økning av fryse-/tineperiodene i Øst-Finnmark og i innlandet i Sør-Norge, dvs. de regioner hvor man tradisjonelt ikke har hatt denne type problem og hvor valg av materiale i bærelag og forsterkningslag i mindre grad har tatt hensyn til slike problemer.

Temperaturen er også blant de klimafaktorer som er av stor betydning for vegkroppens nedbrytning. For asfalt er det vanlig å ha fokus på laveste lufttemperatur (egentlig: laveste asfalttemperatur) og midlere maksimum lufttemperatur regnet over 7 døgn. Også for denne parameter er det asfalttemperaturen man er mest interessert i. I tillegg til lufttemperaturen bestemmes asfalttemperaturen av vindstyrke og solinnstråling.

De endringer som er beskrevet i scenariene, er over relativt mange år. Frem til 2100 vil det på de fleste veger være gjennomført minst 5 – 10 dekkefornyelser, og man har hatt rikelig anledning til å ta hensyn til forventede temperaturendringer bl.a. ved valg av bindemiddel. Den mest krevende situasjon vil man ha de steder hvor vintrene fortsatt er kalde men hvor maksimumstemperaturene øker.

Noen aktuelle modeller for tilstandsutvikling

I avsnittene nedenfor er noen av de mest aktuelle tilstandsutviklingsmodellene vurdert og kommentert.

Som en del av Delprosjekt VEG under Vegkapitalprosjektet ble tre modeller diskutert. Dette var:

MMOPP, Danmark

MMOPP er et dimensjoneringsprogram utviklet av Vejdirektoratet i Danmark. I Vegkapitalprosjektet ble versjon 4 av programmet vurdert benyttet. Programmet foreligger nå i 2007-versjon. Dimensjoneringsprogrammet MMOPP (Mathematical Modelling of Pavement Performance) har dimensjonering i tre nivåer. Nivå 3 består i modellering av forventet tilstandsutvikling.

HDM 4, PIARC.

HDM 4 ble opprinnelig utviklet av Verdensbanken, siden 1996 har PIARC overtatt eierskapet og distribusjonen av systemet. Arbeidet i Vegkapitalprosjektet bygget på versjon 1.3 fra 2000. Systemet foreligger nå i versjon 2.0. Dokumentasjonen til versjon 2.0 har vært tilgjengelig fra juni 2007, men den er begrenset til de som har anskaffet programmet i versjon 2.0. Det er ikke gitt anledning til oppgradering fra versjon 1.3 til versjon 2.0.

AASHTO 2002 Design Guide (ME-PDG)

Programmet er utviklet under NCHRP i USA. Arbeidet har foregått i ca 10 år, og utviklingen pågår fortsatt. I Vegkapitalprosjektet ble versjon 0.7 fra juli 2004 benyttet i analyser av tilstandsutviklingen for det norske riksvegnettet. I forhold til tidligere versjoner hevdes det å være vesentlige forbedringer i versjon 1.0 som var tilgjengelig fra juli 2006.

MMOPP 2007, Danmark

Av de dimensjoneringsystemer som er vurdert, er MMOPP 4 det eneste som inkluderer og som gir mulighet for å variere kjøretøyenes avfjærings- og dempningssystem. Systemet tar utgangspunkt i en statistisk modell av en vegoverflate med ujevnheter. Ujevnheter gir variasjoner i de dynamiske påkjenninger på vegoverflaten, som igjen fører til endringer i vegoverbygningens materialeegenskaper. Responsmodellen er WESDEF, en tradisjonell modell basert på homogene, lineært elastiske materialeegenskaper.

MMOPP bygger i det alt vesentlige på arbeidene til Kirk og Ullidtz. Det er relativt stor fokus på materialenes E-moduler og endringer i disse som en følge av de påkjenninger materialene blir utsatt for. Systemet inneholder i tillegg modeller for tilstandsutvikling med hensyn på spor og jevnhet.

Klimatisk har man tatt utgangspunkt i den inndeling i klimaperioder som benyttes i ATB Väg i Sverige, klimasone 1, og utvidet denne med en ”hetebølge” på 10 dager. For overbygningen i forhold til materialet i grunnen, inndeles vegkonstruksjonen i kategoriene

frostsikker, frosttvilsum og frostfarlig. Ut over dette må innvirkningen av klimaforhold og vegens omgivelser legges inn manuelt ved valg av E-moduler.

I brukermanualen til MMOPP 4 er det presisert at systemet er kalibrert til danske forhold.

Beregningene i MMOPP tar utgangspunkt i variasjoner i materialenes E-modul i de forskjellige klimaperioder som vist i tabellen nedenfor. I denne er E1 E-modulen for asfalt, E2 er E-modulen for mekanisk stabiliserte bærelag, E3 er E-modulen for bundsikringslaget (forsterkningslaget) og Em er E-modulen for materialet i grunnen.

Klimaperiode	Lengde dager	Temperatur °C	E1 faktor	E2 faktor	E3 faktor	Em faktor
Vinter	49	-2	4,0	4,2	10	20
Seinvinter	10	1	3,7	0,33	10	20
Teeløsning	15	1	3,7	0,67	0,7	0,6
Senvår	46	4	3,1	1,0	0,85	0,8
Sommer	143	20	1,0	1,0	1,0	1,0
Hetebølge	10	50	0,3	1,0	1,0	1,0
Høst	92	7	2,6	1,0	1,0	1,0

Tabell 2. Klimaperiodens innvirkning på materialenes E-moduler, med sommer som referanse

Som det fremgår av tabellen over, er sommerperioden en referanse for alle estimerte variasjoner av E-modulen avhengig av årstiden. Kun ett sett av variasjoner for E-modulen for materialet i grunnen er sannsynligvis et resultat av at det er relativt ensartede grunnforhold i nesten hele Danmark.

Brukerveiledningen til MMOPP angir at programmet foreligger i flere versjoner. I Vejregel-utgaven er klima-vinduet hvor verdiene i tabellen over kan endres, deaktivert.

MMOPP har også en modell for frostnedtrengning. Frostnedtrengning i overbygningen beregnes ut fra en modell angitt i de sveitsiske normaler:

$$\text{Frostnedtrengning} = 45 \text{ mm} \times \text{frostgraddøgn}^{0,5} + \text{overbygningstykkelse (mm)}/2$$

Frostgraddøgn beregnes ut fra en tidsrekke for årene 1873 til 2003 registrert av DMI på Tranebjerg (station 27080). Det er daglig angitt de 24 foregående timers maksimums og minimums temperatur. Under antagelse av at gjennomsnittet av max og min også er døgnets gjennomsnitt, er det beregnet et akkumulert frostgraddøgn for alle perioder med negativ temperatur, og det høyeste antall frostgraddøgn for hvert år er lagret som årets frostgraddøgn.

Dimensjonering med simulering er knyttet til følgende kriterier:

- IRI
- spor
- asfaltens gjennomsnittlige E-modul
- asfaltens minste E-modul

I programmet er det lagt inn følgende utvikling av asfaltmaterialets E-modul.

$$E_{\text{etter}} = E_{\text{før}} \times \left(1 - 0,5 \times \left(\frac{\varepsilon_{\text{aktuell}}}{\varepsilon_{\text{tillatt}} \times VB / 10\%} \right)^n \times \frac{dN}{k_{\text{temp}} \times CP_{\text{faktor}}} \right)$$

hvor	$\varepsilon_{\text{aktuell}}$	= den beregnede tøyning i asfaltens underside
	$\varepsilon_{\text{tillatt}}$	= tillatt tøyning i asfaltens underside, ved 1 million passeringer
	VB	= volumprosent bitumen
	n	= utmattelsesmodellens eksponent (= 5,62, Kirk)
	dN	= antall passeringer i perioden
	k_{temp}	= en temperaturkorreksjon (for å få frem mindre bruddfølsomhet ved høyere temperaturer)
	CP_{faktor}	= en fast konstant, en kalibreringskonstant

For langsomtgående trafikk er det lagt inn følgende relasjon

$$\frac{E_{V1}}{E_{V2}} = \left(\frac{V1}{V2} \right)^{0,37}$$

hvor	E_{V1}	= E-modulen ved trafikkhastighet V1
	E_{V2}	= E-modulen ved trafikkhastighet V2

Ved langsomtgående trafikk anbefales det at støttillegget reduseres. Dette må gjøres manuelt.

De **permanente deformasjoner** beregnes ut fra ekvivalente tykkelsers metode og dynamiske påkjenninger (ut fra dynamiske E-moduler). Disse resultatene anvendes til å beregne permanente deformasjoner ut fra en plastisk E-modul.

Det gjennomføres beregninger ut fra et forløp opp til tre faser, hvorav den siste (kollaps) ikke er med i programmet.

- 1: materialets plastiske deformasjonshastighet er avtagende
- 2: materialets plastiske deformasjonshastighet er konstant
- 3: materialets plastiske deformasjonshastighet er økende (inngår ikke i analysen)

For fase 1 er det angitt følgende forhold:

$$\varepsilon_p = A \times N^B \times (\sigma_1 / \sigma')^C$$

For fase 2:

$$\varepsilon_p = \varepsilon_0 + (N - N_0) \times A^{1/B} \times B \times \varepsilon_0^{1-1/B} \times (\sigma_1 / \sigma')^{C/B}$$

$$\text{hvor: } N_0 = \varepsilon_0^{1/B} \times A^{-1/B} \times (\sigma_1 / \sigma')^{-C/B}$$

A, B og C er kalibreringskonstanter.

Læreboken til Per Ullidtz beskriver følgende relasjoner mellom IRI, spordybde og permanente tøyninger:

$$IRI = 0,49 \times 10^{-6} \times N^{0,23} \times \mu \varepsilon_Z^{1,532}$$

$$RD = 1,44 \times 10^{-6} \times N^{0,23} \times \mu \varepsilon_Z^{1,536}$$

Den enkleste måten man kan benytte MMOPP i en vurdering av klimaendringers innvirkning på tilstandsutviklingen, vil være å gjennomføre sammenliknende analyser hvor det kan være aktuelt å endre både klimaperiodenes lengde og faktorene for materialegenskaper.

MMOPP har imidlertid ingen verktøy som kobler f.eks. månedlig nedbør til fuktforholdene i vegoverbygningen og i underbygningen, men faktorene for E-moduler under de forskjellige klimaperioder, gjengitt i tabellen over, gir en liten indikasjon av variasjonsområdene.

PMS Objekt, Sverige

PMS-objekt er et dimensjoneringsprogram for veger. Programmet bygger på dimensjoneringsreglene i ATB Väg. Programmet er i prinsippet et dimensjoneringsprogram, men det ligger til grunn noen modeller for tilstandsutvikling.

Også i Sverige uttrykkes trafikklastene i antall ekvivalente standardaksler i dimensjoneringsperioden, på tilsvarende måte som i Håndbok 018.

$$N_{ekv} = \text{ÅDT}_k * 3,65 * A * B * \sum_{j=1}^n \left(1 + \frac{k}{100}\right)^j$$

hvor ÅDT_k = ÅDT pr kjørefelt

A = andel tunge kjøretøy i %

B = ekvivalent antall standardaksler pr tunge kjøretøy

k = trafikkveksten pr år i %

ATB Väg har følgende anbefalte verdier for ekvivalent antall standardaksler pr tunge kjøretøy.

Vegtype	Faktor B
Europaveg	1,3 – 4,0
Regional veg, mye tung trafikk	3,0 – 5,0
Regional veg, normal mengde tung trafikk	0,9 – 2,5
Lokal veg, liten andel tung trafikk	0,2 – 1,0
lokal veg, mye tung trafikk	3,0 – 5,5

Tabell 3. Tungtrafikkens B-faktor, ATB Väg

Faktoren B er det samme som produktet av C (antall aksler pr tunge kjøretøy) og E (gjennomsnittlig ekvivalensfaktor). I Norge har vi mao. følgende standardverdi for faktoren B for veger med 10 tonns tillatt aksellast:

$$B = 2,4 * 0,424 = 1,02$$

I Sverige er det gitt forskjellige dimensjoneringsperioder for vegoverbygningen i forhold til underbygningen og grunnens bæreevne

	National og regional veg	Lokal veg
Bundet bär Lager i vägöverbyggnad som inte är betongöverbyggnad	20 år	
Underbyggnad och undergrund: Bärförmåga och beständighet	40 år	40 år

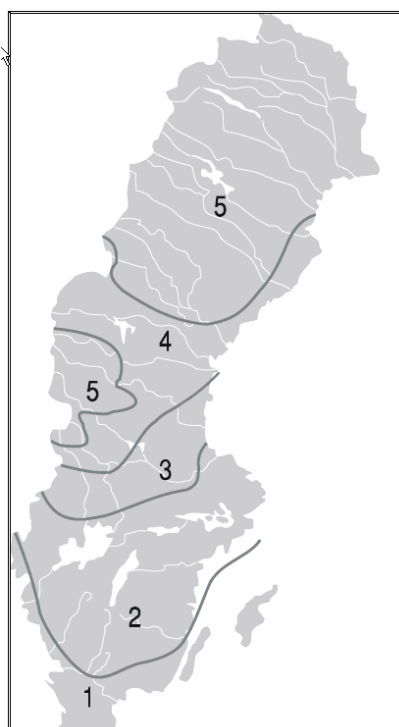
Fleksible konstruksjoner skal konstrueres slik at materialet i grunnen tåler belastninger som i antall er minst 2 ganger den akkumulerte lasten under den dimensjoneringsperiode som gjelder for stabiliserte lag i vegoverbygningen.

Klimaet inngår i dimensjoneringsreglene i ATB Väg som en matrise med fem klimasoner og seks klimaperioder. Tabellen nedenfor angir gjennomsnittlig antall dager i hver klimaperiode.

	Klimasone				
	1	2	3	4	5
Vinter	49	80	121	151	166
Teleløsningsvinter	10	10			
Teleløsning	15	31	45	61	91
Sen vår	46	15			
Sommer	153	153	123	77	47
Høst	92	76	76	76	61

Tabell 4. Gjennomsnittlig antall dager i hver klimaperiode for de forskjellige klimasoner

En oversikt over de forskjellige klimasoner er vist på kartet nedenfor.



Gjennomsnittlig temperatur i asfaltlagene i hver klimasone og hver klimaperiode er gitt i tabell 5 nedenfor.

	Klimasone				
	1	2	3	4	5
Vinter	-1,9	-1,9	-3,6	-5,1	-7,0
Teleløsningsvinter	1,0	1,0			
Teleløsning	1,0	2,3	4,5	6,5	7,5
Senvår	4,0	3,0			
Sommer	19,8	18,1	17,2	18,1	16,5
Høst	6,9	3,8	3,8	3,8	3,2

Tabell 5. Gjennomsnittlig asfalttemperatur per klimasone og klimaperiode

ATB Väg inneholder komplette tabeller for stivhetsmodul for en rekke bituminøse materialer som funksjon av klimasone og klimaperiode:

Bituminøse materialer

- Belegning av MAB, nybygging, tykkelse < 50 mm
- Belegning av AG, nybygging, tykkelse 0 – 100 mm
- Belegning av Ag, nybygging, tykkelse \geq 100 mm
- Bitumenbundne materialer til vedlikehold og forsterkningsarbeider, tykkelse < 90 mm
- Bitumenbundne materialer til vedlikehold og forsterkningsarbeider, tykkelse 90 -140 mm
- Bitumenbundne materialer til vedlikehold og forsterkningsarbeider, tykkelse \geq 140 mm

For ubundne materialer i overbygningen er det gitt tilsvarende tabeller som funksjon av klimaperiode og splittet i bærelag, knust og uknust forsterkningslag, samt skyddslager. (Skyddslager kan nærmest betraktes som et nedre forsterkningslag)

Ubundne materialer, nyere materialer, i overbygningen

Ubundne overbygningsmaterialer, nybyggnad

Ubundne overbygningsmaterialer, dreneringsgrad 1

Ubundne overbygningsmaterialer, dreneringsgrad 2

Ubundne overbygningsmaterialer, dreneringsgrad 3

For andre ubundne materialer i overbygningen er det gitt tabeller som funksjon av klimaperiode og splittet i bærelag og forsterkningslag.

Ubundne materialer, øvrige materialer i overbygningen

Ubundne overbygningsmaterialer, dreneringsgrad 1

Ubundne overbygningsmaterialer, dreneringsgrad 2

Ubundne overbygningsmaterialer, dreneringsgrad 3

For materialer i grunnen er det gitt tabeller som funksjon av klimaperiode og materialtype.

Materialer i grunnen

Ubundne overbygningsmaterialer, dreneringsgrad 1

Ubundne overbygningsmaterialer, dreneringsgrad 2

Ubundne overbygningsmaterialer, dreneringsgrad 3

I disse tabeller er følgende materialtyper angitt.

Materialtype 2	grus, sand, sandig grus, grusig sand, etc.
Materialtype 3	siltig grus, siltig sand, siltig morene, etc.
Materialtype 4	leire, leirig morene
Materialtype 5	silt, siltig morene, leirig silt

Programmet PMS Objekt gir anledning til å dimensjonere vegoverbygninger basert på egne materialer som innenfor rimelighetens grenser fraviker fra defaultverdiene.

Dimensjoneringskriteriene baseres på en sammenlikning mellom beregnet og tillatt antall ekvivalente belastninger i dimensjoneringsperioden. Beregningene baseres på største horisontale tøyninger og største vertikalspenninger.

$$N_{bb,i} = f_s * \frac{2,37 * 10^{-12} * 1,16^{(1,8 * T_i + 32)}}{\epsilon_{bb,i}^4}$$

$$N_{te,i} = f_d * \frac{8,06 * 10^{-8}}{\epsilon_{te,i}^4}$$

- hvor f_s = korrigeringsfaktor med hensyn på sprekker og krakelering
 $\epsilon_{bb,i}$ = største horisontale tøyning i bitumenbundne lag i klimaperiode i
 T_i = temperatur i bitumenlaget i klimaperiode i
 f_d = korrigeringsfaktor med hensyn på fuktighet i underbygningsmaterialet
 $\epsilon_{te,i}$ = største vertikale trykktøyning i underlaget i klimaperiode i

Tabeller for korrigeringsfaktorene f_s og f_d er gjengitt nedenfor.

Tabell C4-21 Korrigeringsfaktorer, f_s for sprickor och krakeleringar i bitumenbundna lager.

Skadegrad							
0	1	2	3	4	5	6	7
1,0	0,95	0,9	0,85	0,65	0,45	0,2	0

Tabell C4-22 Belägningens skadegrad utifrån bärighetsreducerande skadors svårighetsgrad och utbredning enligt "bära eller brista".

Svårighetsgrad			
Utbredning	1	2	3
Lokal	1	2	3
Måttlig	2	4	5
Generell	3	5	6

Tabell 6. Korrigeringsfaktor for skadegrad, ATB Väg

Tabell C4-24 Korrigeringsfaktor f_d for fukt och väta i terrassmaterial

	Överbyggnadens dräneringsgrad		
	1	2	3
Jord av materialtyp 2	1,0	1,0	0,9
Jord av materialtyp 3	1,0	0,9	0,8
Jord av materialtyp 4 A	0,9 *	0,8	0,8
Jord av materialtyp 4 B	0,8 *	0,7	0,7
Jord av materialtyp 5 dräneringsbar endast i vissa fall	0,7 *	0,6	0,6

* Om särskilda dräneringsåtgärder vidtas kan dessa faktorer justeras.

Kapillär stighöjd, dräneringens utseende, väggkroppens geometriska utformning, omgivningens topografi med flera faktorer bör beaktas vid justering av korrigeringsfaktorn f_d .

Tabell 7. Korrigeringsfaktor for fukt i overbygningen, ATB Väg

I flere analyser av svenske oppfølgingsstrekninger inngår **Sprekkeindeks** som en viktig tilstandsparameter. Sprekkeindeksen er definert ved likningen nedenfor.

$$SI = 2 * Kr + LSpr + TSpr$$

hvor Kr = indeks for krakelering

LSpr = indeks for langsgående sprekker

TSpr = indeks for tversgående sprekker

$$Kr = Kr_{Låg} + 1,5 * Kr_{Medel} + 2 * Kr_{Svår}$$

$$LSpr = LSpr_{Låg} + 1,5 * LSpr_{Medel} + 2 * LSpr_{Svår}$$

$$TSpr = TSpr_{Låg} + 1,5 * TSpr_{Medel} + 2 * TSpr_{Svår}$$

Indeksene Låg, Medel og Svår angir klassifiseringen i forhold til sprekkens alvorlighetsgrad jfr. den svenske skadekatalogen (Bära eller brista). Krakelering angis som lengde av sprekker (meter), langsgående sprekker angis som lengde av sprekker (meter) og tversgående sprekker angis som antall (stk). Normalt angis sprekkindeksen per 100 meter veg.

VTI notat 2-2004 har en validering av PMS Objekt mot registrert tilstandsutvikling på 359 oppfølgingsstrekninger i Sverige. Fokus i denne analysen er nybygde veger.

Hovedkonklusjonen i analysen er positiv med hensyn til å kunne validere fremtidig tilstandsutvikling med PMS Objekt, med en regresjonslikning som vist nedenfor.

$$\hat{A}R_{verkl} = 0,5537 * \hat{A}R_{PMSO} + 5,3019$$

hvor $\hat{A}R$ står for den virkelige, resp den beregnede dekkelevetiden.

I likningen over er virkelig levetid definert som levetiden frem til en sprekkeindeks lik 190, beregnet levetid er basert på antall ekvivalente aksellastpasseringer, basert på likningen for $N_{bb,i}$ ovenfor. Andre beregninger basert på kriteriet for sprekkeindeks lik 140 og 250 gir regresjonslikninger med andre konstanter, vist i tabellen nedenfor.

	Utløsende tilstand, sprekkeindeks		
	140	190	250
konstanten a	0,4362	0,5537	0,6947
konstanten b	5,3774	5,3019	5,2112
R^2	0,8059	0,8196	0,8114

Tabell 8. Konstanter i regresjonslikning for levetid ved forskjellige nivåer på utløsende dekktilstand mhp. sprekker

VTI notat 2-2005 har en tilsvarende validering av PMS Objekt for forsterkning av veg. Denne analysen omfatter i alt 53 observasjonsstrekninger, hver med en lengde på 100 meter. To av kriteriene for utvalg av strekninger var at man skulle ha registrering og beregning av sprekkeindeks over minst tre år og at siste registrerte sprekkeindeks skulle være minst 50 (av en teoretisk maksimalverdi på 160). Beregning av tillatt ekvivalente 10 tons aksellaster var basert på tøyning i underkant av asfaltlaget, $N_{bb,i}$.

Notatet presenterer korrelasjon mellom virkelig levetid og beregnet levetid ut fra kriterier for sprekkeindeks (hhv. 206 og 270).

Anvendelse av sprekkeindeks som kriterium for bestemmelse av dekkelevetid, er ikke spesielt godt egnet for analyser av det norske vegnettet hvor spor og jevnhet i hovedsak er valgt som kriterier for bestemmelse av dekkelevetid. Av den grunn er VTI notat 2-2007 ”Prognosemodell for spårutveckling orsakad av tung trafik” mer i tråd med norske kriterier.

Prognosemodellen for sporutvikling er basert på følgende likning for relasjonen mellom spordybde og akkumulert trafikkmengde.

$$Spor = a * N^b$$

hvor Spor = spordybde, mm
 N = antall beregnede ekvivalente aksellastpasseringer
 a = en konstant
 b = en konstant

Konstantene a og b kan bare betraktes som konstanter for samme observasjonsstrekning. Når forskjellige vegstrekninger skal sammenliknes, kan man noe forenklet forutsette at a og b er funksjoner av vegens bæreevne. I de analysene som er presentert i VTI notat 2-2007, er SCI300 funnet å gi den beste korrelasjonen mellom beregnet og registrert tilstandsutvikling. SCI300 bestemmes ved falloddsmålinger og er differansen mellom nedbøyning i lastsentrum og i en avstand 300 mm fra lastsentrum. Regresjonslikningene er basert på nedbøyningsmålinger året etter vegen er bygget.

Analysene av tilstandsutviklingen med hensyn på spor er basert på total spordybde målt med målebilen VTI-RST. Dette omfatter totalspor inklusive piggdekkslitasje. Det er

imidlertid presisert fra VTI at piggdekkslitasjen er svært beskjeden i forhold til deformasjonsspor på de observasjonsstrekningene som inngår.

Beregnet dekkelevetid med sprekkeindeks som kriterium er ikke spesielt godt egnet til analyser av klimaets innvirkning på det norske vegnettets tilstandsutvikling hvor man har liten eller ingen erfaring med relasjoner mellom utmatting av bituminøse lag og tilstandsutviklingen med hensyn på krakelering og andre sprekker.

Prognosemodellen for tilstandsutvikling med hensyn på spor er sannsynligvis mer egnet. Det er imidlertid en vesentlig ulempe for denne modellen at man i Norge er så godt som helt uten bakgrunnsdata for det norske vegnettet med hensyn på bæreevne uttrykt ved SCI300. En annen ulempe for bruk av PMS Objekt i et delprosjekt under Klima og transport, er det at kalibreringen mot registrert sporutvikling er basert på relativt få oppfølgingsstrekninger, noe som gir betydelig usikkerhet når man skal forsøke å differensiere relasjonene med hensyn på klimaforhold.

Den enkleste måten man kan benytte PMS Objekt i en vurdering av klimaendringers innvirkning på tilstandsutviklingen, vil være å akseptere modellene i PMS Objekt direkte uten å forsøke noen form for kalibrering til faktisk tilstandsutvikling. Man har da muligheten til å gjennomføre sammenliknende analyser hvor man kan endre både klimaperiodenes lengde og materialegenskaper.

I tillegg til dette ligger det en vis mulighet for å estimere innvirkningen av variasjoner i månedlig nedbør til fuktforholdene i vegoverbygningen og i underbygningen gjennom å endre materialenes dreneringsgrad. Endringer i materialegenskapene kan gjøres direkte i programmet. Det er ikke like enkelt å endre antall dager i de forskjellige klimaperiodene. Tomas Winnerholt ved Vägverket i Sverige opplyser at slike endringer må gjøres ved å gjøre endringer direkte i tabellene i Access-databasen.

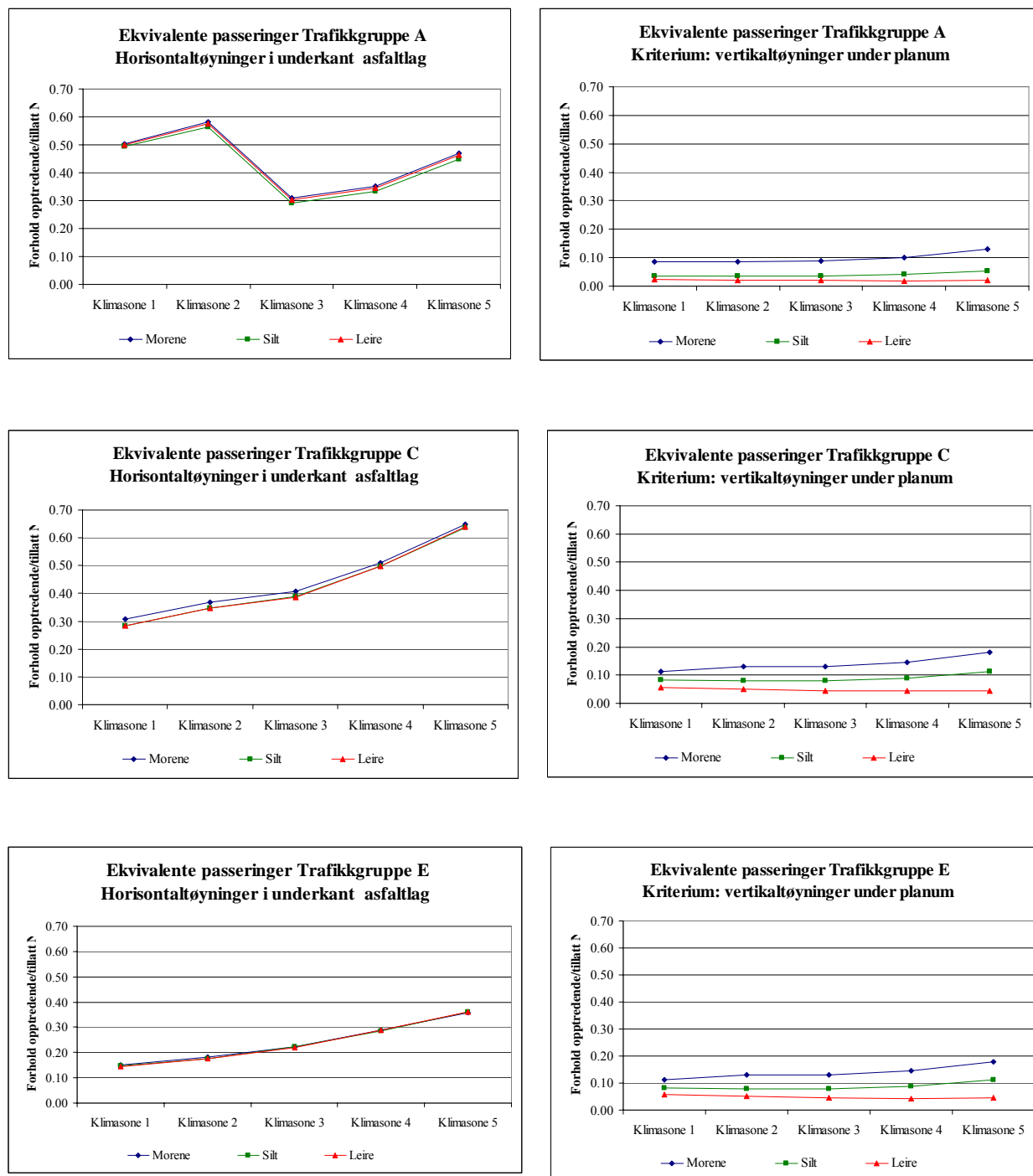
Det ligger en usikkerhet i å bruke PMS Objekt for norske forhold. Det er ikke spesielt god overensstemmelse mellom dimensjoneringen i håndbok 018 og ATB Väg. Dette kan belyses ved eksemplet nedenfor.

Det er gjennomført analyser i PMS objekt for vegkonstruksjoner dimensjonert i henhold til tabell 512.7 i håndbok 018. En oversikt over disse er vist i tabellen nedenfor basert på tre forskjellige materialer i grunnen og tre trafikkgrupper. Alle 9 variantene er i overensstemmelse med dimensjoneringen i håndbok 018.

	Trafikkgruppe A		Trafikkgruppe C		Trafikkgruppe E	
	Materiale	Tykkelse	Materiale	Tykkelse	Materiale	Tykkelse
Dekke	Agb	35 mm	Ab/Agb	60 mm	Ab	80 mm
Bærelag	Fk	200 mm	Ag Fk	70 mm 100 mm	Ag	130 mm
Forsterkningslag på noe telefarlig morene	Knust fjell	300 mm	Knust fjell	400 mm	Knust fjell	600 mm
Forsterkningslag på silt	Knust fjell	500 mm	Knust fjell	600 mm	Knust fjell	800 mm
Forsterkningslag på leire, Su > 50 kPa	Knust fjell	500 mm	Knust fjell	600 mm	Knust fjell	800 mm

Tabell 9. Vegoverbygninger (dimensjonert i hht. HB 018) brukt i analyseeksempler med PMS Objekt

Noen eksempler fra analysene er vist i figurene nedenfor hvor man har presentert forholdet mellom det dimensjonerende antall 10 tonns aksellastpasseringer i en dimensjoneringsperiode på 20 år, i forhold til tillatt antall ekvivalente 10 tonns aksellastpasseringer ut fra kriteriene i ATB Väg. Dette forholdstallet er vist for horisontale tøyninger i underkant av de bituminøse lag og for vertikale trykktøyninger i grunnen umiddelbart under traubunnen.



Figur 1. Forholdet mellom opptrøddende og tillatt antall aksellastpasseringer i beregningseksemplene

Den litt spesielle kurven for forholdstallet for tøyninger i underkant av asfaltlag for Trafikkgruppe A kan sannsynligvis forklares ved at det i PMS Objekt er presisert at beregningene ikke gjelder for så tynne asfaltlag som det er lagt inn i disse beregningene.

Av figurene ser en at man får de laveste forholdstall for kriteriet ” vertikaltøyning under planum”, mens horisontaltøyninger i underkant av asfaltlagene har forholdstall nærmere 1,0. Dette harmonerer ikke helt med den generelle oppfatning i Norge om at man i liten grad har utmattingsproblemer for asfalt på veger bygget med vegnormalstandard.

Ved vurdering resultatene i figuren over må man være bevisst på at dimensjoneringen av en vegoverbygning er relativt lite følsom overfor endringer i sum ekvivalente aksellastpasseringer. Når man regner den motsatte veien, som man har gjort i figurene over, får man at sum tillatte ekvivalente aksellastpasseringer er svært følsom ovenfor relativt små endringer i dimensjoneringen.

Dette kommer f.eks. til uttrykk gjennom relasjonen nedenfor som ligger til grunn for sentrale deler av dimensjonering av både ny veg og ved forsterkning av eksisterende veg i Norge.

$$\text{Indeksverdi} \approx N^{0,15}$$

AASHTO 2002 Mechanistic Empirical Design Guide

AASHTO 2002 et dimensjoneringsprogram utviklet under NCHRP Program 1-37A. Det var opprinnelig planlagt fullført i 1997, men versjon 0.7 var ikke tilgjengelig utenfor utviklingsmiljøet før sommeren 2004. Et relativt stort behov for videreutvikling og feilretting har gitt nye versjoner av programmet, og versjon 1.0 forelå i juli 2006.

AASHTO 2002 Design Guide, versjon 0.7, ble som en del av Vegkapitalprosjektet tilpasset norske forhold ved at det ble etablert datafiler for klimaet for Stavanger, Lillehammer og Tromsø. I tillegg ble tungtrafikkens sammensetning forsøkt tilpasset norske forhold ved at detaljdata fra svenske BWIM-målinger ble korrigert for å ta hensyn til forskjellen i tillatt totalvekt mellom Norge og Sverige.

Studier av klimaets betydning for dimensjonering og modellene i AASHTO 2002 Design Guide er bl.a. videreført i NCHRP-prosjektet 9-23 ” Environmental Effects in Pavement Mix and Structural Design Systems”. Sluttrapport fra prosjektets fase 1, som har hovedvekt på temperaturens innvirkning på asfaltens egenskaper, inklusive bindemiddelets aldringsegenskaper, foreligger som web-dokument 113 av September 2005. Sluttrapport fra fase 2, med vekt på de mekanisk stabiliserte materialers egenskaper, skal foreligge våren 2008.

AASHTO 2002 benytter historiske data for temperatur, nedbør, vind, skyfaktor og dybde til grunnvannstanden evt. også relativ fuktighet. Det benyttes data på en internasjonalt standardisert form som kan hentes direkte fra Meteorologisk Institutt. Dataene må foreløpig konverteres til amerikanske enheter.

Programmet bruker data registrert pr time, men disse kan være estimert ut fra daglige observasjoner. Dersom daglige observasjoner benyttes, kreves det maksimum og minimum

temperatur pr dag. Programmet krever komplette klimadata over en periode på minst 2 år, men mange års observasjoner er ønskelig.

Programmet aksepterer to typer filer for klimadata. Filene har litt forskjellig struktur og har et litt forskjellig innhold.

Icm-filer omfatter:

- Temperatur
- Nedbør
- Vindhastighet
- % solskinn
- Dybde til grunnvannstanden

Hcd-filer omfatter

- Temperatur
- Vindhastighet
- % solskinn
- Nedbør
- Relativ fuktighet

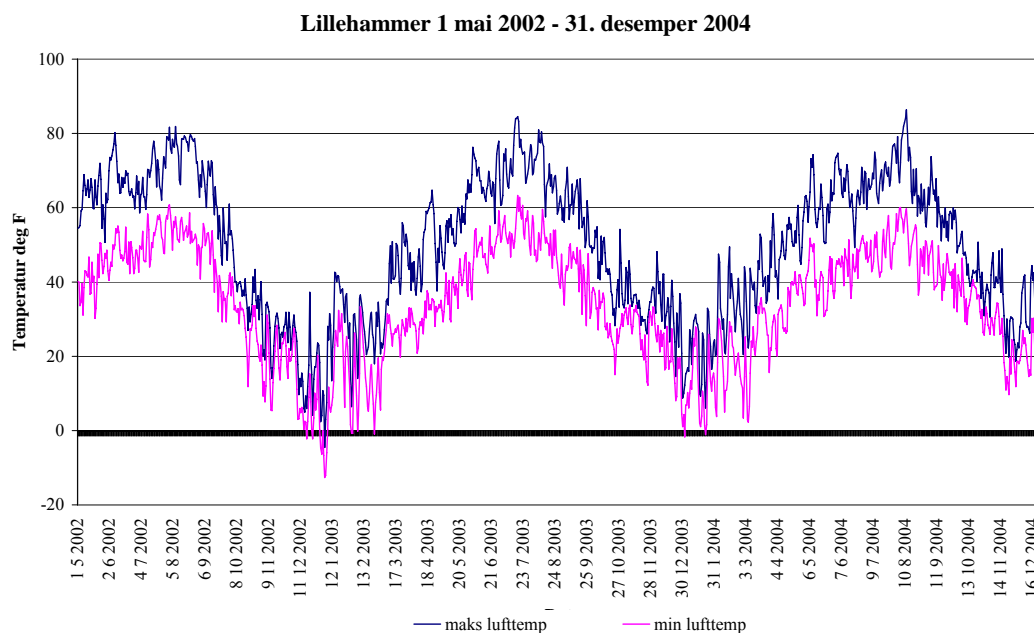
Som det fremgår av listene over, inngår ikke dybden til grunnvannstand i hcd-filen direkte. Når man benytter klimadata på hcd-format, må man imidlertid manuelt legge inn dybden til grunnvannstand, enten som et årsgjennomsnitt, eller fordelt på de fire årstidene:

Våren (april)
Sommer (juli)
Høst (oktober)
Vinter (januar)

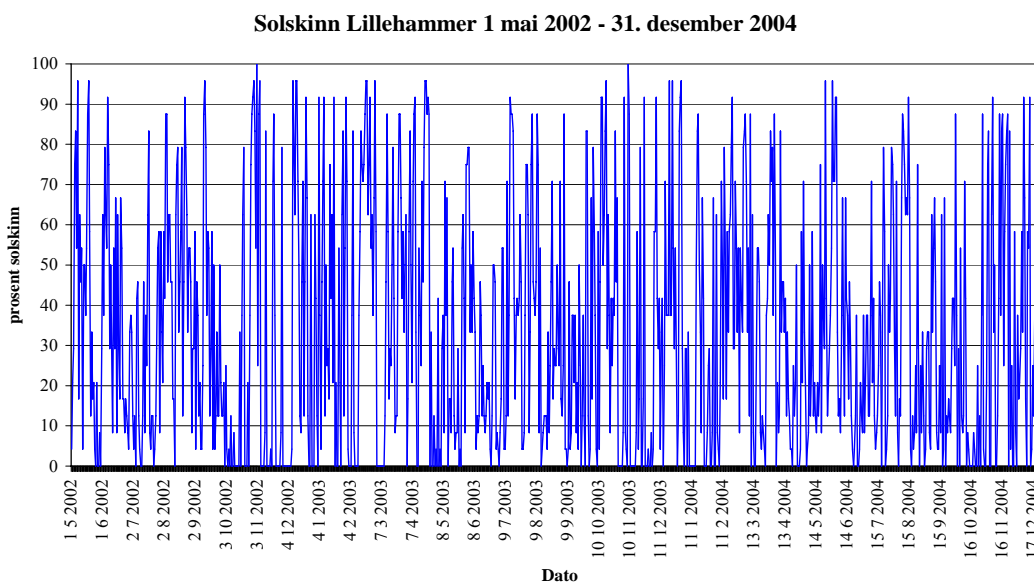
AASHTO 2002 versjon 1.0 krever filer med klimadata som har en annen filstruktur enn den som ble benyttet i versjon 0.7. En slik konvertering er ingen umulighet, men det er viktig å få kontrollert at konverteringen er riktig gjort før de tas i bruk.

Denne konvertering er gjennomført for datafilene for Stavanger, Lillehammer og Tromsø. De opprinnelige datafilene var på icm-format. Samtidig med konverteringen har man valgt å gå over til hcd-format. Bakgrunnen for denne endringen er at det er enklere å bearbeide store filer på hcd-format, enn tilsvarende filer på icm-format. Hver av de tre filene med klimadata er relativt store, på grensen av hva det f.eks. er mulig å bearbeide i EXCEL.

Nedenfor er det gjengitt noen grafiske presentasjoner av klimadata for Lillehammer.

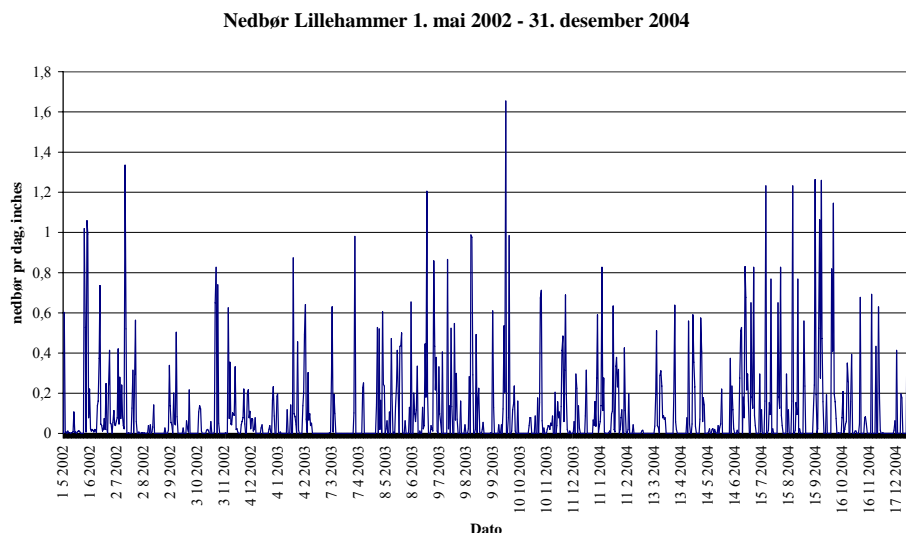


Figur 2. Daglige maks og min temperaturer Lillehammer 1.5.2002-31.12.2004



Figur 3. Gjennomsnittlig solsokinn per dag, Lillehammer 1.5.2002 – 31.12.2004

Figurene over gir ikke inntrykk av at de er noen vesentlig samvariasjon mellom temperatur og dager med solsokinn. Man gjør sannsynligvis ingen stor feil ved å anta at solsokinn-dagene er ganske jevnt fordelt over årstidene.

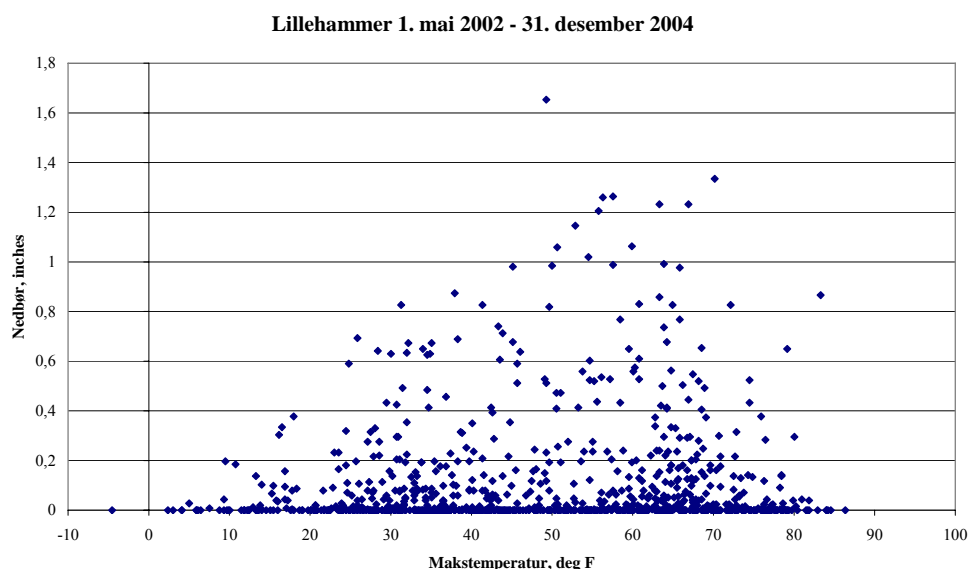


Figur 4. Nedbør per dag, Lillehammer 1.5.2002 – 31.12.2004

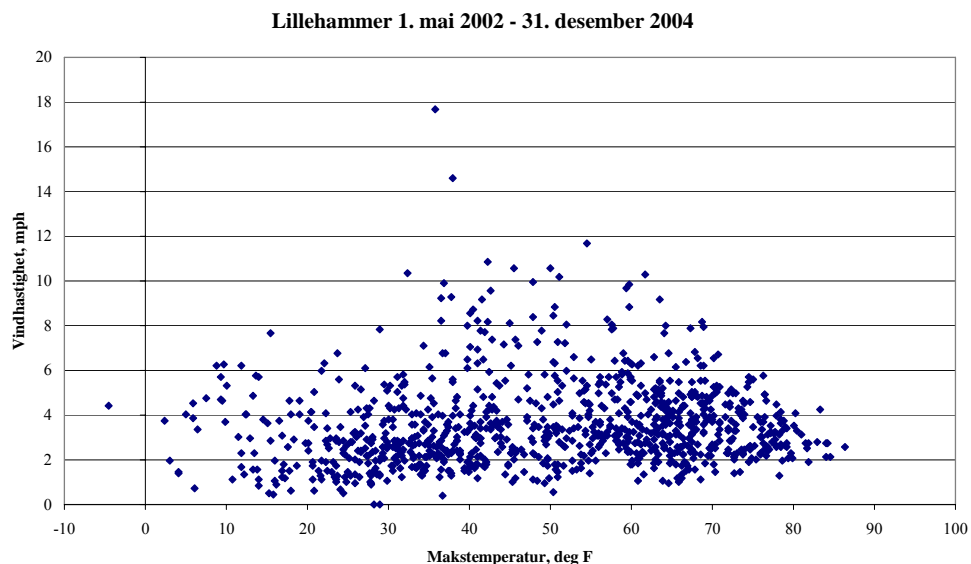
For nedbøren i Lillehammer, vist i figuren over, viser en tendens til mer nedbør om høsten enn i de andre årstidene, og det er få lange perioder uten nedbør. man kan også se at nedbøren i Lillehammer er relativt beskjeden med få dager med nedbør over 25 mm (1”).

Figuren nedenfor viser samvariasjonen mellom daglige nedbørsmengder og daglige maksimumstemperaturer. Man kan se en svak tendens til at man får de største nedbørsmengdene på dager med relativt varmt vær, men korrelasjonen er liten totalt sett.

Det synes heller ikke å være noen korrelasjon mellom vind og nedbør, vist i figuren på neste side.



Figur 5. Forholdet mellom nedbør og makstemperatur, Lillehammer 1.5.2002 – 31.12.2004

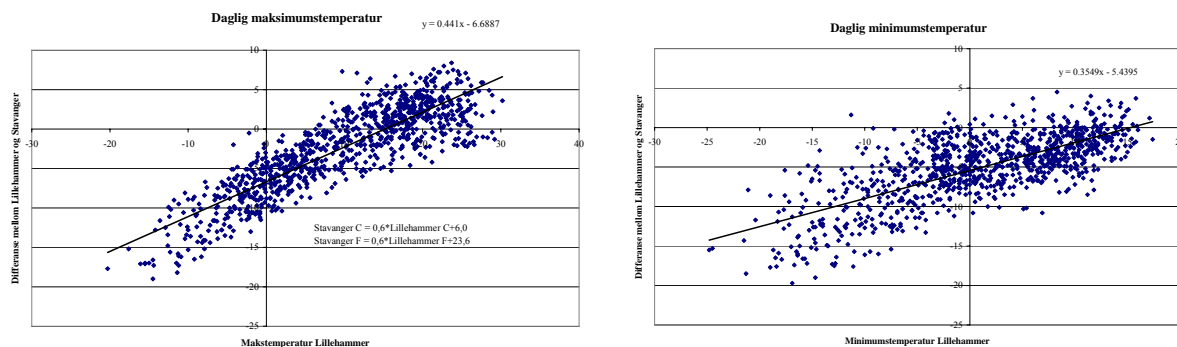


Figur 6. Forholdet mellom vind og makstemperatur, Lillehammer 1.5.2002 – 31.12.2004

Som en innledende test er det gjennomført beregninger med AASHTO 2002 Design Guide basert på modifiserte datafiler for klimaet i Lillehammer. Man har tatt utgangspunkt i hcd-filen for Lillehammer for tidsrommet 1.5.2002 – 31.12.2004. I tillegg til den originale datafilen, er det gjennomført beregninger basert på følgende modifiseringer.

- Daglig nedbør er øket med 10%
- Daglig nedbør er øket med 20%
- Daglig nedbør er redusert med 10%
- Daglig nedbør er redusert med 20%
- Temperaturene er endret til å være mest mulig lik temperaturene i Stavanger
- Temperaturene er endret til å ligge midt mellom temperaturene i Stavanger og i Lillehammer.

Modifiseringen av temperaturene dag for dag er basert på sammenlikninger mellom temperaturene i Stavanger og Lillehammer vist i figurene nedenfor.



Figur 7. Forholdet mellom Stavanger og Lillehammer mhp. daglige maks. og min.temperatur

En enkel regresjon viser at det er ingen vesentlig forskjell mellom Lillehammer og Stavanger når temperaturen er ca 15°C. Dette gjelder både daglig maksimumstemperaturer og minimumstemperaturer. Ved temperaturer over dette er det generelt varmere i Lillehammer enn i Stavanger, ved temperaturer under 15°C er det generelt kaldere i Lillehammer enn i Stavanger.

Relasjonen over er i realiteten bare et tallmessig uttrykk for den generelle oppfatningen om forskjellen mellom innlandsklima i Lillehammer og kystklima i Stavanger. Når det er varmt vær om sommeren, er det varmere i Lillehammer enn i Stavanger. I kaldt vær om vinteren, er det kaldere i Lillehammer enn i Stavanger.

Som en forenkling har man brukt gjennomsnittet at de to regresjonslikningene, som vist nedenfor.

$$Temp(C)_{Stavanger} = 0,60 * Temp(C)_{Lillehammer} + 6,0$$

$$Temp(F)_{Stavanger} = 0,60 * Temp(F)_{Lillehammer} + 23,6$$

hvor (C) og (F) står for hhv. temperatur Celsius og Fahrenheit.

For alle de variasjoner som er omtalt ovenfor, er dybden til grunnvannstanden holdt konstant på 6 ft, tilsvarende forutsetningene for beregningene i Vegkapitalprosjektet. For beregningene med nedbør 20% under standardverdiene for Lillehammer, er det i tillegg kjørt beregninger for å studere betydningen av dybde til grunnvannstanden. Et sett av beregninger er gjennomført med grunnvannstanden konstant på 20 ft, et annet sett av beregninger er gjennomført basert på dybde til grunnvannstand på 6, 12, 9 og 12 ft for hhv. vår, sommer høst og vinter.

Testberegningene tar utgangspunkt i fire av beregningene gjennomført i Vegkapitalprosjektet. To av beregningene er basert på ikke telefarlig knust fjell i det mekanisk stabiliserte laget i overbygningen de to andre er basert på telefarlig grus i det mekanisk stabiliserte laget. Noen nøkkeldata er gjengitt nedenfor.

ÅDT tunge	150	150	270	270
Bæreevnegruppe	4	4	6	6
Material i forsterkningslag	Knust fjell	Telefarlig grus	Knust fjell	Telefarlig grus
Slitelag	40 mm Agb	40 mm Agb	75 mm Ab	75 mm Ab
Bærelag	85 mm Ag	85 mm Ag	130 mm Ag	130 mm Ag
Tykkelse mek.stab. lag	525 mm	525 mm	620 mm	620 mm
Matr i grunnen, AASHTO-klass	A-1-b	A-1-b	A 5	A 5

Tabell 10. Dimensjoneringen for typiske deler av riksvegnettet i Norge, brukt i analyseeksemplene for AASHTO 2002 Design Guide

For eksemplet med 150 ÅDT-T (tunge) er tykkelsene på lagene lik gjennomsnittstykkelser for stamvegene i Norge for de aktuelle trafikkmengder og bæreevnegrupper, for eksemplet med 270 ÅDT-T (tunge) er tykkelsene på lagene lik gjennomsnittstykkelser for øvrige riksveger i Norge for de aktuelle trafikkmengder og bæreevnegrupper.

Som en del av Vegkapitalprosjektet ble det gjort en enkel kalibrering mot registrert tilstandsutvikling på noen vegstrekninger i Akershus, Oppland og Sør-Trøndelag. Det er denne kalibrering som ble benyttet også ved de beregninger som er gjennomført med versjon 1.0 av AASHTO 2002 Design Guide.

Analysene med AASHTO Design Guide versjon 0.7 i Vegkapitalprosjektet omfattet i hovedsak utviklingen med hensyn på deformasjonsspor. Beregnet utvikling av IRI viste at endringer i beregningsforutsetningene ikke hadde innvirkning av betydning for IRI-utviklingen. Dette stemmer forsåvidt relativt godt med norske erfaringer. Det er helt andre forhold enn de som inngår i beregningene, som er kilde til variasjoner i tilstandsutviklingen med hensyn på IRI. Av den grunn var beregnet IRI—utvikling ikke en del av analysene i Vegkapitalprosjektet.

Beregningene i AASHTO 2002 Design Guide omfatter i hovedsak tre typer sprekker. Dette er:

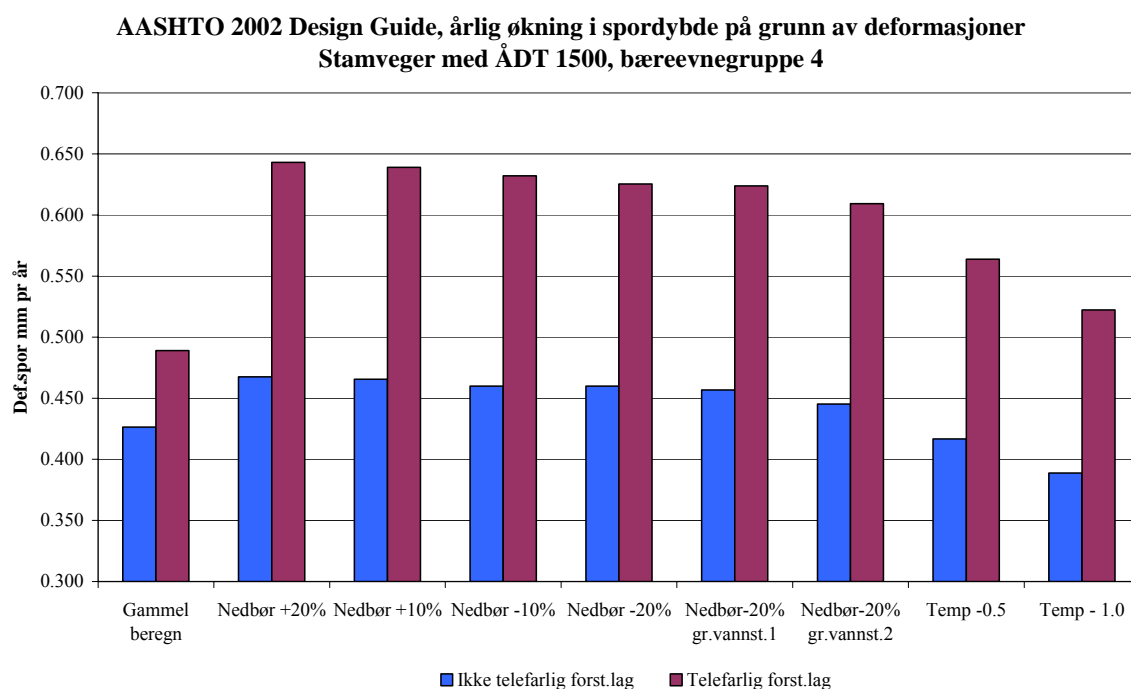
- Bottom up alligator cracking.
- Surface down longitudinal cracking.
- Transverse low temperature cracking

Beregningene i Vegkapitalprosjektet viste en ikke ubetydelig utvikling av sprekker, både langsgående sprekker og krakelering. Beregnet utvikling av lavtemperatursprekker var betydelige for alle beregninger basert på klimadata for Lillehammer, men ikke for noen av beregningene basert på klimadata for Stavanger eller Tromsø.

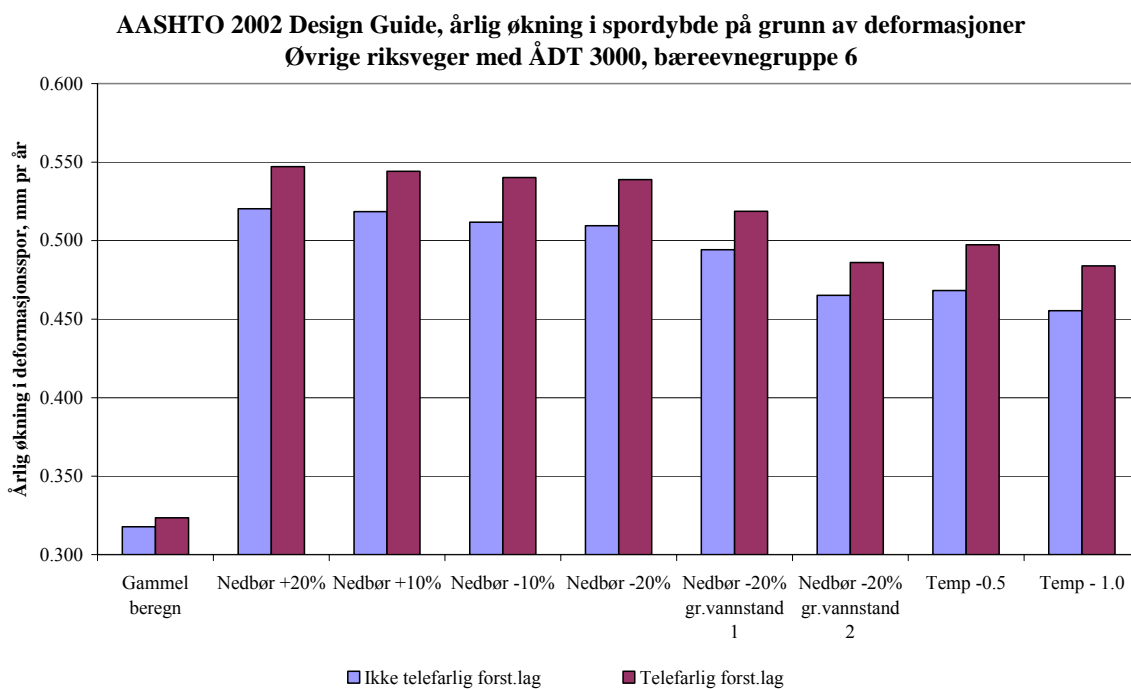
På grunn av manglende erfaringsdata for krakelering og langsgående sprekker ble modellene for sprekkeutvikling ikke en del av analysene i Vegkapitalprosjektet. Denne situasjon er uendret siden den gang.

I analysene som er presentert nedenfor er det, ut fra vurderingene over, lagt vekt på beregnet utvikling av deformasjonsspor. Man kan imidlertid registrere at de nye beregninger av lavtemperatursprekker basert på klimadata for Lillehammer, stemmer relativt godt overens med beregningene i Vegkapitalprosjektet.

Beregningene basert på modifiserte datafiler viser ingen lavtemperatursprekker når temperaturene er endret til å være tilnærmet lik temperaturene for Stavanger, og moderat sprekkeutvikling når temperaturene ligger midt mellom Lillehammer og Stavanger.



Figur 8. Beregnet deformasjonsspor per år, Stamveger med ÅDT 1500, bæreevnegruppe 4



Figur 9. Beregnet deformasjonsspor per år, øvrige riksveger med ÅDT 3000, bæreevnegruppe 6

Figurene over viser 90%-verdiene (90% sannsynlighet for at sporutviklingen er mindre enn angitt) for summen av beregnet sporutvikling på grunn av deformasjoner i asfalterne, i de mekanisk stabiliserte lagene og i grunnen.

I forhold til beregningsresultatene i Vegkapitalprosjektet, viser alle resultatene en større sporutvikling. Forskjellen er stor for vegoverbygningen på bæreevnegruppe 4 i de tilfeller at de mekanisk stabiliserte lagene består av telefarlig grus, forskjellen er relativt liten når de

mekanisk stabiliserte lagene består av ikke telefarlig knust fjell. For vegoverbygningen på bæreevnegruppe 6 er det stor forskjell både for materialer av telefarlig grus og av ikke telefarlig knust fjell.

Resultatene over viser at nedbøren isolert sett har liten innvirkning på beregnet sporutvikling. Dette gjelder alle fire varianter av overbygning og grunnforhold. Dersom man i tillegg til nedbøren også varierer dybden til grunnvannstanden, får man en større innvirkning på sporutviklingen. Innvirkningen er størst for overbygningen på bæreevnegruppe 6.

Endringer av temperaturen i retning av å være mer lik Stavanger, viser mindre deformasjoner. Selv om det i gjennomsnitt er varmere i Stavanger enn i Lillehammer, er resultatet ikke ulogisk fordi permanente deformasjoner i asfaltlagene er begrenset til noen spesielt varme dager. En viktig parameter i valg av bindemiddelhardhet i Superpave-systemet i SHRP er høyeste gjennomsnittlige asfalttemperatur regnet over 7 dager.

Anvendelse av AASHTO 2002 til dimensjonering på prosjektnivå setter strenge krav til beregningsresultatenes presisjon og nøyaktighet. Ved vurdering av klimaeffekter er man primært interessert i å få frem relative resultater. Dette innebærer at man sannsynligvis kan akseptere et noe lavere presisjonsnivå for det absolutte nivået for resultatene.

Klimadataene t AASHTO 2002 er svært omfattende og gir ganske sikkert et riktig bilde av koblingen mellom hvordan de forskjellige parametre varierer. Det er historiske data, og det vil være en jobb å få laget datafiler med klimadata slik de forventes å bli mange år frem i tid. Det er noe større usikkerhet knyttet til dybden til grunnvannstanden som inngangsparameter for analysene. For denne parameteren mangler man et statistisk grunnlag for fastsettelse.

I analysene som er omtalt over, har man benyttet de samme materialeegenskaper som ble brukt i Vegkapitalprosjektet. I praksis betyr dette at man for asfaltmaterialer har benyttet materialeegenskaper utledet av data for asfaltmassenes sammensetning, valgt bindemiddelhardhet og asfaltmassens hulrom. For materialene i grunnen har man lagt inn verdier for materialenes E-modul, finstoffinnhold, og data for finkornige materials flytegrense og plastisitet. For de øvrige materialeegenskaper, inklusive deformasjonsegenskapenes avhengighet av vanninnholdet, har man benyttet defaultverdier i programmet.

HDM 4, PIARC

Tilstandsutviklingsmodellene i HDM 4 ble vurdert i Vegkapitalprosjektet. På den tid (2004) ble vurderingene basert på versjon 1.3. I dag foreligger versjon 2.0 som på flere områder er vesentlig forskjellig fra versjon 1.3. Innen selve modellene for tilstandsutvikling og klimaets betydning for disse, er det imidlertid bare mindre endringer.

Modellene for tilstandsutvikling er i HDM-4 beskrevet med betegnelse RD (Road Deterioration) og WE (Works Effect). Dette er i en del tilfeller samlet i betegnelsen RDWE.

For fleksible overbygninger er utviklingsmodellene beskrevet som incremental. Modellene omfatter følgende tilstandsparametre:

- Cracking
- Ravelling (tap av materiale for overflaten)

- Potholing
- Edge break
- Rutting
- Surface texture
- Skid resistance
- Roughness

I tillegg kommer tilstandsutviklingen for sidegrøfter og skuldre som innvirker på tilstandsutviklingen for vegoverbygningen.

Adjusted Structural Number, SNP

HDM-4 er basert på en vurdering av vegkonstruksjonens styrke ved hjelp av indeksmetoden, videreutviklet i forhold til opprinnelig AASHTO.

$$SNP_s = SNBASU_s + SNSUBA_s + SNSUBG_s$$

hvor SNP_s = indeksverdi for vegkonstruksjonen, sesong s
 $SNBASU_s$ = indeksbidrag fra dekke og bærelag
 $SNSUBA_s$ = indeksbidrag fra forsterkningslag
 $SNSUBG_s$ = indeksbidrag fra materialet i grunnen

SNP er en sentral parameter i alle tilstandsutviklingsmodellene i HDM-4.

Den viktigste endringen i forhold til AASHTO er at SNP er årstidsavhengig. Lastfordelingskoeffisientene til materialene er ikke konstanter. I grove trekk finner vi følgende forhold:

asfalt: $a_{js} = f(\text{Resilient modul ved } 30^\circ\text{C, bestemt ved indirekte strekk})$
 sementstab grus: $a_{js} = f(\text{enakset trykkstyrke})$
 mek.stab.matr.: $a_{js} = f(\text{CBR})$
 matr. i grunnen indeksbidrag = $f(\text{CBR})$

Indeks j angir lag nr, indeks s angir sesong.

For mekanisk stabiliserte materialer i forsterkningslaget er indeksbidraget (SNSUBA) ikke bare et produkt av lastfordelingskoeffisient og lagtykkelse, også tykkelser og materialer i dekke og bærelag innvirker.

Det er lagt opp til en oppdeling av året i to årstider, en tørr og en våt årstid. Det er forutsatt at det gjennomfører separate analyser for hver årstid. Forholdet mellom SNP_w og SNP_d (våt og tørr årstid) kan beregnes ut fra gjennomsnittlig månedlig nedbør, dreneringsforholdene og krakelert dekkeareal.

Uttrykkene ovenfor innebærer at forholdet mellom SNP_w og SNP_d ikke er konstant. Det beregnes for hvert år.

HDM-4 benytter primært en oppdeling av året i en fuktig og en tørr årstid, men det er intet til hinder for at dette kan anvendes med en oppdeling i teleløsningsperioden og sommer/høst. Lengden av periodene er en av de mange inngangsparametre.

Vegens drensforhold inngår som en korreksjon av den årlige beregnede Styrkeindeksen (Adjusted Structural Number). Korreksjonen er avhengig av type sidegrøft i henhold til

inndelingen i tabellen nedenfor, og av grøftens tilstand. Grøftens tilstand settes som en funksjon av grøftens alder i forhold til forventet grøftelevetid.

	Drain condition		Drain Life, years	
	Excellent ¹⁾ , DF _{min}	Very poor ²⁾ , DF _{max}	Arid	Per-humid
Fully lined and linked	1	3	20	5
Surface lined	1	3	15	4
V-shaped, hard	1	4	15	4
V-shaped, soft	1,5	5	8	4
Shallow, hard	2	5	6	3
Shallow, soft	2	5	5	3
No drain, but required	3	5	2,5	1,5
No drain, not required	1	1	50	50

¹⁾ Nyetablert, nyrensket grøft

²⁾ Ved slutten av grøftens levetid

Tabell 11. Dreneringsforholdenes innvirkning på korreksjonsfaktoren p.g.a. fukt i overbygningen, beregning av Adjusted Structural Number, HDM 4.

Forventet grøftelevetid estimeres ut fra fuktighetssone, fallforhold og type grøft. I tabellen over er det vist eksempler for en veg i to klimasoner i flatt terreng. Verdier for grøftelevetid for alternativet ”grøft mangler, ikke behov” antas å være tatt med for å gjøre formelverket enkelt.

Veg(ene) som skal analyseres i HDM 4, knyttes til geografiske soner mht. fuktighet og temperatur. Inndelingen i fuktighetssoner er gitt ut fra tabell 12 nedenfor. Inndelingen er basert på Thornthwaite Moisture Index. (Tørkesoner hadde kanskje vært en bedre betegnelse enn fuktighetssoner all den stund Thornthwaite Moisture Index opprinnelig er utviklet for å beskrive graden av underskudd på vann i forhold til vegetasjonens behov.)

En grov kobling til årlig nedbør er også vist i tabell 12.

Table C1.3 Moisture classification

Moisture classification	Description	Thornthwaite moisture index	Annual precipitation (mm)
Arid	Very low rainfall, high evaporation	-100 to -61	< 300
Semi-arid	Low rainfall	-60 to -21	300 to 800
Sub-humid	Moderate rainfall, or strongly seasonal rainfall	-20 to +19	800 to 1600
Humid	Moderate warm seasonal rainfall	+20 to +100	1500 to 3000
Per-humid	High rainfall, or very many wet-surface days	> 100	> 2400

Tabell 12. Fuktighetssoner i hht. Thornthwaite moisture index

Thornthwaite Moisture Index uttrykker nedbørsforholdene i forhold til vegetasjonens behov.

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

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

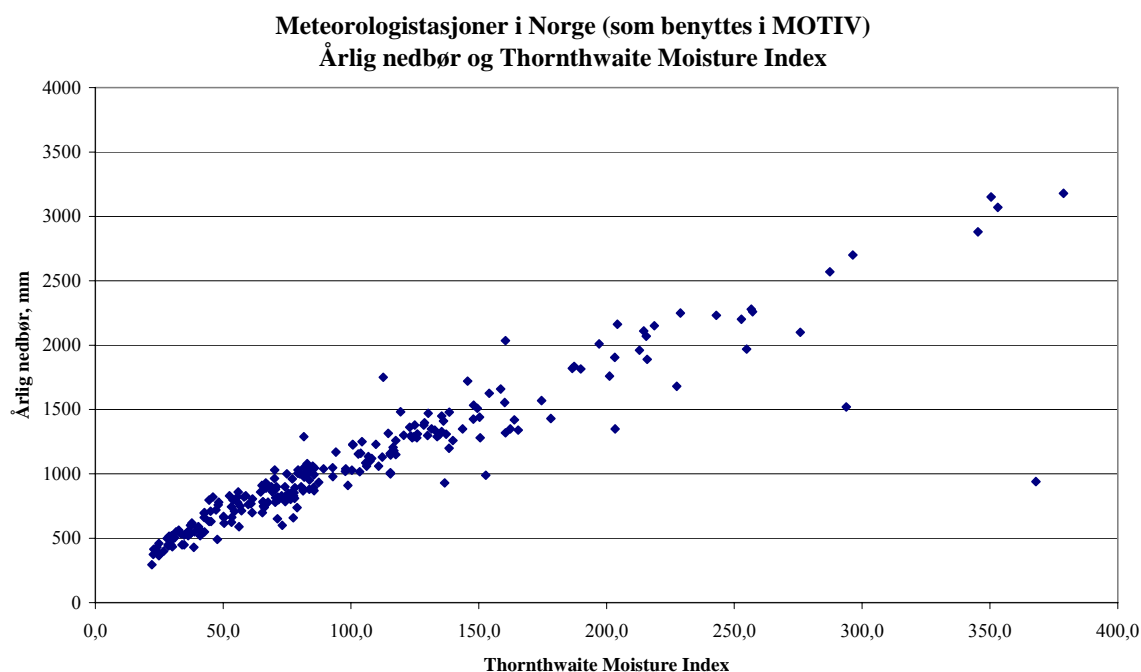
Sofus Lystad ved meteorologisk Institutt opplyser at Thornthwaits Moisture Index kan beregnes ved formelen nedenfor:

$$TMI = \sum_{j=1}^{12} TMI_j = \sum_{j=1}^{12} 1,65 * \left(\frac{T_j + 12,2}{R_j} \right)^{-10/9}$$

hvor TMI_j = TMI delindeks for måned j
 T_j = månedsmiddeltemperatur for måned j, °C
 R_j = månedsmiddelnedbør for måned j, mm

Ved månedsmiddeltemperatur under – 12,2°C har likningen ovenfor ingen mening. Det har i disse tilfeller vært vanlig, bl.a. i USA og Canada, å sette TMI_j = 0 (verken overskudd eller underskudd av vann).

Figuren nedenfor viser årsnedbør og TMI for klimastasjoner som benyttes i MOTIV. Ut fra disse dataene vil så godt som alle klimastasjonene i Norge være klassifisert som ”humid” eller ”pre humid” dersom TMI benyttes som grunnlag, jfr tabell 12 over. Ingen klimastasjoner har TMI < 20. Dersom årsnedbøren legges til grunn, vil noen klimastasjoner komme i fuktighetszone ”Sub-humid”.



Figur 10. Relasjonen mellom årlig nedbør og Thorntwaihthe Moisture Index, klimastasjoner i Norge.

En klassifisering av med hensyn på gjennomsnittstemperaturen følger inndelingen i tabellen nedenfor.

Table C1.4 Temperature classification

Temperature classification	Description	Temperature range (°C)
Tropical	Warm temperatures in small range	20 to 35
Sub-tropical - hot	High day cool night temperatures, hot-cold seasons	-5 to 45
Sub-tropical - cool	Moderate day temperatures, cool winters	-10 to 30
Temperate - cool	Warm summer, shallow winter freeze	-20 to 25
Temperate - freeze	Cool summer, deep winter freeze	-40 to 20

Tabell 13. Inndeling i temperatursoner i HDM 4

I tillegg til klassifiseringene ovenfor inngår frostindeks, gjennomsnittlige nedbørsmengde pr måned, samt antall dager med temperatur over 32°C blant inngangsparametrene i analysene. Den siste benyttes ved analyser av spenninger i betong generert av temperaturen.

Flere undersøkelser, kanskje først og fremst fra Asia og Australia, oppgir at modellene i HDM-4 har et potensiale til å gi verdifull informasjon om forventet tilstandsutvikling, men at det er en absolutt forutsetning at modellene kalibreres til lokale forhold.

HDM 4 versjon 1.3 var relativt komplisert i anvendelse, med høy brukerterskel. Det hevdes at versjon 2.0 skal være vesentlig mer brukervennlig. Det er ikke gitt anledning til å oppgradere versjon 1.3 til versjon 2.0. En nærmere test av versjon 2.0 vil med andre ord kreve kjøp av full versjon. En brukerversjon av ny HDM 4 koster USD 3.000,-. Dokumentasjon av Modelling of Road Deterioration and Works Effects, Volume 6, koster i tillegg 50,- Euro.

HDM-4 er mye benyttet i Asia, Australia og Afrika, men modellene har også ambisjoner om å være et verktøy i regioner med mer moderat klima, bl.a. Øst-Europa. En av konsekvensene av ambisjonsnivået om å være et analyseverktøy som fungerer i alle verdensdeler, er at klimaets innvirkning er modellert relativt grovt. Dette gjør sannsynligvis HDM 4 mindre egnet til analyser av de relativt små klimaendringene som skal ligge til grunn for analysene av tilstandsutviklingen for vegnettet i Norge.

Modellering basert på Markov-kjeder

Modellering basert på Markov-kjeder tar utgangspunkt i sannsynlighetsanalyser av tilstandsutvikling for et vegobjekt. Innen veg er Markov-kjeder bl.a. benyttet i HIPS og LIFECON. I begge systemene modelleres tilstandsutviklingen ved bruk av sannsynligheten for overgang mellom en tilstandsklasse til en annen i løpet av et tidsintervall, vanligvis ett år.

En viktig fordel ved modellering basert på Markov-kjeder, er mulighetene for på en relativt enkel måte å la optimalisering av dekkevedlikeholdet inngå i analysen. Klimaendringer kan medføre et behov for å omdisponere de tilgjengelige vedlikeholdsmidler slik at de utnyttes optimalt. Dette er forhold som er svært vanskelig og tidkrevende å få innebygget i de andre modellene for tilstandsutvikling.

Highway Investment Programming System, HIPS

Uprøving av HIPS (Highway Investment Programming System) for det norske vegnettet startet i 1998 og bygger på en metodikk utviklet for det finske vegnettet¹. I forhold til de finske opplegget ble det gjort noen forenklinger ved at modellene bare omfattet tilstandsparametrene spor og jevnhet ut fra den begrunnelse at det bare er disse tilstandsparametre man i Norge har tilfredsstillende datagrunnlag for. I de finske modellene inngikk også dekkeskader og bæreevne.

Modelleringen omfattet i alt 15 delvegnett som angitt i tabellen nedenfor, basert på ÅDT, stamveg eller øvrige riksveger og to klimasoner.

	ÅDT	Sør ^{*)}	Nord ^{*)}
Stamveger	>10000	SH (hele landet)	
	5001-10000	SS1	NS1
	1501-5000	SS2	NS2
	<1500	SS3	NS3
Øvrige riksveger	>10000	RH (hele landet)	
	5001-10000	R1 (hele landet)	
	1501-5000	SR2	NR2
	301-1500	SR3	NR3
	<300	SR4	NR4

^{*)}Sør: Fylkene sør for Sør-Trøndelag, unntatt Hedmark og Oppland

Nord: Resten av fylkene

Tabell 14. Inndeling av riksvegnettet i delvegnett, HIPS

For hvert delvegnett ble det etablert tilstandsklasser basert på tre nivåer for jevnhet og tre nivåer for spor. Vegens nedbrytning uttrykkes ved matriser med overgangssannsynligheter, en matrise for hvert delvegnett. Et eksempel på en slik matrise er vist i tabellen nedenfor.

		<i>Tilstandscelle År i+1</i>								
		J1S1	J1S2	J1S3	J2S1	J2S2	J2S3	J3S1	J3S2	J3S3
Tilstandscelle År i	J1S1	52.9	39.4	0.0	4.9	2.5	0.0	0.3	0.0	0.0
	J1S2	0.0	79.3	12.3	0.0	6.7	1.3	0.0	0.3	0.0
	J1S3	0.0	0.0	86.5	0.0	0.0	13.3	0.0	0.0	0.2
	J2S1	0.0	0.0	0.0	61.9	28.3	0.4	6.3	3.1	0.0
	J2S2	0.0	0.0	0.0	0.0	84.5	9.7	0.0	5.1	0.6
	J2S3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.5	0.0	0.0	5.5
	J3S1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	67.3	32.7	0.0
	J3S2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84.5	15.5
	J3S3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0

Tabell 15. Eksempel på overgangsmatrise for årlig tilstandsending, HIPS

¹ Samfunnsmessige konsekvenser av forskjellige innsatsnivåer innen drift og vedlikehold. Vedlikehold av veggdekker, Vegdirektoratet, Desember 2001

Modellene er basert på virkelige data for spor og jevnhet for praktisk talt hele riksvegnettet i Norge. Modellene er i utgangspunktet kalibrert for norske forhold basert på de faktisk opptredende klima- og trafikkforhold.

Tiltak på vegnettet modelleres på samme måte som for vegens nedbrytning. Et eksempel på en slik matrise er gitt i tabellen nedenfor.

		<i>Tilstandscelle År i+1</i>								
		J1S1	J1S2	J1S3	J2S1	J2S2	J2S3	J3S1	J3S2	J3S3
<i>Tilstandscelle År i</i>	J1S1	100,0	0	0	0	0	0	0	0	0
	J1S2	96,0	4,0	0	0	0	0	0	0	0
	J1S3	95,0	5,0	0,0	0	0	0	0	0	0
	J2S1	98,0	0,0	0,0	2,0	0	0	0	0	0
	J2S2	94,1	3,9	0,0	1,9	0,1	0	0	0	0
	J2S3	93,1	4,9	0,0	1,9	0,1	0,0	0	0	0
	J3S1	80,0	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0	0
	J3S2	76,8	3,2	0,0	19,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0
	J3S3	76,0	4,0	0,0	19,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabell 16. Eksempel på overgangsmatrise for tilstandsending ved dekketiltak, HIPS

I HIPS inngår i alt 4 hovedkategorier vedlikeholdstiltak. De fire kategoriene er:

- Rutinevedlikehold (flatelapping etc.)
- Lett tiltak (sporfylling, tynndekker, overflatebehandling)
- Slitelag (inkl. evt fresing, oppretting etc.)
- Forsterkning (inkl. bærelag evt. bindlag og slitelag)

For alle vedlikeholdstiltak vil endringen komme til uttrykk gjennom matriser som beskrevet over. Dette innebærer at et forsterkningstiltak, som man forventer at gir endring også i den fremtidige tilstandsutvikling, ikke kan modelleres ved endring i de fremtidige års overgangsmatriser, men må i sin helhet modelleres ved sannsynlighetsfordelingen av bedring i dekketilstanden etter tiltak.

Man må sannsynligvis regne med at HIPS i sin nåværende form ikke er det ideelle verktøy til modellering av innvirkningen av klimaendringer på tilstandsutviklingen for vegnettet. Til det er klimaet som en parameter for grovt modellert. En effekt kan man få ved å studere konsekvensene av å øke lengden av delvegnettet i en klimasone og tilsvarende redusere delvegnettets lengde i den andre klimasonen.

En bedre løsning vil sannsynligvis være å utvikle HIPS-modeller for delvegnett basert på et langt mer finmasket inndeling av vegnettet i forhold til nedbør og temperaturforhold. Klimaendringer kan modelleres ved flytting av deler av vegnettet fra et delvegnett til et annet. En slik modellering krever en detaljert kobling mellom vegstrekninger og klimadata. Det mest aktuelle er sannsynligvis å utnytte den kobling som allerede er etablert i MOTIV hvor hver enkelt riksvegstrekning er knyttet til en nærmere angitt klimastasjon til Meteorologisk institutt.

Også denne modellering må baseres på registrert tilstandsutvikling slik man har data for gjennom de årlige tilstandsmålingene på riks- og fylkesvegnettet. Man må imidlertid være oppmerksom på at det er flere fallgruver ved en slik modellering. Gjennom erfaringer gjennom flere tiår, er det f.eks. i kyststrøkene blitt utviklet en praksis som tar hensyn til de

mange ”teleløsninger” man har gjennom en vinter. Dette er bl.a. kommet til uttrykk gjennom utstrakt bruk av åpne, ikke vannømfindtlige bærelag. Dersom man skulle få tilsvarende ”teleløsninger” gjennom vinteren i Hedmark, hvor bruk av grusbærelag har vært et vanlig valg i alle år, vil dette innvirke på den fremtidige tilstandsutvikling på en måte som ikke enkelt lar seg modellere ved å flytte deler av vegnettet fra et delvegnett til et annet.

LIFECON

Life Cycle Management of Concrete Infrastructures for Improved Sustainability, LIFECON, er et prosjekt finansiert av EU under the Fifth Framework Program, GROWTH. Grunnlaget for etablering av prosjektet var det økende behovet for vedlikehold av offentlig infrastruktur, som broer, havner, tunneler, kraftverk og konstruksjoner offshore. Prosjektet ble startet 1.1.2001 og var avsluttet 31.12.2003. Det hadde deltagere fra Norge, Sverige, Finland, Frankrike, Tyskland og England.

I forhold til modeller for tilstandsutvikling var leveranse 2.2 ”Statistical Condition management and Financial Optimisation in Lifetime Management of Structures” sentral. Denne leveransen består i hovedsak av to deler:

1. LCC analyser basert på Markov-kjeder
2. Etablering av referansekonstruksjoner for kalibrering av nedbrytningen

Som det fremgår av omtalen nedenfor, har leveranse 2.2 i LIFECON prinsipielt svært mange likhetspunkter med analysene i HIPS. Tabell 17 viser en inndeling i tilstandsklasser, mens tabell 18, 19 og 20 viser prinsippet for og eksempler på overgangsmatriser tilsvarende tabell 15 og 16 i HIPS.

Condition state (Degree of damage)	State definition
0	Initial state, no degradation
1	1/3 limit state
2	2/3 limit state
3	limit state
4	post limit state

Tabell 17. Inndeling i tilstandsklasser, LIFECON

I prinsippet vil en sannsynlighetsmatrise for tilstand før og etter et angitt tidsintervall, være som angitt i figuren nedenfor.

State	0	1	2	3	4
0	p_{00}	p_{01}	p_{02}	p_{03}	p_{04}
1	0	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}
2	0	0	p_{22}	p_{23}	p_{24}
3	0	0	0	p_{33}	p_{34}
4	0	0	0	0	1

Figure 2. Transition probability matrix for degradation.

Tabell 18. Prinsipp for overgangsmatrise for årlig tilstandsending, LIFECON

Det er i hovedsak to typer sannsynlighetsmatriser i en Markov-kjede, en matrise for vegens nedbrytning og en matrise for effekten av tiltak. Eksempler på slike matriser er vist i tabellene nedenfor.

		Transition probability matrix P				
State		0	1	2	3	4
0		0.61	0.39	0	0	0
1		0	0.74	0.26	0	0
2		0	0	0.82	0.18	0
3		0	0	0	0.91	0.09
4		0	0	0	0	1

Tabell 19. Eksempel på overgangsmatrise for årlig tilstandsending, LIFECON

Som et eksempel sier matrisen at en tilstand i nivå 3 vil med 91% sannsynlighet fortsatt være i nivå 3 det etterfølgende år og med 9% sannsynlighet være i nivå 4 det etterfølgende år.

		Transition probability matrix of repair				
State		0	1	2	3	4
0		1	0	0	0	0
1		0.95	0.05	0	0	0
2		0.92	0.05	0.03	0	0
3		0.9	0.05	0.03	0.02	0
4		0.88	0.05	0.03	0.02	0.02

Tabell 20. Eksempel på overgangsmatrise for tilstandsending ved tiltak, LIFECON

Modellene utviklet i LIFECON er knyttet til nedbrytning av betongkonstruksjoner, og selve nedbrytningsmodellene og overgangsmatrisene kan vanskelig overføres til nedbrytning av vegoverbygninger. Så langt det har vært mulig å vurdere det, er det ingen prinsipielle forskjeller mellom modellene i HIPS og LIFECON. Dette innebærer at de samme fordeler og ulemper som er omtalt i avsnittene om HIPS, i det alt vesentlige kan gjøres gjeldende for LIFECON også.

Modeller for piggdekkslitasje

De fleste av modellene som er omtalt ovenfor, er utviklet for veger hvor piggdekkslitasje er av minimal betydning for den totale tilstandsutvikling. Dette gjelder både MMOPP 2007 og AASHTO 2002 Design Guide.

Modelleringen i HIPS ser på den totale tilstandsutvikling basert på målinger, og overgangsmatrisene skiller ikke mellom den sporutvikling som skyldes slitasje og den som skyldes deformasjoner i vegens over- og underbygning.

Modellene i PMS Objekt fokuserer også på den totale tilstandsutvikling, men det er presisert at modellene er utviklet på grunnlag av og vurdert opp mot registrert tilstandsutvikling på veger hvor piggdekkslitasjen utgjør en svært liten andel av den totale sporutvikling.

Det var opprinnelig intensjonen at HDM 4 skulle inkludere egne modeller for piggdekkslitasje. Det har ikke vært mulig å få bekreftet at slike modeller inngår.

Sporutvikling som skyldes piggdekkslitasje, vil være grunnleggende forskjellig fra sporutvikling som skyldes permanente deformasjoner i asfalt, i mekanisk stabiliserte lag i overbygningen og i underbygningen. De klimatiske forhold som påvirker piggdekkslitasjen er også forskjellig de andre sider ved tilstandsutviklingen.

Grovt regnet kan man anta at en våt vegbane har omtrent dobbelt så stor slitasje i forhold til slitasjen på en tørr vegbane. Dette innebærer at flere dager med nedbør om vinteren er ugunstig for slitasjen, det samme gjelder saltingen av vegene som holder vegbanen vår over et lengre tidsrom. På den annen side vil et mildere klima om vinteren sannsynligvis føre til færre biler med piggdekk og kortere piggdekkssesong.

Dersom man velger å anvende AASHTO 2002 Design Guide eller andre modeller som ikke inkluderer sporutvikling på grunn av slitasje, må beregnet tilstandsutvikling suppleres med egne modeller for slitasjen. Til dette kan man benytte modeller tilpasset behovet basert på praktiske erfaringer i Norge, slik det ble gjort i Vegkapitalprosjektet og i et etterfølgende prosjekt "Grunnlag for innretting av vegdekkevedlikeholdet".

Et alternativ er å etablere modeller ut fra en prognosemodell for vegdekkesslitasje, utviklet av VTI². Denne modellen inngår i de svenske PM-systemet. Denne modellen har den fordel at selve modellutviklingen er godt dokumentert basert på svenske erfaringer. Det anbefales likevel å vurdere modellen noe nærmere, bl.a. for å se på behovet for en kalibrering til norske erfaringsdata.

Forslag til valg av modell(er)

Delprosjekt 5 "Tilstandsutvikling på vegnettet" under etatsprosjektet Klima og transport omhandler virkninger som endret klima har for nedbrytning av vegnettet samt vurdering av tiltak og tilhørende kostnader for å opprettholde dagens vegstandard.

Dette studiet har som mål å vurdere en del alternative modeller for tilstandsutvikling med hensyn på modellenes egnethet til å studere hvordan klima og klimaendringer innvirker på vegkroppens nedbrytning. Etatsprosjektet går over fire år, fra 2007 til 2010.

Dersom det skal være mulig å få gjennomført analyser og presentert resultater i løpet av perioden på fire år, blir det viktig i størst mulig grad å anvende mest mulig komplette og tilgjengelige modeller for estimering av tilstandsutviklingen. Noe arbeid kan legges i kalibrering av modeller til norske forhold, evt å gjøre spesielle tilpasninger.

Utvikling av modeller fra scratch vil etter all sannsynlighet innebære en stor risiko for ikke å komme i mål innen den oppsatte frist. Av samme grunn vil det også være en risiko for å få uventede problemer og forsinkelser i gjennomføringen dersom man f.eks. satser på

² Utveckling och uppgärdering av prognosmodell för beläggningsslitage från dubbade däck samt en kunskapsöversikt över inverkan faktorer, VTI notat 7-2007.

utvikling av modeller basert på Markov-kjeder, selv om man har et godt bakgrunnsmateriale i arbeidet med f.eks. HIPS.

Utvikling av nye modeller for tilstandsutvikling som en del av etatsprosjektet Klima og transport, synes også mindre aktuelt fordi det for tiden er en rekke andre liknende aktiviteter innen de samme fagmiljøer. Noen av de viktigste er listet opp nedenfor.

- Teknologivdelingen i Vegdirektoratet har for tiden ledelsen av et felles nordisk forskningsprosjekt, NordFoU – Pavement Performance Models, hvor Sverige, Danmark og Island deltar i tillegg til Norge. Forskningsprosjektet ble startet i 2006 og har en tidsramme på fire år.
- Statens vegvesen Region øst har utarbeidet et forslag til nytt etatsprosjekt i Statens vegvesen om tilstandsutviklingsmodeller for veger. Dette forslaget bygger bl.a. på et arbeid utført i NVF Utvalg 34.
- Det pågår for tiden et arbeid for å få etablert et samarbeidsprosjekt mellom bl. a. Statens vegvesen, NTNU og MnROAD i USA om funksjonsegenskaper og nedbrytningsmodeller for vegkonstruksjoner. Det arbeides bl.a. med sikte på å få støtte fra Forskningsrådet til prosjektet.

Fagmiljøet i Norge innen vegteknologi består av relativt få personer. Det er viktig å utnytte disse ressursene optimalt og unngå parallelle aktiviteter med mindre det er mulig å få et godt samvirke mellom de forskjellige prosjekter.

Ved å basere analysene på beregninger av tilstandsutvikling ved hjelp av AASHTO 2002 Design Guide versjon 1.0, vil man være relativt sikker på å få frem resultater innen den oppsatte frist. Kritikken mot AASHTO 2002 Design Guide, også mot versjon 1.0, gjør det imidlertid nødvendig å ha noen kontroller av analyseresultatenes rimelighet underveis.

I Vegkapitalprosjektet ble det benyttet et sett av kalibreringsfaktorer basert på en enkel kalibrering mot registrert tilstandsutvikling fra registrert tilstandsutvikling på vegstrekninger i Akershus, Oppland og Sør-Trøndelag. Kalibreringsfaktoren var ÅDT-avhengig og var i størrelsesorden 4,5.

Større verdier for årlig økning i deformasjonsspor beregnet i versjon 1.0 enn i versjon 0.7, tilsier at det er behov for en ny kalibrering. Sannsynligvis har man også bedre grunnlag for kalibreringen fordi en oppfølging av kalibreringsstrekningene har vært en del av NordFoU-prosjektet.

Dersom AASHTO 2002 Design Guide benyttes, vil det være et behov for å supplere analysene med spesielle beregninger at tilstandutviklingen på grunn av piggdekkslitasje. Til dette anbefales det å benytte prognosemodellene fra VTI, evt. justert til norske forhold.

Man bør også vurdere å utnytte modellene i PMS Objekt som et mulig korrektiv til de analyser som bygger på AASHTO 2002 Design Guide. Det vil sannsynligvis være en beskjeden merinnsats ved en slik utnyttelse av PMS Objekt.



Vedlegg 1

Delprosjekt 5 Tilstandsutvikling på vegnettet

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

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

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

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

Ved utgivelsen av denne rapporten består arbeidsgruppen for delprosjekt 5 av:

Geir Berntsen, Statens vegvesen, Region øst (leder)
Per Otto Aursand, Statens vegvesen, Region nord (fagsekretær)
Geir Refsdal, Statens vegvesen, Region øst
Olav Lahus, Statens vegvesen, Region sør
Even Sund, Statens vegvesen, Vegdirektoratet
Ivar Horvli, Via Nova.



Vedlegg 2

Prosjektrapporter fra 'Klima og transport'

Rapportnr.	Tittel	Utarbeidet av
2519	Klimapåvirkning av vegbyggingsmaterialer State of the art studie	Bjørn Ove Lurfald og Inge Hoff, Sintef Byggforsk Veg- og jernbaneteknikk



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo

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

ISSN 1504-5005