



Statens vegvesen

Klimapåvirkning av vegbyggingsmaterialer State of the art studie

RAPPORT

Teknologiavdelingen

Nr. 2519



Klima
og
transport



Geo- og tunnelseksjonen
Dato: 2007-12-01



Statens vegvesen

Vegdirektoratet
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep
0033 Oslo

Telefon: (+47 915) 02030

www.vegvesen.no

TEKNOLOGIRAPPORT nr. 2519

Tittel

Klimapåvirkning av vegbyggingsmaterialer State of the art studie

Utarbeidet av

Bjørn Ove Lerfald og Inge Hoff, Sintef Byggeforsk, Veg- og jernbaneteknikk

Dato:

2007-12-01

Saksbehandler

Geir Bertnsen

Prosjektnr:

602000

Kontrollert av

Per Otto Aursand

Antall sider og vedlegg:

60

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.

I dette arbeidet er det gjennomført litteraturundersøkelser med fokus på effekter av klimaendringer for vegbyggingsmaterialer. Det er i hovedsak vært konsentrert seg om litteratur av nyere dato. Studien har vist at det pr. i dag ikke synes å være utviklet "komplette og generelle" modeller som er i stand til å beregne levetiden for en vegkonstruksjon. Hovedårsaken til dette er at en vegkonstruksjon er en kompleks konstruksjon som er sammensatt av materialer som endrer egenskaper ved endringer i temperatur, vanninnhold og trafikkbelastning. Det er imidlertid utviklet modeller som tar for seg spesifikke nedbrytningsmekanismer som f.eks piggdekkslitasje. Disse spesifikke modellen vil kunne være svært anvendelige i områder der disse nedbrytningsmekanismene er dominerende. En vegkonstruksjon har relativt kort levetid og det er derfor av stor viktighet at det ved planlegging og dimensjonering av både vedlikeholdsarbeider og nybygging i større grad gjennomføres en vurdering av materialbruken basert på funksjonsegenskaper til materialene. Det er viktig at ny kunnskap om endret belastning på materialene raske blir implementert i standarder og håndbøker.

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, som ble 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 Bjørn Ove Lerfald og Inge Hoff, SINTEF Byggforsk, Veg- og jernbaneteknikk. Rapporten bygger på en litteraturundersøkelse om effekten av klimafaktorer på vegbyggingsmaterialer.

Dette er den første prosjektrapporten fra 'Klima og transport'.



SINTEF Byggforsk
Veg- og jernbaneteknikk

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøk: Høgskoleringen 7A
Telefon: 73 59 46 10
Telefaks: 73 59 14 78

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

Klimapåvirkning av vegbyggingsmaterialer

State of the art studie

FORFATTER(E)

Bjørn Ove Lurfald og Inge Hoff

OPPDRAGSGIVER(E)

Statens vegvesen, Vegdirektoratet

RAPPORTNR. SBF IN A07014	GRADERING Åpen	OPPDRAGSGIVERS REF. Geir Berntsen	
GRADER. DENNE SIDE Åpen	ISBN 978-82-536-0978-2	PROSJEKTNR. 3C0221	ANTALL SIDER OG BILAG 60
ELEKTRONISK ARKIVKODE SBF IN A07014 Klima og materialer.doc	PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Bjørn Ove Lurfald	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Helge Mork	
ARKIVKODE	DATO 2007-12-04	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Inge Hoff, Forskningsleder	

SAMMENDRAG

I dette prosjektet er det gjennomført litteraturundersøkelser med fokus på effekter av klimaendringer for vegbyggingsmaterialer. Det er i hovedsak vært konsentrert seg om litteratur av nyere dato.

Studien har vist at det pr. i dag ikke synes å være utviklet "komplette og generelle" modeller som er i stand til å beregne levetiden for en vegkonstruksjon. Hovedårsaken til dette er at en vegkonstruksjon er en kompleks konstruksjon som er sammensatt av materialer som endrer egenskaper ved endringer i temperatur, vanninnhold og trafikkbelastning.

Det er imidlertid utviklet modeller som tar for seg spesifikke nedbrytningsmekanismer som f. eks piggdekkslitasje. Disse spesifikke modellen vil kunne være svært anvendelige i områder der disse nedbrytningsmekanismene er dominerende.

En vegkonstruksjon har relativt kort levetid og det er derfor av stor viktighet at det ved planlegging og dimensjonering av både vedlikeholdsarbeider og nybygging i større grad gjennomføres en vurdering av materialbruken basert på funksjonsegenskaper til materialene.

Det er viktig at ny kunnskap om endret belastning på materialene raskt blir implementert i standarder og håndbøker.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Vegteknikk	Highway engineering
GRUPPE 2	Klima	Climate
EGENVALGTE	Materialer	Materials
	Klimaendringer	Climate change
	Tiltak	Mitigation

INNHALDSFORTEGNELSE

1	Bakgrunn	4
2	Faktorer som påvirker nedbrytning og konsekvenser for veginfrastrukturen	5
3	Bituminøse masser	9
3.1	Aldring av asfaltdekker	12
3.2	Vannpåvirkning	14
3.3	Piggdekksslitasje	15
3.4	Steinslipp	18
3.5	Fryse-/tine – og teleløsningsproblemer	19
3.6	Temperatur	23
3.7	Funksjonstesting	25
3.8	Tiltak for å forlenge levetiden for et asfaltdekke	26
4	Data i vegdatabanken	27
5	Grusdekker	27
5.1	Økt nedbør	28
5.2	Mildere vintre	29
5.3	Varmere somre	29
5.4	Flere teleløsninger	29
6	Ubundne bære- og forsterkningslag og undergrunn	30
6.1	Vannfølsomhet	30
6.2	Telehiving	33
6.3	Temperaturendringer	36
7	Modeller for tilstandsutvikling og dimensjonering	38
7.1	Det norske dimensjoneringssystemet	38
7.2	Norden	38
7.3	Canada	42
7.4	USA	46
7.5	Australia	51
7.6	Europa	54
8	Oppsummering og konklusjon	56
9	Referanser	58

1 Bakgrunn

Materialer som benyttes i vegbygging påvirkes i stor grad av klimaet de blir utsatt for. Når klimaet endrer seg vil også materialene vi bygger med endre oppførsel. I hvilken retning endringene skjer er ikke bestandig opplagt. Temperaturøkning om sommeren vil være ugunstig for asfaltmaterialer, mens temperaturøkning om vinteren vil kunne slå ut i positiv retning.

I denne rapporten har vi forsøkt å samle forskningen som er gjort innenfor dette temaet. Selv om forskning på klimaendringenes betydning er i startgropen i de fleste land er det gjort en god del forskning rundt de forskjellige klimafaktorenes påvirkning på ulike elementer i vegkroppen.

Det er gjennomført en tverrfaglig utredning av virkninger av klimaendringer for transportsektoren (Nasjonal Transportplan 2007). Her påpekes at flere av transportsektorene har store etterslep i vedlikeholdet av infrastrukturen og i den grad etterslepet knytter seg til manglende drenering og bæreevne vil infrastrukturen være spesielt utsatt ved økt nedbør. Dreneringssystemer i byer og tettsteder er bygd for flere tiår siden. Mange steder er dreneringssystemene underdimensjonert for å ta imot flomtopper.

I (Nasjonal Transportplan 2007) er det benyttet klimamodeller for å beregne framtidige klimatiske forhold. Her omtales blant annet at endringer i ekstremvær vil ha betydninger for dimensjoneringsanalyser for framtidig utbygging av infrastruktur. Generelt sies at klimaendringene i Norge trolig vil føre til noe høyere temperaturer, spesielt om vinteren, og en økning av nedbørmengden (5-15 %). Ekstremvær vil trolig også forekomme noe hyppigere enn tidligere og det vil bli økt fare for flom og avrenning. Det forventes noe redusert antall tine/fryseperioder, bortsett fra innlandet i nord. Som følge av klimaendringer anbefales det å undersøke følgende punkter:

1. Dreneringssystemet og vegkroppen på vegnettet bør gjennomgås for å vurdere hvor og hvordan vegene kan forbedres, når dette bør gjøres og hvilke økonomiske konsekvenser dette får. Til dette trengs nedbørsprognoser som beskriver nedbørsintensiteten; noe som krever nye modellkjøringer med tidsanalyser, høyere tidsoppløsning og muligens høyere geografisk oppløsning.
2. Vedlikeholdsetterslepet forsterker skadevirkningene av økt nedbør og flom. Kostnadsbehovet for å rette opp etterslepet bør utredes særlig for de vegstrekningene der fremkommeligheten blir sterkt rammet hvis vegkroppen bryter sammen.
3. Det bør vurderes på hvilken måte beredskapen bør forbedres og økes. Prognoser og transportinformasjonssystemer bør utnyttes bedre.
4. Risikovurdering knyttet til trafiksikkerhet som følge av økt sannsynlighet for ras, flom og utrasninger bør gjennomgås, slik at planlagt stenging og gjenåpning i større grad kan benyttes i stedet for at vegen stenges når skaden har skjedd og det kanskje har skjedd en ulykke.
5. Konsekvenser for grunnvann og overflatevann med hensyn til vannforurensning bør undersøkes nærmere.

Det er også utført undersøkelser som fokuserer på hvordan menneskelig aktivitet kan *styre* værforholdene. Dette beskrives blant annet i et arbeid utført i Canada (List 2004), hvor det også gis en omtale av termodynamikk som kan ha betydning for forutsigelse av vær-situasjoner.

2 Faktorer som påvirker nedbrytning og konsekvenser for veginfrastrukturen

I Tabell 1 er det vist hvordan ulike klimaendringer kan påvirke de forskjellige parametrene. I tabellen er det forutsatt at klimaendringene går i en bestemt retning. For eksempel at det blir mindre snødekke. Dette er imidlertid ikke sikkert (og ikke sannsynlig for hele landet). Vi har tatt utgangspunkt i den endringen som gir mest negative konsekvenser. I de delene av landet der en kan forvente en omvendt reaksjon gir dermed denne tabellen en litt pessimistisk vurdering.

Tabell 1 Hvordan de ulike materialene blir påvirket av klimaendringer

	Asfaltdekker	Grusdekker	Stabiliserte bærelag	Ubundne bærelag	Forsterkningslag	Undergrunn
Mildere vintre	Lavtemp.-sprekker	Kortere frosset sesong		Telehiving	Telehiving	Telehiving
Varmere somre	Deformasjoner	Støvproblemer	Deformasjoner			
Oftere teleløsning	Sprekker	Bæreevne Framkom-melighet		Bæreevne		
Flere fryse/tine vekslinger	Bestandighet					
Mer nedbør	Bestandighet	Oppblotning Erosjon av overflate				
Mindre snødekke	Piggdekk-slitasje	Spor				
Økt grunnvann-stand				Bæreevne	Bæreevne	Bæreevne
Økt salting	Piggdekk-slitasje					
Økt havvannstand	Kan ha betydning lokalt enkelte steder der grunnvannstanden øker pga. økt havvannstand					
Mer vind	Kan påvirke broer, skiltportaler og lignende					
Flom	Kan ha stor betydning lokalt med utvasking av materialer ol.					

Liten betydning	Positiv betydning	Negativ betydning	Usikker betydning
-----------------	-------------------	-------------------	-------------------

For en total vegkonstruksjon vil det også være andre forhold enn de som er angitt i Tabell 1 som vil kunne påvirke levetiden. Viktige faktorer her er:

- Topografiske forhold
- Grunnforhold
- Materialeegenskaper for forsterkningslag og bærelag
- Dimensjoneringsmetoder
- Dreneringsforhold (åpen/lukket drenering)
- Tverrprofilutforming

De senere års endringer i klima har ført til et sterkere fokus på hva disse klimaendringene kan føre til av konsekvenser for blant annet det etablerte vegnettet. I en undersøkelse fra New Zealand er det sett på hvilke innvirkninger klimaendringer har på prosedyrene for planlegging, bygging og vedlikehold av vegsystemet (Kinsella og McGuire 2005). Det er gjennomført en prosess for å bestemme nødvendighet og mulighet for å beskytte infrastruktur fra konsekvenser av framtidige klimaendringer. Det konkluderes fra denne undersøkelsen med at for konstruksjoner med kort levetid (25 år) er det ikke nødvendig å gjøre endringer i dimensjoneringskriterier umiddelbart.

For disse konstruksjonene vil det være tilstrekkelig å gjøre endringer som tilpasses virkningene av klimaendringene etter hvert som de oppstår. For konstruksjoner med lang levetid (50-100 år) som bruer, etc, så vil det være nødvendig å foreta umiddelbare endringer i kriterier for dimensjonering. I Tabell 2 er det gitt noen vurderinger av nødvendighetene for tiltak for forskjellige elementer i vegnettet.

Tabell 2 Vurdering av effekter av klimaendringer for elementer i vegnettet i New Zealand (Kinsella og McGuire 2005)

Asset type	Climate parameter impacting on the state highway network by 2080	Level of certainty in the impact occurring (determined by NIWA)	Design life (estimated years)	Current practice
Bridges	<ul style="list-style-type: none"> - Increased mean annual rainfall in western NZ - Increased frequency and intensity of heavy rainfall events throughout NZ (leading to flooding) - Sea level rise (for coastal bridges) 	Medium Low High	100	<i>Changes to current practice may be required</i> Bridges are designed for a 5% probability that the design criteria will be exceeded (e.g. by flooding) in the design life of the structure. A reduction in flood return periods constitutes an increased risk to bridge stock.
Culverts (waterways)	<ul style="list-style-type: none"> - Increased mean annual rainfall in western NZ - Increased frequency and intensity of heavy rainfall events throughout NZ (leading to flooding) - Sea level rise (for coastal culverts) 	Medium Low High	20 to 100	<i>Changes to current practice may be required</i> See bridges section above for longer life culverts (25+ years). See drainage section below for shorter life culverts.
Causeways / low-lying coastal roads	<ul style="list-style-type: none"> - Sea level rise combined with increased frequency and intensity of storm surges 	High Low	20 to 100	<i>Current practice sufficient</i> Pavement maintenance will allow for pavement levels to rise. Improvement works to cope with changes in climate can be undertaken as part of periodic reconstruction when the impact occurs.
Pavement surfaces	<ul style="list-style-type: none"> - Increased mean annual temperature 	High	10 to 25	<i>Current practice sufficient</i> Bitumen, chipseal and asphalt specifications take into account temperature ranges. Due to relatively frequent resealing, changes to specifications do not need to alter until the impact occurs.
Drainage (surface)	<ul style="list-style-type: none"> - Increased frequency and intensity of heavy rainfall events throughout NZ (leading to flooding) 	Low	20	<i>Current practice sufficient</i> Drainage systems are designed for local conditions. Improvement works to cope with changes in climate can be undertaken as part of periodic reconstruction when the impact occurs.
Slopes and batters	<ul style="list-style-type: none"> - Increased mean annual rainfall in western NZ - Increased frequency and intensity of heavy rainfall events throughout NZ 	Medium Low	N/A	<i>Current practice sufficient</i> Monitoring and preventive maintenance works are carried out on some slopes and batters in sensitive, slip prone areas. Despite this, hillside slips are still unpredictable.

Det har i lengre tid vært fokus på klimaets betydning for nedbrytning av vegnettet. (Hudson og Flanagan 1987) beskriver en undersøkelse hvor det er sett på effekter av trafikk og miljøeffekter (klimaforhold). Forsøksstrekninger som var lokalisert på 14 forskjellige steder i USA var undersøkt. På hvert sted er det to strekninger om har vært fulgt opp, hvor den ene har vært utsatt for trafikk, mens den andre ikke har vært åpnet for trafikk og dermed bare vært utsatt for klimapåkjenning.

De viktigste miljøeffekter hevdes å være effekter av fukt og temperaturer. Fukt i vegkonstruksjonen hevdes å forårsake problemer som oksidasjon, teleproblemer, svekkelse av underliggende lag, volum endring, instabilitet og spenninger, mens temperaturendringer forårsaker spenningsendringer i dekket som følge av sammentrekninger og utvidelse. Bruk av dårlige materialer og dårlig kvalitetskontroll under produksjon hevdes også å være en viktig årsak til redusert levetid av et dekke. Det framheves to trender fra undersøkelsen:

- Skadeutviklingen er større på strekninger med trafikk
- Det var skadeutvikling på strekninger som ikke var trafikkert, men effekten av klimapåvirkning er forskjellig mellom ulike klimaregioner.

En viktig konklusjon er at nedbrytningseffekten er proporsjonal med tøffere klimaområder (med frost og fryse/tine sykluser).

(Matter og Farouki 1994) beskriver en undersøkelse hvor det er sett på effekten av temperatur, fuktighet og deres variasjoner over året. Det er fulgt opp en del vegstrekninger som representerer forskjellige vegkonstruksjoner. I disse er det plassert temperaturfølere og fuktighetsmålere i forskjellige lag. Meteorologiske data ble samlet inn fra nærliggende stasjoner. Strekningene ble fulgt opp med månedlige målinger. Konklusjonene fra undersøkelsen er blant annet:

- Det er signifikante sesongmessige variasjoner i vegenes bæreevne. Disse hevdes å skyldes temperaturvariasjoner og fuktighetsendringer i de ulike lag. Mens fuktighetsinnholdet i undergrunnen var antatt å være relativt konstant, så ble det funnet at det var relativt store variasjoner i fuktighetsnivået, noe som påvirket styrken til vegkonstruksjonen i betydelig grad.
- Effekten av sesongmessige variasjoner varierte mellom vegstrekninger. Effekten av temperatur og fuktighet kunne i flere tilfeller virke i motsatt retning.

Potter and Savonis (Potter og Savonis 2003) kommer med et forslag til forskningsprioriteringer for USA med fokus på forventede problemer i de ulike delene av landet på mer overordnet transportnivå. I denne prioriteringen fokuseres det i stor grad på oversvømmelser og stigning av havnivået og de hindringer dette vil ha på infrastrukturen.

3 Bituminøse masser

Hva som er de viktigste egenskapene til et asfaltdekke vil variere alt etter hvor dekket ligger, hvilken funksjon det skal ha, hvilke belastninger det vil få osv (VTI 2004). På en rullebane på en flyplass vil man f.eks måtte fokusere spesielt på friksjon, jfr. Tabell 3.

Tabell 3 Viktige funksjonsegenskaper til asfaltdekker på norske flyplasser (prioritert rekkefølge) (VTI 2004)

Egenskaper	Resultat ved manglende funksjon (skadeutvikling)
1 Friksjon	<i>Fin/glatt overflatestruktur (polering, akkumulerte forurensninger), mangelfull avrenning (deformasjoner, dårlig geometri)</i>
2 Klimabestandighet/ aldringsmotstand	<i>Steinløsning, forvitring, oppsprekking (spesielt ved lave temperaturer)</i>
3 Stabilitet	<i>Deformasjoner, spor, setninger</i>
4 Utmattingsmotstand	<i>Oppsprekking (pga gjentatte trafikkbelastninger)</i>

Et grunnleggende faktum er at ***et asfaltdekke forandrer egenskaper over tid.***

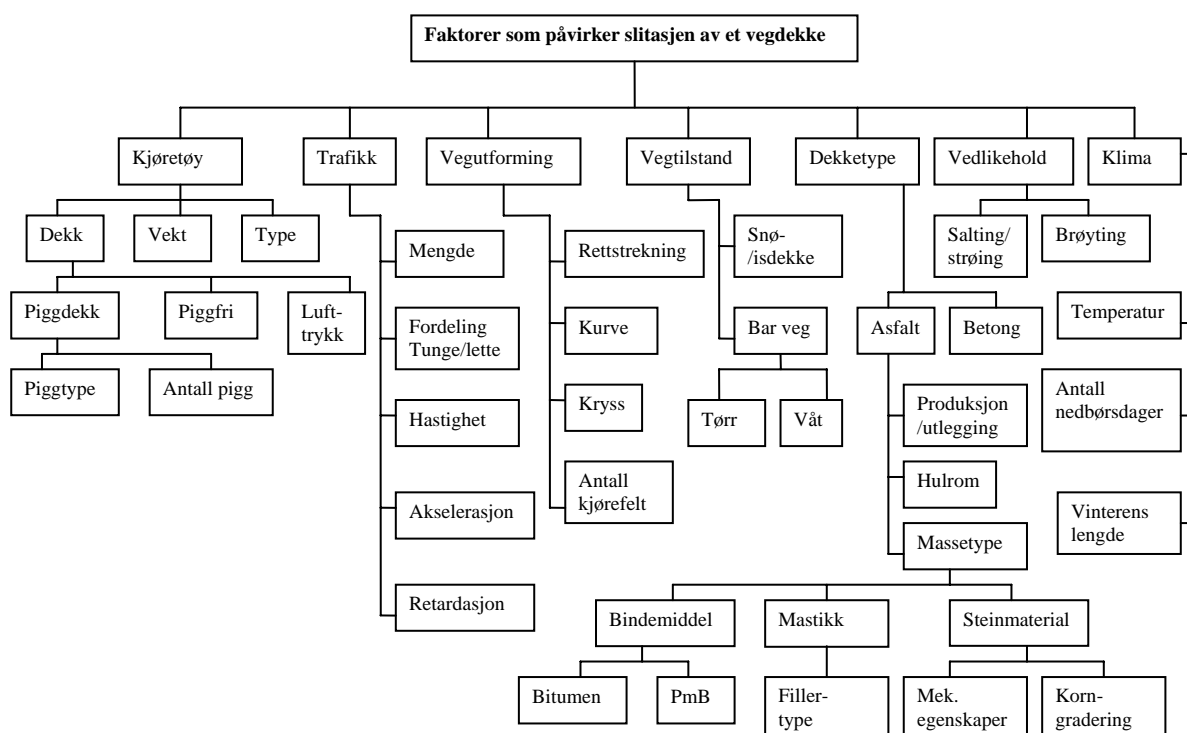
Mekanismene i denne prosessen er kompliserte. Asfaltdekkene påvirkes av et stort antall nedbrytningfaktorer som sammen og hver for seg direkte innvirker på dekkets levetid. Dette kan gi seg utslag i at samme type dekke kan få forskjellige skadeutviklinger innenfor en og samme flyplass.

I Sverige nevnes følgende faktorer som de viktigste mht et asfaltdekkets bestandighet (VTI 2004):

- lavt bindemiddelinhold
- høyt hulrom
- feil steinmaterialsammensetning, feil valg av filler materiale
- dårlige vedheftningsegenskaper mellom steinmaterial og bitumen
- ugunstig kornform (avrundet materiale)
- vannfølsomt finmateriale
- aldret bitumen i asfaltmassen
- separert eller inhomogen masse
- dårlig komprimering
- svakheter i underliggende lag
- feil bitumenkvalitet
- dårlig drenering og tverrfall (innestengt vann)
- fuktig vegoverflate
- god tilgang på vann, salt, fryse-/tinesykler

Bituminøse masser er satt sammen av steinmaterialer og bindemidler, samt eventuelle tilsetningsstoffer. Egenskapene til et asfaltdekke vil derfor variere avhengig av de ulike komponenter som inngår i massen. I tillegg, som vist i Figur 1, vil egenskapene også i stor grad være avhengig av produksjonsmessige forhold. Utredning av bestandighet og levetid for bituminøse dekker er derfor en relativt kompleks sak.

Ved vurdering av konstruksjoners levetid er det av grunnleggende betydning at man har oversikt over, og kunnskap om, de faktorer som påvirker nedbrytningen. Det er tidligere gjennomført undersøkelser hvor det er forsøkt å sette opp oversikter over de faktorer som har betydning for levetiden for vegbyggingsmaterialer (Lerfald 2000), (Lerfald 1991) og (Lerfald 2007). I Figur 1 er det vist en oversikt over faktorer som påvirker slitasjen av et asfaltdekke på en veg.

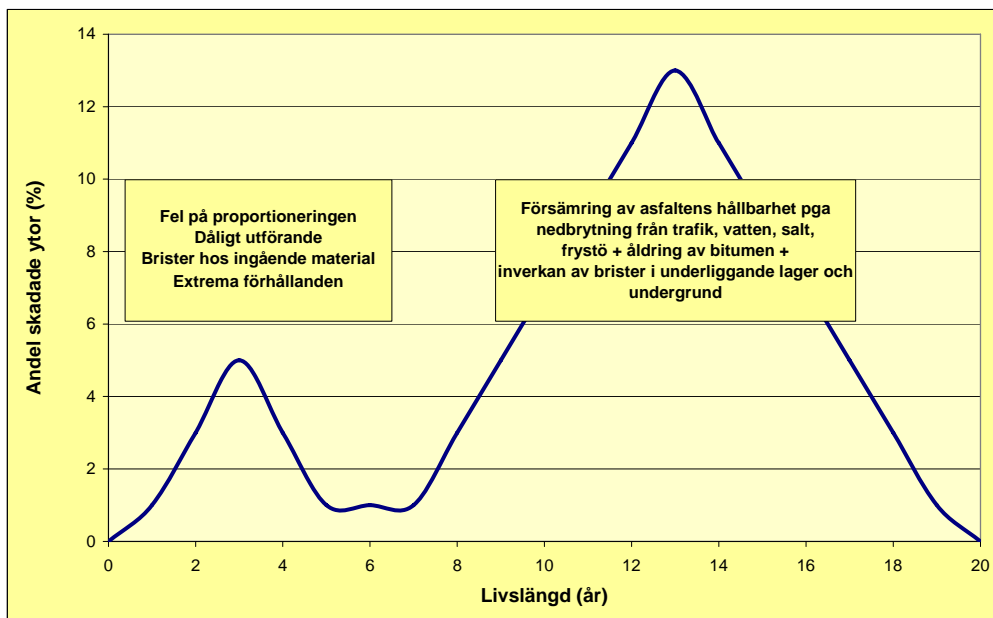


Figur 1 Faktorer som påvirker slitasjen av et vegdekke (Lerfald 2007)

Som det framgår av Figur 1 er det et komplekst system av faktorer som vil kunne påvirke nedbrytningen av et asfaltdekke. I tillegg vil det være variasjoner i betydningen til de ulike faktorer mellom ulike konkrete vegstrekninger. Her vil blant annet geografisk beliggenhet, trafikkmengde og spesielt klimatiske forhold kunne ha stor betydning for levetiden.

I 2004 ble det gjennomført et felles nordisk prosjekt hvor det ble gjennomført et grunnlagsarbeid med tanke på et større forskningsprosjekt med tema, "Asfaltdekkers bestandighet" (VTI 2004). Her påpekes det fra Sverige at skadeutredninger og feltstudier har vist at dårlig bestandighet kan opptre både i slitelag og i underliggende bituminøse lag. Her nevnes at mulige årsaker til skadeutvikling allerede etter 1-3 år, som vist i Figur 2, kan være rikelig tilgang på vann, salt og mange temperatursvingninger rundt frysepunktet. Dette i kombinasjon med dekker med lavt bindemiddelinhold / høyt hulrum / dårlig vedheft mellom stein og bitumen / manglende

vedheftningsmiddel / uheldig kornform på steinmaterialet / vannfølsomt finmaterial / kraftig aldret bitumen / separasjon i asfaltmassen / eller dålig kompaktert asfalt, har ført til en rask nedbrytning av dekkene. Også uheldige værforhold under eller i direkte tilknytning til utleggingen har iblant ført til for tidlig nedbrytning. Skjelettasfalt hevdes å være den dekketypen som har vært mest utsatt for skadeutvikling i Sverige.



Figur 2 Prinsippskisse som viser skadeutvikling av asfaltdekker (VTI 2004)

Undersøkelser av flyplasser har vist at de dekker som har lengst levetid er dekkene med lavt hulrom og høyt bindemiddelinhold. De norske erfaringene er i stor grad sammenfallende med de svenske. Det er i Norge ikke dokumentert at salting (med natriumklorid) virker direkte oppløsende på asfalten. Mer bar asfalt og mer våt asfalt gjør at saltede veger trolig slites noe mer enn usaltede. Overgang fra usaltet til saltet veg gir økt eksponeringen av den bare asfalten. Det kan hende at dekket (f.eks myk-asfalt) må oppgraderes til et sterkere (asfaltgrusbetong) for å tåle dette. Smeltevann pga. salting som trenger ned i hulrom i asfalten kan bidra til frostsprengning.

Gjennom prosjektet var det en hovedmålsetting å utvikle modeller for levetidsberegninger og i (VTI 2004) er følgende utfordringer i denne sammenheng nevnt:

- *Hur ska man kunna karaktärisera asfalt i laboratoriet ur beständighetssynpunkt med avseende på vattenkänslighet? Ska både ballasten, bindemedlet samt beläggnigen karaktäriseras? Räcker det med att ha en funktionell testmetod för beläggnigar?*
- *Kan man beräkna adhesionen mellan sten och bitumen respektive kohesjonen hos bitumen utifrån ytfysikalisk karaktärisering av stenmaterial och bitumen?*
- *Vilken roll spelar finandelen för beständigheten och då speciellt vattenkänsligheten? Hur ska den karaktäriseras?*
- *Aktiva fyller hur verkar dessa och hur ska de tillsättas för största effekt?*
- *Vilka är långtidseffekterna av tillsatsmedel med avseende på beständigheten?*
- *Fältvalidering av de funktionella testmetoderna!*

Hvordan skal bindemiddelet karakteriseres mht langtidsaldring?

- *Hur dimensionerar vi för att undvika temperatursprickor?*
- *Kan den framtagna metodiken för att testa vattenkänslighet användas för att prova av- isningsvätskor och andra kemikaliers inverkan på beständigheten?*

3.1 Aldring av asfaltdekker

Luftfartsverket og SINTEF har i samarbeid gjennomført flere prosjekter innenfor temaet langtidsegenskaper for asfaltdekker på flyplasser (Aurstad og Andersen 1997). Ved aldring av asfaltdekker blir dekket stivere med tiden. Dette skyldes prosesser som i hovedsak skjer i bindemiddelet. Faktorer som påvirker og endrer egenskapene til bitumen er vist i Tabell 4.

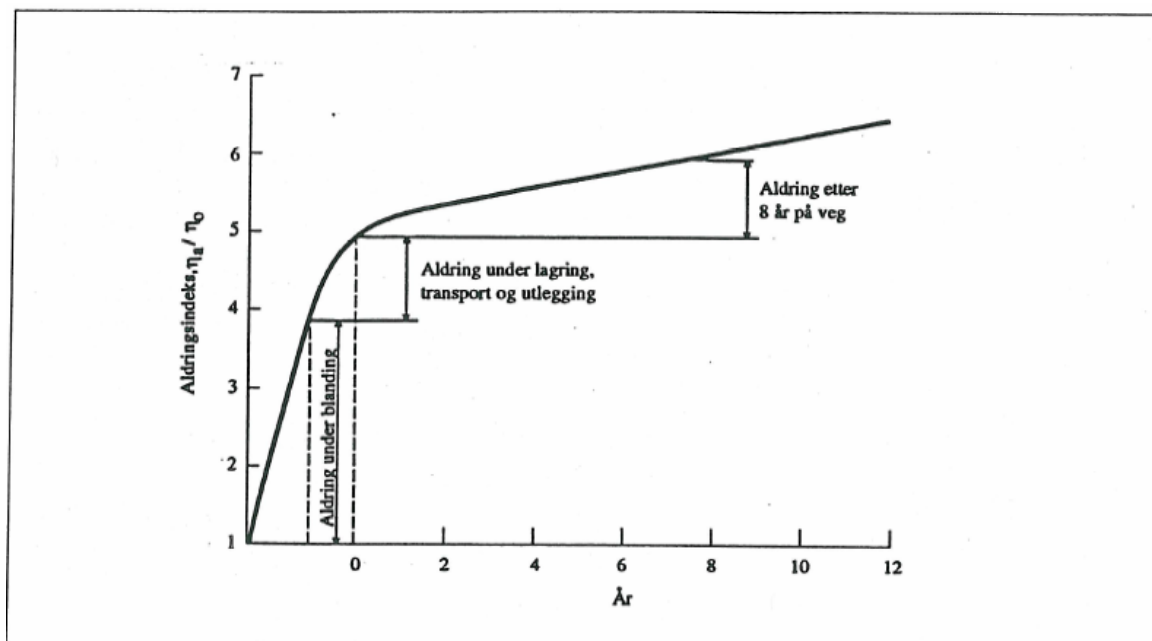
Tabell 4 Mekanismer som påvirker og endrer egenskapene til bitumen (Aurstad og Andersen 1997)

EFFEKTER	INFLUERT AV				OPPTRER	
	Tid	Temp.	Oksygen	Sollys	På overflata	I massen
1 Oksydasjon	x	x	x	-	x	-
2 Fotooksydasjon (direkte lys)	x	x	x	x	x	-
3 Fordamping	x	x	-	-	x	x
4 Fotooksydasjon (reflektert lys)	x	x	x	x	x	-
5 Fotokjemisk påvirkning (direkte lys)	x	x	-	x	x	-
6 Fotokjemisk påvirkning (reflektert lys)	x	x	-	x	x	x
7 Polymerisasjon	x	x	-	-	x	x
8 Utvikling av indre struktur (thixotropi)	x	-	-	-	x	x
9 Utsvetting av olje (synerese)	x	x	-	-	x	-
10 Endringer pga kjerneenergi	x	x	-	-	x	x
11 Vann	x	x	x	x	x	-
12 Absorpsjon til steinmaterialet	x	x	-	-	x	x
13 Adsorpsjon av komponenter til overflata på steinmaterialet	x	x	-	-	x	-
14 Kjemisk reaksjon i kontaktflata mellom bitumen og steinmatr.	x	x	-	-	x	x
15 Mikrobiologisk nedbrytning	x	x	x	-	x	x

Hvor stor innvirkning disse faktorene, hver for seg og samlet har, er ikke fulgt klarlagt, men det er gjennomgående enighet om at de viktigste faktorene som fører til aldring er:

- Oksydasjon
- Avdamping
- Strukturendring
- Binding til steinmaterial

Mye av aldringen av bindemiddelet skjer under produksjon, som vist i Figur 3.



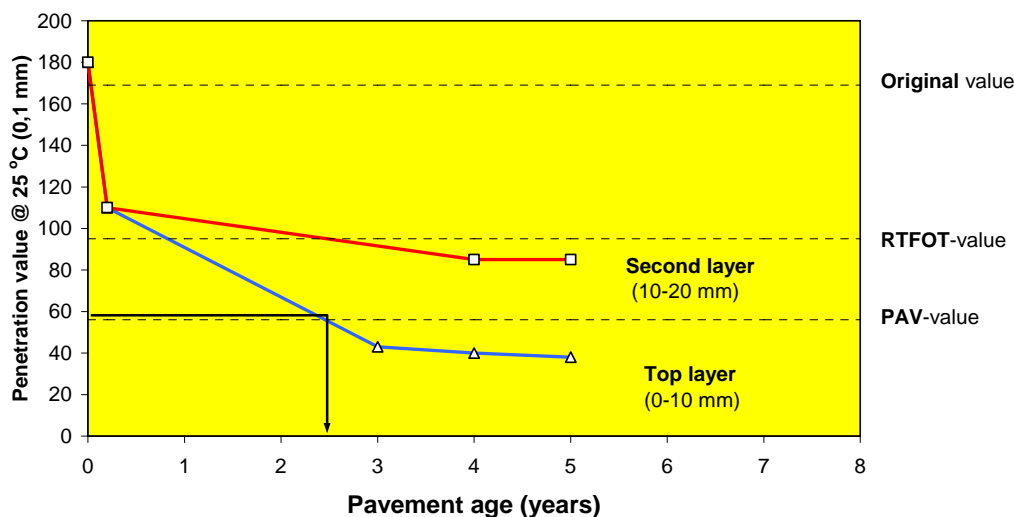
Figur 3 Typisk aldringsforløp for bitumen (Aurstad og Andersen 1997)

Undersøkelser av flyplassdekker i Norge har vist følgende:

- Forvittringsbestandige asfaltdekker bør ha høyt bindemiddelinhold og lavt hulrom (for Ab-dekker tilsier dette minst 5,5% bindemiddel og maksimalt 4,5 % hulrom).
- Det synes klart at dekker med relativt myke utgangsbindemidler (penetrasjon > B180) står seg best både mot forvitring og oppsprekking.
- Spesielt pga hulrommets betydning vil åpne, separerte partier få skader langt tidligere enn tette dekker. Dette underbygger viktigheten av å tilstrebe homogenitet ved produksjon og utlegging av asfaltdekker.

Gjenvinning og testing av bindemiddel er gjort i ulike lag i dekkene på et utvalg av flyplasser i Norge (0-10 mm, 10-20 mm, 20-30 mm) (VTI 2004). Disse undersøkelsene ble også brukt for å sammenligne den reelle aldringen på norske flyplasser med laboratoriealdring (Rolling Thin Film Oven test, RTFOT og Pressure Ageing Vessel, PAV. PAV simulerer den aldring som skjer i felt pga klimapåvirkning). Konklusjoner fra disse undersøkelsene er:

- På alle dekkene er det påvist generell herding/aldring av bindemidlet i tiden etter utlegging.
- Det er markante forskjeller mellom ulike dybdenivå i asfaltdekkene. Aldringen skjer tydelig mye raskere i toppen i forhold til lenger nede i dekket. Eksempel: Lag 1 Gardermoen (0-10 mm) har endret penetrasjon fra pen 180 (originalt) til pen 40 etter bare 6 år i felt, mens lag 3 (dvs >20 mm fra toppen) er fortsatt som nylagt.
- Aldringen på dekker med PmB ser ut til å følge en flatere/mer gunstig utvikling.
- Erfaringer labaldring-feltaldring:
Sammenligning av feltprøver og PAV-resultater tyder på at PAV-prosedyren slik den er gitt i SHRP tilsvarer bare 2-3 års feltaldring for det øverste 10 mm av dekket. Når man også tar med lagene lenger ned (> 20 mm) synes imidlertid PAV-prosedyren samlet sett å kunne tilsvare 7-8 års felteksponering under norske forhold. Dette gjelder Ab-dekker med standard bindemiddel B180, se Figur 4.



Figur 4 Sammenligning av laboratoriedret bitumen B180 med gjenvunnet bindemiddel fra norske flyplassdekker (Ab og Ska) med bitumen B180 (VTI 2004)

3.2 Vannpåvirkning

I (VTI 2004) beskrives det at vannfølsomhet på asfaltdekker har vært undersøkt i Sverige. Her hevdes det at vannfølsomheten synes å være mest avhengig av hvilken type steinmaterial som benyttes og i mindre grad avhengig av bindemiddelet.

Det finnes noen eksempel på at noen bindemidler har god vedheft mot steinmaterial som ellers kan være problematiske. For steinmaterialer har flere undersøkelser forsøkt å forklare forskjellene i vedheft ut fra materialets syre/base egenskaper, kjemisk sammensetning, mineralogisk sammensetning, overflatestruktur, overflate spenning og overflateenergi. Ingen av de eksisterende forklaringsmodellene hevdes å kunne prediktere vedheftsegenskapene. En rask oversikt over hva som blir undersøkt for *varme* produksjoner i Norge oppsummeres kort (VTI 2004):

Steinmaterialer (grovt): Behov for vedheftningsmiddel vurderes etter laboratorieprøving med rulleflaskemetoden. Petrografisk karakterisering utføres.

Steinmaterialer (fint): Vannfølsomhet undersøkes vanligvis med en koketest (fram til 1990 ble også Riedel koketest benyttet). Ved behov undersøkes glimmerinnhold i en visuell vurdering.

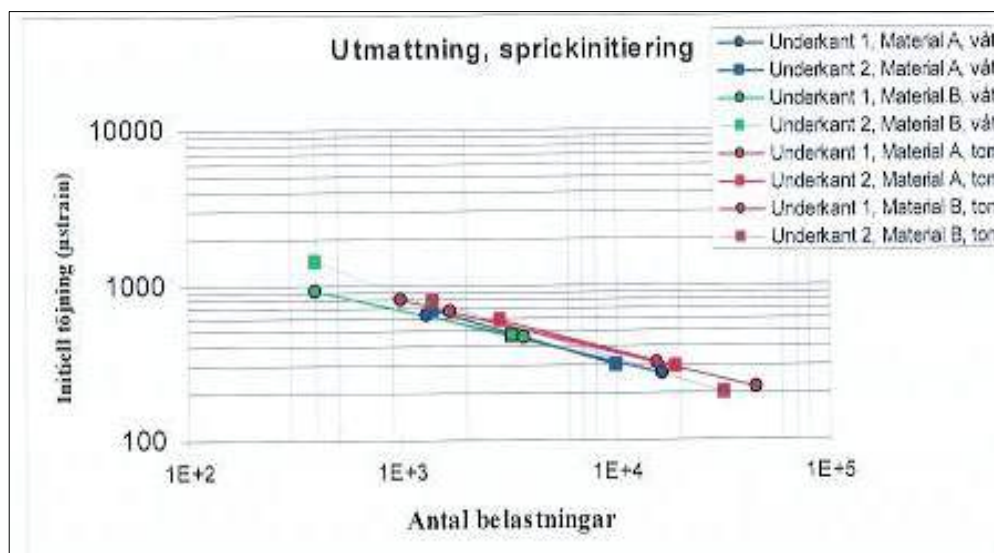
Bindemiddel/vedheftningsmidler: Effekt og dosering av vedheftningsmiddel vurderes med rulleflaskemetoden.

Asfaltblanding: Undersøkelse av vannfølsomhet med spalttestrekkprøving (ITSR) gjøres hvis det er spesielt ønske om det. Koketest utføres også ved behov. Cantabro-test på vannlagrede asfaltprøver ser ut til å gi ”fornuftige” verdier, men er foreløpig lite brukt.

I en svensk undersøkelse er det sett på hvordan nærvær av vann påvirker utmatningsegenskapene til to typer bærelag av bituminøse masser (AG16) (Kalman et al. 2005). Det er gjennomført utmatningsundersøkelser ved hjelp av wheel-track og parallelle undersøkelser av utvikling av stivhetsmodulen ved simulering av vinterkondisjonering.

Konklusjonene i prosjektet er:

1. Stivhetsmodellen synker noe raskere for materialet som har høyere innhold av glimmer i mørtelfasen.
2. Nærvær av vatten gjør at den initiale sprekke dannelsen skjer raskere enn om materialet er tørt som vist i Figur 5.
3. Propagering av sprekken skjer raskere i nærvær av vatten for massen med glimmerholdig mørtel.



Figur 5 Initiell tøyning i underkant av asfaltplaten for massetype A og B (med glimmer) for tørre og våte prøver (Kalman et al. 2005)

3.3 Piggdekkslitasje

Ved VTI i Sverige er det utviklet en prognosemodell som beskriver piggdekktraffikkens slitasje på asfaltdekker med fokus på spordannelse, tverrprofil og årskostnader (Jacobson og Wågberg 2007). I den første modellen (1997) begrenses anvendelsen til ABT (Ab-masser) og ABS (Ska-masser). I den siste versjonen, fra 2006, er modellen utvidet til å gjelde 2+1 (kjørefelt) veger og veger med ekstremt smale kjørefelt. Modellen er ikke anvendbar på drengasfalt, da disse har vist seg, foruten slitasje, også å ha problemer med at stein løsner fra overflaten og gir en akselerert spordannelse. Modellen har følgende anvendelsesområder:

- Teknisk og økonomisk beslutningsstøtte ved valg av dekketyper, krav til materialelegenskaper osv på enkelt prosjekter.
- Vurdere tekniske/økonomiske effekter på vegnettsnivå avhengig av valgt strategi.
- Beregning av levetid før neste tiltak. Ettersom modellen skal kunne benyttes for å vurdere levetid, fram til største tillatte spordybde, kan den også benyttes som et hjelpemiddel ved planlegging og prioritering av dekketiltak.
- Planlegge og styre trafikken sidelengs. På veger hvor spor oppstår er det mulig å forlenge levetiden av slitelaget ved å flytte kantlinjene og dermed flytte trafikken sidevegs.
- Beregne hvor mye asfaltmasse som slites bort av et kjøretøy med piggdekk pr. km veg.
- Beregne mengde bortslitt asfaltmateriale pr 100 m veg og år.
- Beregne bortslitt asfaltmengde over levetiden.

- Beregning av årskostnader pga piggdekkslitasje. Ved å gi inn opplysninger om materialpriser kan modellen benyttes til å vurdere om det lønner seg å transportere et høykvalitet steinmaterial i stedet for å benytte et billigere steinmaterial som er tilgjengelig lokalt.
- Ett pedagogisk verktøy om hvordan ulike faktorer påvirker slitasjen og fordelingen over kjørefeltsbredden.

Metoden består av tre deler:

- En modell som beregner slitasjen pr kjøretøy med piggdekk
- En modell som beregner hvordan slitasjen fordeler seg over tverrprofilet
- En modell som beregner årskostnader ut fra anvendt material og beregnet levetid.

I Figur 6 er parametrene som inngår i den modellen som beregner slitasjen vist.

Del 1:

Prognosmodell för belägningsslitage Indata - gula fält



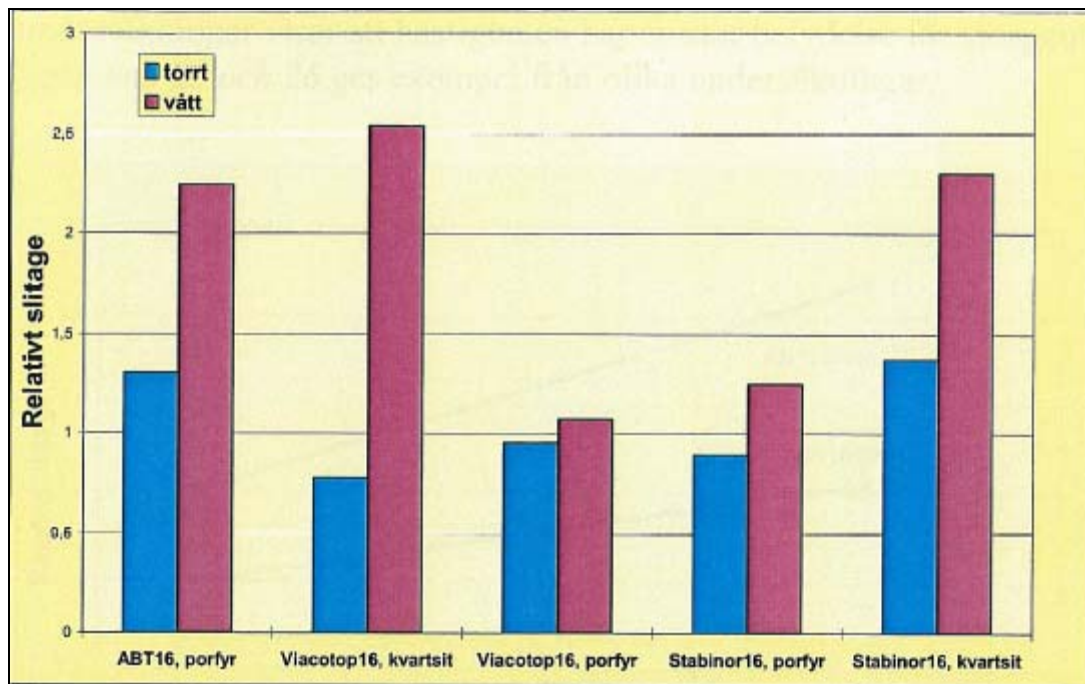
Rubrik i diagram: E4, Värnamo
Underrubrik i diagram: Kvalitetssten (porfyr)

Version 3.2.03
oktober 2006

Typsektion (1/2/3/4/5/6/7/8):	5	(1=7 m; 2=9 m; 3=13 m; 4= breda körfält; 5=motorväg; 6=tunnel & (2)+1 vägar; 7=2+(1) vägar; 8= extr smala körfält)
Tillåten hastighet:	110	(50, 70, 90 alt 110 km/h)
ADT körfält:	4000	fordon/dygn
Slitageperiod/år:	180	vinterdygn/år
Dubbandel:	60	% (medel under slitageperioden)
Saltad väg (J/N):	J	
Antal beräkningsår:	5	st
Tillåtet spår djup:	17	mm
Uppskattat övrigt spår djup:	4	mm
Tillgängligt slitage-spår djup:	13	mm

Figur 6 Prognosemodell for slitasjedata (Jacobson og Wågberg 2007)

Som det framgår av Figur 6 så er det antall vinterdøgn som er den klimatiske faktoren. I tillegg angis det om vegen er saltet. En saltet veg vil gi lengre perioder med våt og bar vegbane og dermed slites mer enn en veg som ikke saltet (korreksjonsfaktoren som benyttes er den samme som er angitt i VÅG 94). I Figur 7 er det vist resultater etter slitasje på våte og tørre dekker i VTI sin ringbanemaskin.



Figur 7 Forskjell i slitasje på våt og tørr kjørebane (Jacobson og Wågberg 2007)

Den andre modellen beskriver dekkets slitasjeegenskaper og de parametrene som inngår er vist i Figur 8

Del 2:

Stenhalt >4mm:	75	vikt-%	
Største stenstorlek (MS):	16	mm	
Kulkvarnsverdi (KV):	5		
Prallverdi:	15	cm ³	(använd "del" för att nollställa)
Belägningstyp (endaet för Prall):	2		(ABT=1; ADS=2)
Pris - färdig beläggning:	55	kr/m ²	(använd "del" för att nollställa)

Figur 8 Materialdata for beregning av slitasje (Jacobson og Wågberg 2007)

I den tredje modellen beregnes material- og produksjonskostnader som vist i Figur 9.

Del 3:

Material- och produktionskostnader:

Stenmaterialkostnader:	vikt-%	kr/ton	densitet	kr
Filler:	5	55	2,66	2,75
fraksjon 0-2 mm:	10	55	2,66	5,50
fraksjon 2-4 mm:	10	60	2,66	6,00
fraksjon 4-8 mm:	10	95	2,66	9,50
fraksjon 8-12 mm:	15	240	2,66	36,00
fraksjon 12-16 mm:	50	240	2,66	120,00
fraksjon 16-20 mm:	0	0	0	0,00
stenmaterial:	100		2,66	179,75
bindemedelshalt:	6,2	1750	1,01	108,50
totalt:				2,415

Summa kostnader:		
Stenmaterial:	179,75	kr/ton massa
Bitumen:	108,50	"
Tillsatser (fiber el dyl):	15,00	"
Tillverkning verket:	25,00	"
Etableringskostnad:	0,05	"
Transport (verket-utläggning):	150,00	"
Utlægning:	30,00	"
Övrigt:	0,00	"
Belægningstjocklek:	35	mm
Summa kg/kvm:	85	kg/m²
Summa kr/ton:	508	kr/ton
Summa kr/kvm:	55,00	kg/m²
Arskostnad:	2,89	kg/m⁴

Figur 9 Material- og produksjonskostnader (Jacobson og Wågberg 2007)

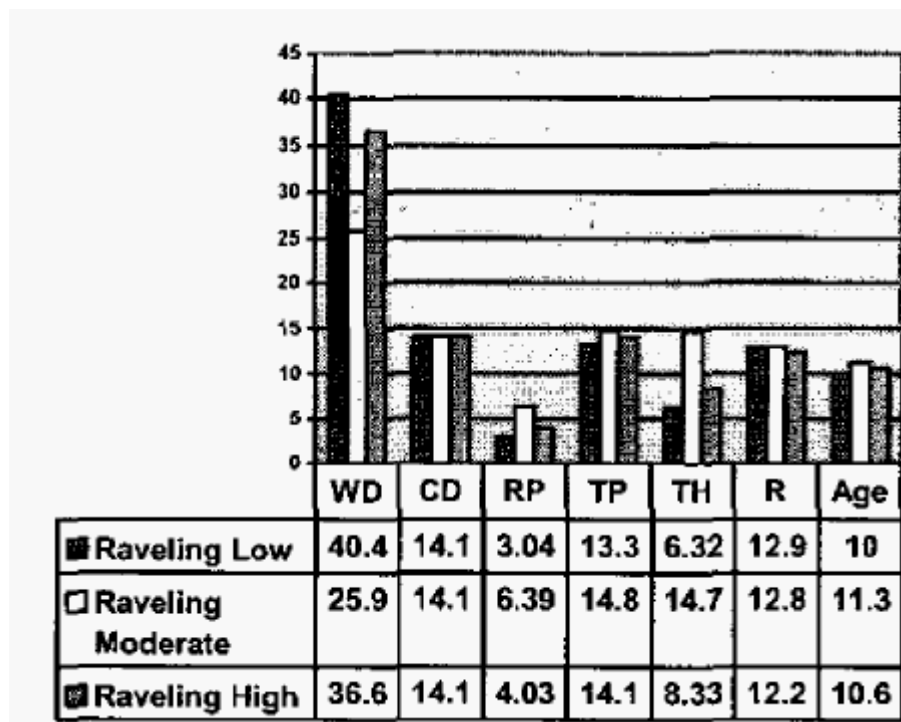
3.4 Steinslipp

I en studie utørt av Mirada i Nederland (Mirada 2004) er "Artificial Neural Networks" (ANN)-modell benyttet i for å forutsi og analysere steinslipp og hvordan dette påvirkes av klimatiske faktorer, trafikklast og material-/konstruksjonsegenskaper.

ANN benyttes for å modellere komplekse relasjoner hvor konvensjonelle metoder ikke kan benyttes. I denne analysen er det benyttet en modell kalt QNET. Hvilke faktorer som påvirker steinslipp i porøse dekker hevdes å være lite kjent, men det er generell enighet om at materialegenskaper, produksjon, bruk og klimatiske forhold påvirker levetiden. I denne undersøkelsen er det benyttet data fra databasen etter SHRP-NL-prosjektet som ble utført mellom 1990 og 2000. En viktig egenskap til QNET er at hver enkelt faktor kan kvantifiseres mht det relative bidraget til nedbrytningen. Det er derfor mulig å undersøke de mest relevante faktorer som påvirker steinslipp i porøse asfaltdekker. En ANN-modell ble brukt til med følgende faktorer som inndata:

- Varme dager (WD)
- Kalde dager (CD)
- Nedbør (RP)
- Andel tunge kjøretøy (TP)
- Dekketykkelse (TH)
- Ruhet av dekke (R)
- Dekkealder (Age)

Resultatet ble gitt i grad av steinslipp, lav, moderat og høy. Resultatet er vist i Figur 10.



Figur 10 Relativt bidrag fra input-parametrene for tilstand mht steinslipp (Mirada 2004)

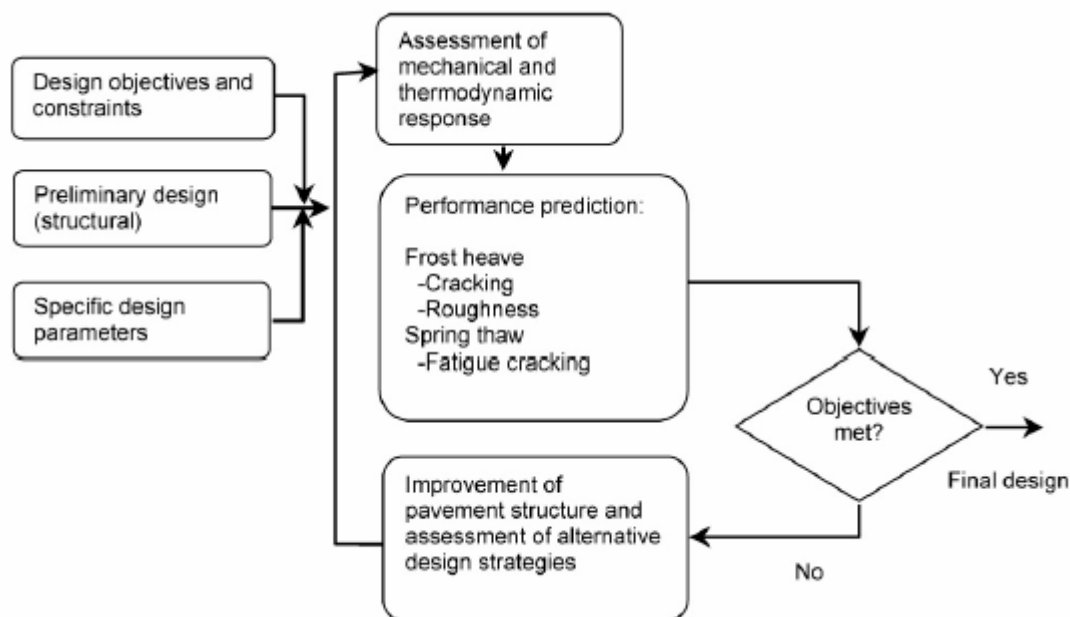
Som Figur 10 viser, kan klimatiske faktorer bidra med ca 57 %, mens trafikkfaktorer kan bidra med ca 14 %.

En annen modell ble benyttet til å se på sammenhengen mellom materialparametere og steinslipp. Det henvises til (Mirada 2004) for nærmere omtale av denne.

Det konkluderes med at ANN er en lovende teknikk for å estimere og analysere steinslipp i porøse dekker og at andre ANN-modeller kan utvikles for andre skademekanismer og andre dekketyper.

3.5 Fryse-/tine – og teleløsningsproblemer

I en studie utført i Canada av Doré og Pierre (Doré og Pierre 2003) hevdes det at eksisterende proporsjonerings- og dimensjoneringsystemer i hovedsak bare tar hensyn til trafikkbelastninger. Doré og Rioux påpeker at i nordlige regioner er frost en viktig faktor som bidrar til nedbrytning av vegkonstruksjoner. Noen systemer inneholder prosedyrer hvor materialegenskaper blir vurdert avhengig av fukt og temperaturforhold. I (Doré og Pierre 2003) foreslås en modell for vurdering av vegkonstruksjoner mht fryse/tine aktivitet. Metoden er basert på en 4-steps iterativ prosedyre. Først kalkuleres mekanisk og termodynamisk respons for vegkonstruksjonen ut fra klima- og trafikkbelastning. Den beregnede respons fra vegkonstruksjonen blir så benyttet i steg 2 til å beregne funksjonsegenskapene ved hjelp av spesifikke nedbrytningsmodeller. I tredje steg er resultatene vurdert opp mot gitte krav i det spesifikke prosjekt. Dersom kravene ikke er tilfredsstillt består fjerde steg i å forbedre vegkonstruksjonen. Figur 11 viser en prinsippsskisse av metodikken.



Figur 11 Prinsippskisse av metodikk for vurdering av funksjonsegenskaper til en vegkonstruksjon i klima med fryse-/tinesykler (Doré og Pierre 2003)

Metoden benevnes ADAAGE (Fransk forkortelse for: Analysis of Anticipated Pvement Deterioration in Frost Conditions). Metoden ble utviklet ved å følge følgende 3 hovedsteg:

1. Detaljert studie av de mekanismer som leder til initiering og utvikling av den spesielle skadetypen.
2. Framstille mekanismen ved hjelp av enkle modeller basert på fysiske prinsipper som er involvert i den enkelte skadetype.
3. Etablere statistiske sammenhenger mellom modellene og observert skadeutvikling på forsøksstrekninger.

Modellene som er valgt for å vurdere funksjonsegenskaper til vegdekker under fryse-/tinepåkjenning er:

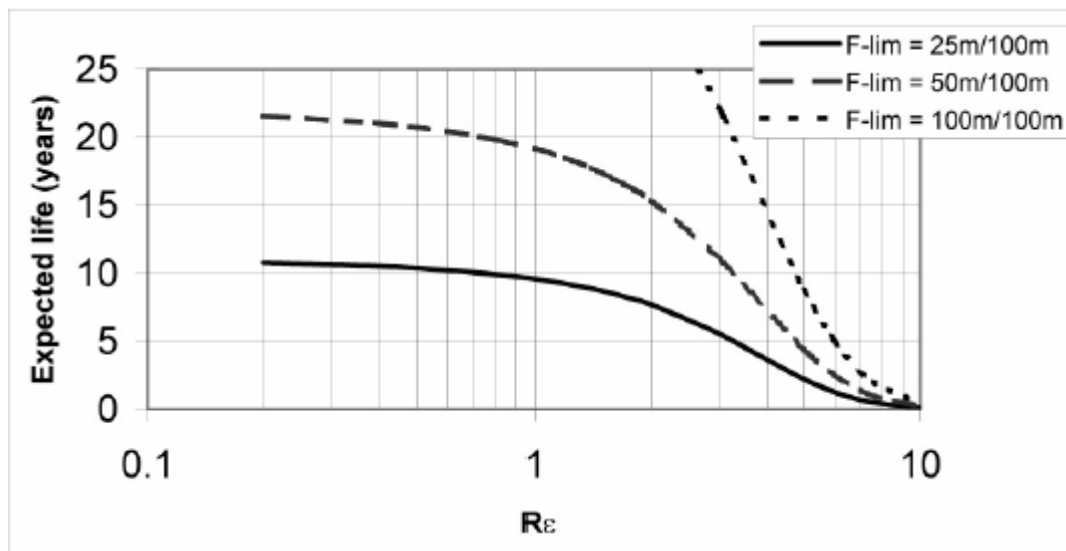
Frost relatert funksjon:

- Modell for ujevn telehiv i tverrprofilet (Langsgående oppsprekking utenfor hjulspor).
- Modell for ujevnheter i lengderetning.

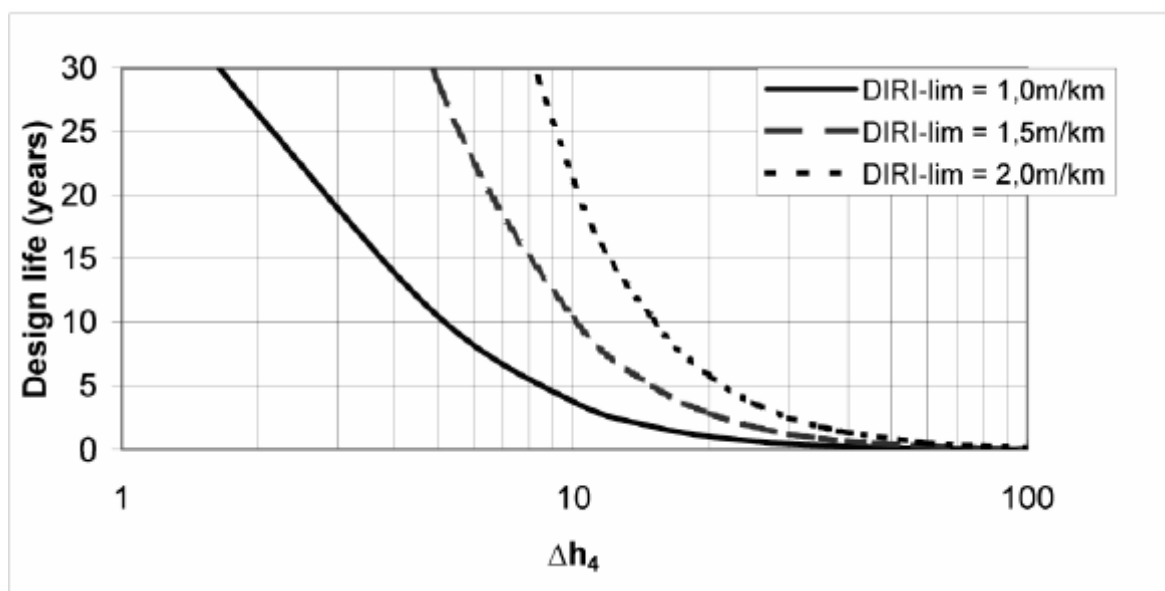
Teleløsningsproblematikk:

- Modell for beregning av utmattingssprekker.
- Modell for beregning av permanente deformasjoner.

I Figur 12 og Figur 13 er det vist eksempler på dimensjoneringsdiagram for hhv ujevn telehiv i tverrprofilet og ujevne telehiv i lengderetning.



Figur 12 Design diagram for ujevne telehiv i tverrprofilet (Doré og Pierre 2003)



Figur 13 Design diagram for ujevne telehiv i lengderetning (Doré og Pierre 2003)

Det vises til (Doré og Pierre 2003) for mer detaljerte beskrivelse av modellene.

Tiltak for å forbedre funksjonsegenskapene er vist i Tabell 5.

Tabell 5 Aktuell tiltak for å forbedre funksjonsegenskapene og levetiden til en vegkonstruksjon (Doré og Pierre 2003)

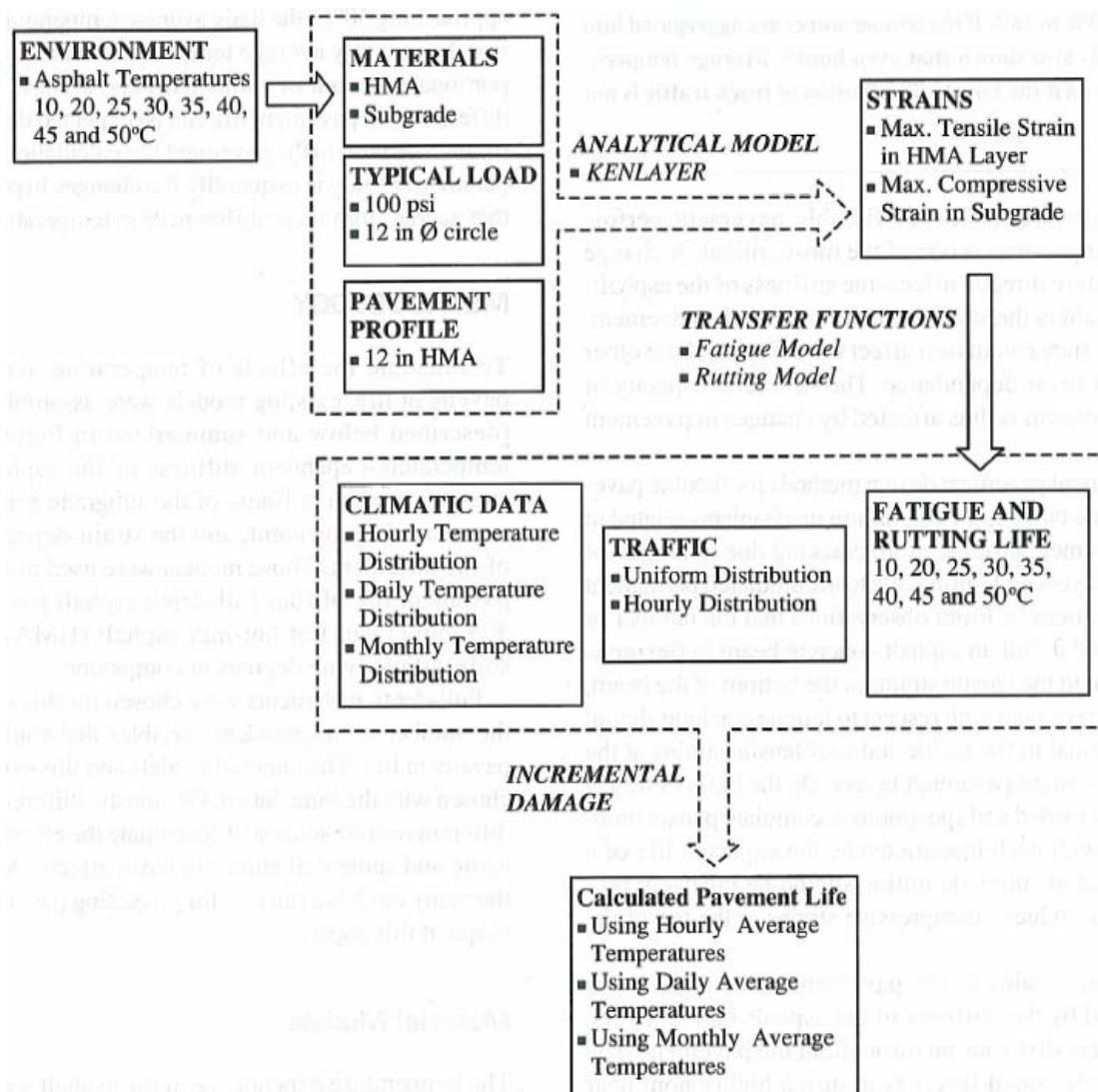
Anticipated problem	Predicted life	Proposed solution (new pavement)	Proposed solution (existing pavement)
Longitudinal cracking	Close to the objective	1) Increase subbase thickness 2) Increase width of lane cleared of snow 3) Stabilization of subgrade soil	1) Increase width of lane cleared of snow 2) Increase base thickness 3) Improve drainage quality
	Far from the objective	1) Pavement insulation* 2) Increase width of lane cleared of snow 3) Stabilization of subgrade soil	1) Pavement insulation* 2) Increase width of lane cleared of snow 3) Reinforcement of the asphalt concrete (mesh grid)
Winter roughness	Close to the objective	1) Increase subbase thickness 2) Uniformization of subgrade soil	1) Increase base thickness 2) Improve drainage quality
	Far from the objective	1) Pavement insulation* 2) Uniformization of subgrade soil 3) Stabilization of subgrade soil	1) Pavement insulation*
Fatigue cracking	Close to the objective	1) Increase subbase thickness	1) Increase asphalt concrete thickness
	Far from the objective	1) Increase subbase thickness 2) Increase base thickness 3) Increase asphalt concrete thickness 4) Pavement insulation* 5) Stabilization of granular base 6) Stabilization of subgrade soil	1) Increase asphalt concrete thickness 2) Increase base thickness 3) Pavement insulation* 4) Stabilization of granular base

* : pavement insulation involves partial reconstruction of the pavement structure to allow for the installation of an insulation layer at sufficient depth to minimize the risk of differential icing at the pavement surface.

Det gjenstår fortsatt et betydelig arbeid med innhenting av data og kalibrering av modellene.

3.6 Temperatur

Zuo, Meier og Drumm (Zuo et al. 2007) beskriver en undersøkelse der det er sett på hvordan bruk av forskjellige middeltemperaturer påvirker levetidsberegningen av et asfaltdekke. Figur 14 viser skjematisk hvordan levetiden er beregnet.



Figur 14 Skjematisk beregning av levetid for asfaltdekke (Zuo et al. 2007)

Temperaturavhengigheten for et asfaltdekke er beregnet ved bruk av sammenhengen fra 1993 *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*:

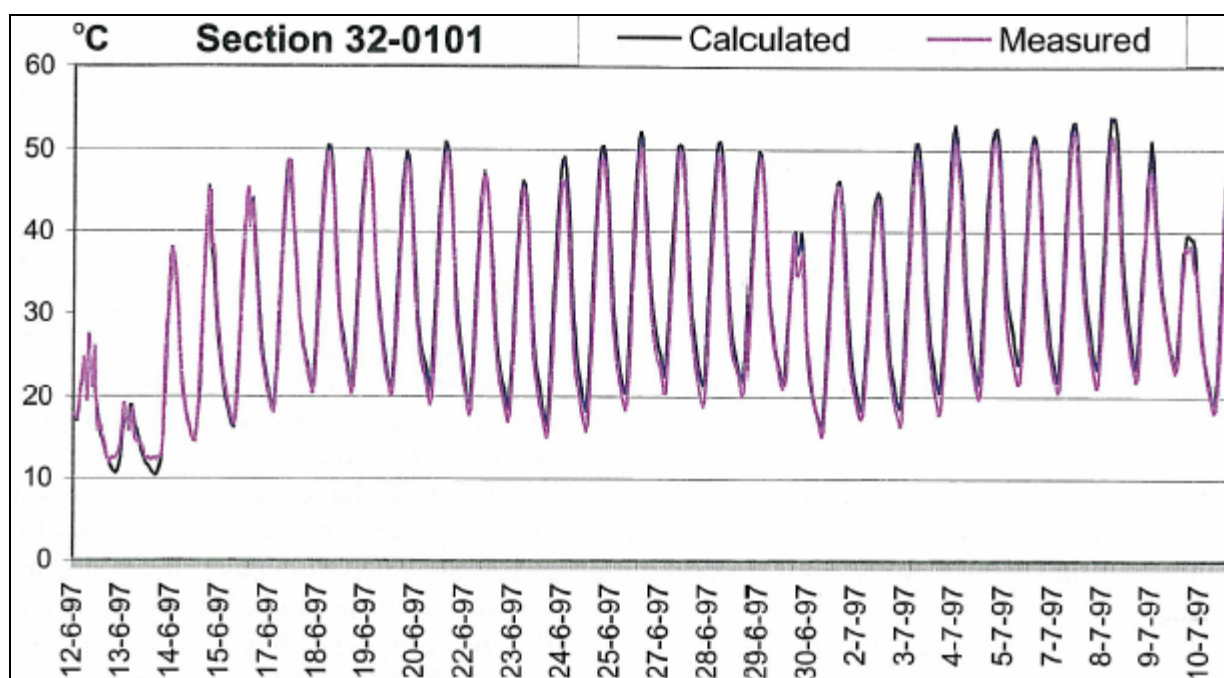
$$\text{Log}(E_{AC}) = 6.451235 - 0.000164671T^{1.92544}$$

hvor E_{AC} er dynamisk e-modul for asfalt i pund pr kvadrat tomme og T er temperatur i asfalten i Fahrenheit.

En utmattnings- og en sporutviklingsmodell ble benyttet til å beregne levetiden av dekkene. Modellene inngår begge i den 9. utgave av *The Asphalt Institute's Thickness Design Manual* og det henvises til denne for detaljer.

Resultatene fra (Zuo et al. 2007) viser at estimert levetid øker med lengden middeltemperaturen måles over. For modellene og parametrene benyttet i denne undersøkelsen viser at ved bruk av middeltemperatur over en måned og uniform trafikkfordeling så gir dette en overestimert levetid på 50%. Det anbefales derfor å vurdere kostnadene ved å benytte materialer med høyere kvalitet mot å kalkulere en mer ”troverdig” levetid.

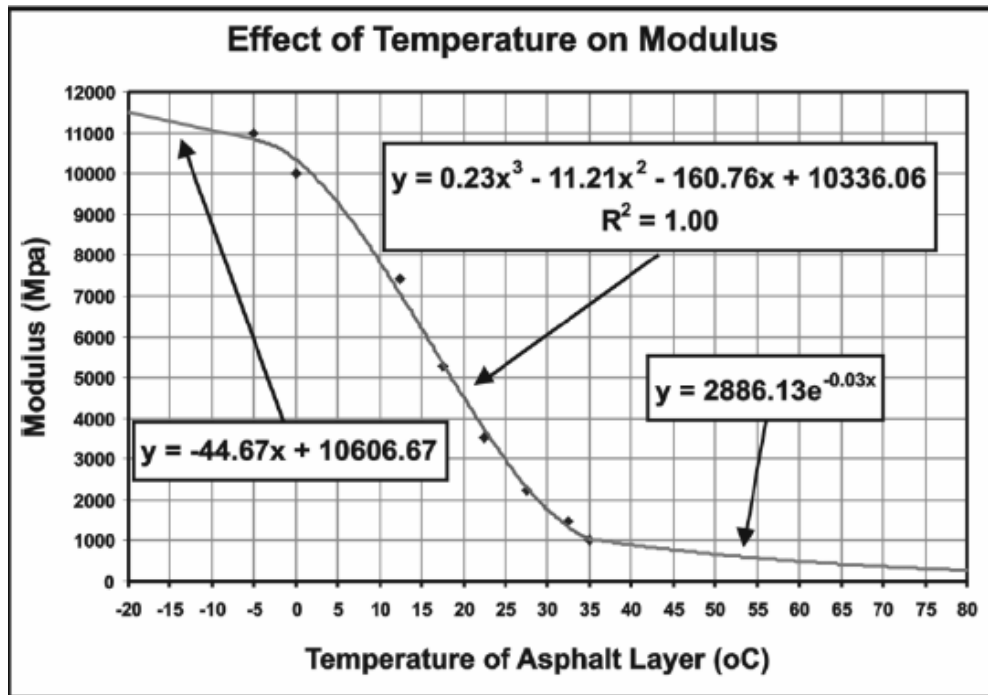
Hermansson har i sin doktorgradsavhandling (*Modelling of Frost Heave and Surface Temperatures in Roads*) (Hermansson 2002) utviklet en numerisk modell for beregning av temperaturen i asfaltdekket, ut fra solinnstråling, vindstyrke og lufttemperatur. Videre er det utviklet en modell for vinterlige forhold for blant annet å kunne beskrive telehiv. Modellen utgjør også et effektivt verktøy for å bedre kunne forstå vesentlige faktorer som har sammenheng med teledybde og telehiv. Det vises til (Hermansson 2002) for detaljer. I Figur 15 er det vist eksempler på målte og beregnede verdier i et asfaltdekke i en dybde på 25 mm.



Figur 15 Beregnede og målte temperaturer i et asfaltdekke som funksjon av tiden, i en dybde av 25mm på LTPP strekning 32-0101 (Nevada juni-97) (Hermansson 2002)

Marshall, Meier og Welch (Marshall et al. 2001) har benyttet BELLS ligninger for beregning av dekketemperaturer. Videre er det beregnet sammenhenger mellom dekketemperaturer og E-modul i asfaltdekket.

Asfaltmateriale er temperaturfølsomt. En dobling av temperaturen kan føre til en reduksjon av styrken til en 1/10-del. Store temperatur variasjoner i løpet av ett døgn, og fra måned til måned, med samtidig temperaturgradienter i asfaltlaget gjør at en modellering av styrken til et asfaltdekke vil være kompleks. I en modell (Loizos et al. 2003) gjennomføres tre temperaturberegninger; Temperatur i dekket ved måling av bæreevne, den månedlige middeltemperatur i dekket ved måling av bæreevne og årlig middelværdi i dekket. Det er utarbeidet modeller for beregning av temperaturen i et lag med asfaltert materiale, og det er estimert sammenhenger mellom stivhet og temperaturer for et typisk bituminøst materiale som vist i Figur 16.



Figur 16 Sammenheng mellom stivhet og temperatur for et typisk bituminøst materiale (Loizos et al. 2003)

3.7 Funksjonstesting

Det er gjennomført større utviklingsprosjekter hvor det er sett på hvordan materialer kan vurderes ut fra forventede påkjenninger fra trafikk og klima. Her kan blant annet nevnes forskningsprogrammet Strategic Highway Research Program, SHRP som ble gjennomført i USA på 1990-tallet og begynnelsen av 2000-tallet. I dette prosjektet ble det utviklet bindemiddelspesifikasjoner (SUPERPAVE-spesifikasjoner) (McGennis et al. 1994). Disse spesifikasjonene ble testet for norske forhold gjennom prosjektet "Ny asfaltteknologi" (Andersen 1998). I disse spesifikasjonene testes originalt bindemiddel, korttidsaldret bindemiddel (RTFOT) og langtidsaldret bindemiddel (PAV). Følgende tester inngår i undersøkelsene av bindemiddel:

- Dynamisk viskositet
- Dynamisk Skjær Reometer (DSR)
- Bending Beam Reometer (BBR)
- Korttidsaldring (RTFOT)
- Langtidsaldring (PAV)

Egenskapene som testes er stivhet og lavtemperaturegenskaper.

I Norge ble det i 1998 satt i gang et større utviklingsprosjekt. Prosjektet fikk navnet PROKAS (PROportjonering og KONTroll av ASfalt). PROKAS hadde som en hovedmålsetting å komme fram til nye og forbedrede metoder for proporsjonering og kontroll av asfaltdekker. Proporsjoneringen skulle baseres på funksjonstesting. Følgende resultater kan framheves fra det arbeidet som ble utført i PROKAS (Lerfald et al. 2004):

- Det er satt fokus på de funksjonelle egenskapene til et asfaltdekke.
- Det er laget et utkast til nytt system for valg av bindemidler.
- Nye metoder til testing av dynamisk stivhet (E-modul) og deformasjonsegenskaper (syklisk krep) er tatt i bruk. Flere laboratorier i Norge har fått kalibrert sitt utstyr og det er høstet erfaringer i bruken av utstyret.

- Det er utviklet en metode for tillaging av prøver på gyrator. Denne metoden er tatt inn i Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser (metode 14.5533). Asfaltemiljøet i Norge har også opparbeidet seg erfaringer i bruk av gyrator.
- Ulike måter å måle densitet og hulrom i asfaltprøver er vurdert. Metode 14.5623 i Håndbok 014 er anbefalt til framtidig bruk.
- For bestemmelse av maksimal densitet anbefales metoden *Rice Density*. Denne viser bra samsvar med stålpyknometermetoden, er både rask og lettvinnt å utføre og krever ikke bruk av løsemidler.

Aktuelle metoder for bestemmelse av funksjonsegenskaper til asfaltmasser er:

- Wheel-track – bestemmelse av deformasjonsegenskaper
- Nottingham Asphalt Tester, NAT – Bestemmelse av stivhet (E-modul) og deformasjonsegenskaper
- Cantabro-test – Bestandighet (vannfølsomhet)

3.8 Tiltak for å forlenge levetiden for et asfaltdekke

I Sverige (VTI 2004) er det sett på hvilke tiltak som kan gjennomføres for å forlenge levetiden for et asfaltdekke. Disse tiltakene er vurdert på generelt grunnlag, men vil også være aktuelle ved vurdering mht klimaforhold/klimaendringer. De aktuelle tiltak er listet i det etterfølgende (VTI 2004):

Produktion

- *Krav på rundbottnade lastbilar – reducerar risken för separationer*
- *Försök med blandningskassett monterade på läggaren – blandar om massorna och förhindrar separationer (kostnadseffektivt endast vid stora jobb)*
- *Krav på värmekamera – detekterar risken för separationer*
- *DOR-mätning – kontinuerlig mätning av homogenitet – ger viktig information om beläggningsens homogenitet*
- *Tjockare lager under slitlager*
- *Bättre vältningssteknik, bl.a. gummihjulsvält*
- *Bra fogar*

Laboratoriemetoder

- *Längre lagringstider i vatten vid bestämning av vidhäftningstal, 7 dygn – ger en strängare provning*
- *”Osmotisk” konditionering (salt + vatten + frys-tö) – strängare provning som visat relevans med vinterförhållanden*
- *För att provningen skall bli mer utslagsgivande tillverkas och konditioneras ibland prov med högre hålrumshalter än normalt (efterliknar separationer) – ger mer utslagsgivande provning*
- *Mer av funktionsinriktade labprovning (styvhetsmodul, Prall, Cantabrian mm)*
- *Metoder för att testa de finare stenmaterialfraktionernas vattenkänslighet*

Tekniska anvisningarna

- *Hårdare krav på vattenkänslighet*
- *Lägre tillåtna hålrumshalter*
- *Högre riktvärden för bindemedelshalt*
- *Krav på vidhäftningsbefrämjande tillsatser (kalkhydrat, portlandcement eller amin)*
- *Modifierade bindemedel*
- *Undvika alltför sen utläggning på året*

4 Data i vegdatabanken

Det er ikke gjennomført en detaljert studie av tilgjengelighet og kvalitet på dataene i vegdatabanken i dette prosjektet, men som en del Vegkapitalprosjektet ble det gjennomført en vurdering av data fra Vegdatabanken i forbindelse med analyser av typisk oppbygging av vegkonstruksjoner på det norske riksvegnettet (Sund 2005). Følgende fire registre vil trolig være av størst interesse ved vurdering av levetiden for en vegkonstruksjon:

- 0301 – Årsdøgntrafikk – detaljrapport
- 1601 – Oppgraving fagdata – detaljutskrift
- 2617 – Dekke pr. PMS-parsell
- 4103 – Vegreg – tverrprofil

Det er dataene i oppgravingsregisteret som har lavest oppløsning; data for hver 500. meter er vanlig.

Oppgravingsregisteret omfatter ikke hele riksvegnettet. I Tabell 6 er det gitt en fylkesvis oversikt over dekningsgraden for oppgravingsregisteret.

Tabell 6 Fylkesvis oversikt over dekningsgraden for oppgravingsregisteret (Sund 2005)

Fylke	Lengde/andel med data		Lengde/andel uten data		Sum
ØSTFOLD	516,103	58 %	380,057	42 %	896,16
AKERSHUS	750,383	71 %	308,599	29 %	1058,982
OSLO	1,595	1 %	214,917	99 %	216,512
HEDMARK	1494,109	75 %	510,998	26 %	2005,107
OPPLAND	1482,914	90 %	171,934	10 %	1654,848
BUSKERUD	963,4	83 %	194,779	17 %	1158,179
VESTFOLD	350,133	52 %	328,431	48 %	678,564
TELEMARK	1027,197	83 %	204,222	17 %	1231,419
AUST-AGDER	661,698	71 %	265,591	29 %	927,289
VEST-AGDER	767,941	79 %	200,299	21 %	968,24
ROGALAND	717,897	65 %	381,597	35 %	1099,494
HORDALAND	512,98	29 %	1246,762	71 %	1759,742
SOGN OG FJORDANE	842,707	46 %	971,711	54 %	1814,418
MØRE OG ROMSDAL	1648,498	91 %	169,241	9 %	1817,739
SØR-TRØNDELAG	1090,307	71 %	436,343	29 %	1526,65
NORD-TRØNDELAG	1485,553	94 %	89,592	6 %	1575,145
NORDLAND	2745,71	100 %	8,482	0 %	2754,192
TROMS	1216,499	69 %	550,384	31 %	1766,883
FINNMARK	1535,024	71 %	619,737	29 %	2154,761
SAMTLIGE FYLKER	19810,65	73 %	7253,676	27 %	27064,33

Oppgravingsregisteret er for mange fylker ikke oppdatert. For hele riksvegnettet finnes det oppgravingsdata for ca. 73 % av veglengden, men det er store fylkesvise forskjeller. For Oslo finnes det omtrent ikke data, mens det i Nordland finnes for så godt som hele riksvegnettet. Data for dekkeregisteret er à jour for alle fylker (Sund 2005).

5 Grusdekker

Norge har et betydelig antall grusveger som utgjør en viktig del av vegnettet vårt. Grusdekke er rimelig ved investeringer og med gode materialer og lav trafikk kan grusdekke være et praktisk alternativ (Nordal 1989). I dette kapitlet har vi fokusert på selve slitelaget av grus. I tillegg vil disse grusvegene ha ubundne bære- og forsterkningslag som er utsatt for de samme problemene

som beskrevet i kapittel 6, men ofte i enda større grad fordi kvalitetene på disse lagene ofte er lavere enn det vi finner på en asfaltert veg.

Grusdekker er i særlig stor grad påvirket av klimatiske forhold. De viktigste klimaparametrene som påvirker et grusdekke og de tilhørende skadene er beskrevet i Tabell 7.

Tabell 7 Hvordan blir grusdekker påvirket av klimaendringer

Klimaparametre	Skademekanismer
Nedbør	Mye nedbør fører til utvasking av materiale og dannelse av ujevnheter og hull/vaskebrett. Uttørking pga lite nedbør om sommeren fører til støvproduksjon og tap av bindmateriale
Mildere vintre	Frossen veg har god bæreevne og holder seg godt. Mild vinter kombinert med mye nedbør gir rask nedbrytning av grusdekket
Varmere somre	Vil øke tendensen til uttørking og støvproduksjon
Flere teleløsninger per vinter	I teleløsningsperioden vil grusveger ofte ha begrenset dreneringsevne og smeltevann vil bli stående i vegen med redusert bæreevne som resultat. I noen tilfeller blir vegen helt uframkommelig
Flere fryse/tine vekslinger	Fryse/tine sykluser vil ha en negativ innvirkning på grusdekker. Flere slike sykluser per vinter vil øke tendensen til ujevnheter, hull og vaskebrett.

Det er relativt liten forskning som er tilgjengelig for grusdekker i norsk/nordisk klima, men i 2001 ble det utført et doktorgradsarbeide ved KTH (Alzubaidi og Magnusson 2002). Temaet for denne doktorgraden var metoder for å evaluere tilstanden til grusdekker og de tilhørende dreneringssystemene.

Oduola fra Bahir Dar University i Etiopia støtter forslaget til metode fra Alzubaidi og forslår utnyttelse av GIS for å gjøre metoden mer fleksibel og nyttig for evaluering av grusdekker i Afrika og andre utviklingsland (Oduola 2003).

Det har blitt utviklet noen skadeutviklingsmodeller for grusdekker som tar direkte hensyn til klimaparametrene. Blant annet har (Rada et al. 1989) og (Huntington et al. 2007) utviklet skademodeller som bygger på fuktinnholdet i materialene og avanserte spenningsanalyser ved hjelp av elementmetoden. Om denne modellen er overførbar til norske forhold er ikke vurdert.

5.1 Økt nedbør

Grusdekker er følsomme ovenfor regn når vegen er bar. For mye regn fører til at materialet i vegdekket bløtes opp slik at en mister bæreevne lokalt i toppen. I verste fall kan vegen gå helt i oppløsning, men dette ser en som regel helst ved vann fra teleløsning som ikke kan dreneres vekk på grunn av frosne lag lenger ned.

Mye nedbør vil også føre til utvasking av materialer i toppen slik at det dannes hull og "vaskebrett" (Isemo og Johansson 1976).

Økt nedbør i perioden der vegen er frosset antas å ha mindre betydning for nedbrytning av vegdekkene.

5.2 Mildere vintre

En grusveg som er frosset vil som regel ha en veldig god bæreevne og i frosset tilstand vil den i ubetydelig grad utsettes for nedbrytning. Mildere vintre vil være ugunstig for veger med grusdekke fordi perioden med frosset veg vil bli kortere (Nordal 1989).

5.3 Varmere somre

Varmere somre vil kunne føre til større problemer med uttørking og støv i den grad nedbørsmengden ikke samtidig øker. Støvproblemene er uønsket fordi det er plagsomt for omgivelsene, men også fordi finstoffet som forsvinner på denne måten er nødvendig for å opprettholde en god bæreevne (Alzubaidi 2001).

5.4 Flere teleløsninger

Klimaendringer som fører til at en får flere teleløsningsperioder i løpet av et år vil ha en alvorlig negativ virkning på grusveger. Vi har ikke funnet forskning som direkte undersøker i hvor stor grad dette vil påvirke levetiden/vedlikeholdskostnadene for grusvegene.

Ryynänen, Belt og Ehrola (Ryynänen et al. 2003) gir en beskrivelse av et arbeide hvor det er utviklet en metode for å kunne forutsi teleløsning på veger i Finland. Metoden er basert på tidligere arbeider utført i Minnesota. Metoden er bare egnet for et område og kan ikke benyttes til en bestemt veg eller del av en vegstrekning (Rapporten er skrevet på finsk med sammendrag på engelsk).

6 Ubundne bære- og forsterkningslag og undergrunn

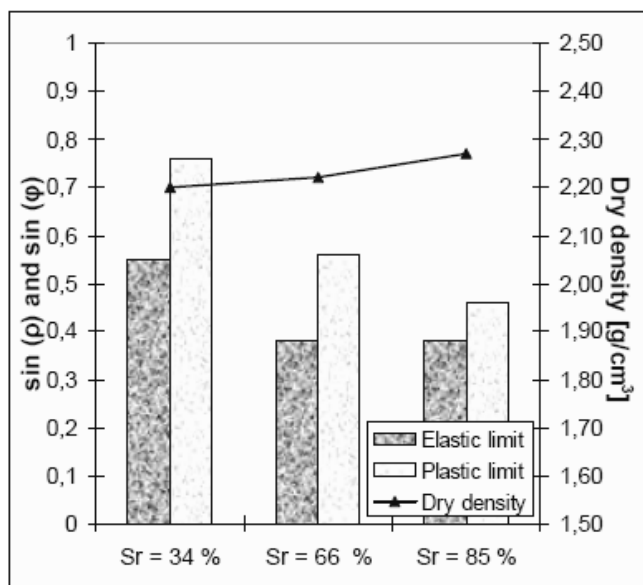
En temperaturøkning i seg selv vil ha liten påvirkning på ubundne materialer. Det er ingen forskning som tyder på at disse materialene blir påvirket av temperaturen i signifikant grad. Endringer i fryseforholdene vil påvirke egenskapene. De viktigste klimaparametrene og hvordan de påvirker ubundne materialer er vist i Tabell 8.

Tabell 8 Hvordan blir ubundne bærelag påvirket av klimaendringer

Klimaparametre	Skademekanismer
Nedbør	Redusert bærevne, permanente deformasjoner
Mildere vintre	Redusert frosen periode – lengre periode med skadeutvikling
Varmere somre	Liten direkte effekt
Flere teleløsninger per vinter	Flere perioder med stor nedgang i bæreevnen, permanente deformasjoner
Flere fryse/tine vekslinger	Omlagring av steinpartikler som gir permanente deformasjoner

6.1 Vannfølsomhet

Flere forskningsarbeider for eksempel (Hicks og Monismith 1971), (Raad et al. 1992), (Uthus 2007), (Ekblad 2007) og (Hoff 1999) har vist at ubundne materialer blir påvirket i negativ retning hvis vanninnholdet øker. Nedgangen i elastisk stivhet (resilientmodul) og motstand mot permanente deformasjoner er tydeligst for materialer som inneholder en viss mengde finstoff. For veger som er nybygd etter kravene som gjelder i dagens Håndbok 018 vil disse negative konsekvensene være relativt beskjedne. Figur 17 (Uthus 2007) viser hvordan motstanden for et materiale med relativt mye finstoff går betydelig ned når metningsgraden øker.



Figur 17 Motstand mot permanent deformasjon for materialer med mye finstoff (Uthus 2007)

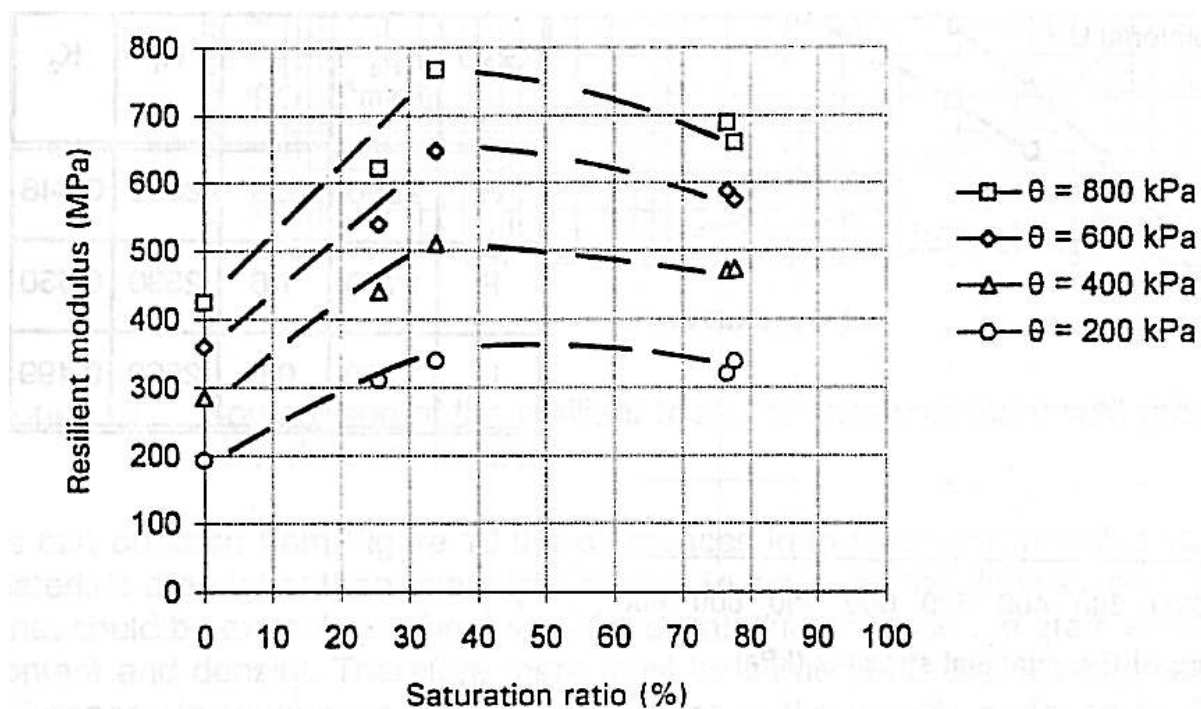
(Dawson 1999) viser i Tabell 9 de viktigste faktorene som påvirker ubundne materialer. En kan legge merke til at vanninnhold er trukket fram som en meget viktig faktor som påvirker i negativ retning.

Tabell 9 Viktige faktorer som påvirker ubundne materialer

Property	Stiffness	Susceptibility to Permanent Deformation	Strength	Permeability	Durability
Type - Gravel instead of Crushed Rock	↑	↑	↑	none	usually ↑
Grading - Well graded instead of Single-sized	minor ↑	↓	↑	major ↓	↓
Fines content	↓?	↑	varies	major ↓	↓
Maximum Size - Large instead of Small	↑	↓?	minor ↑	↑	↓?
Shape - Angular/Rough instead of Rounded/Smooth	↑	↓	↑	minor	minor
Density	↑	↓	↑	↓	minor
Moisture Content	major ↓	major ↑	major ↓	major ↑	varies
Stress History	↑?	major ↓	minor ↓	none	?
Mean Stress Level	↑	↓	↑	minor ↓	↓

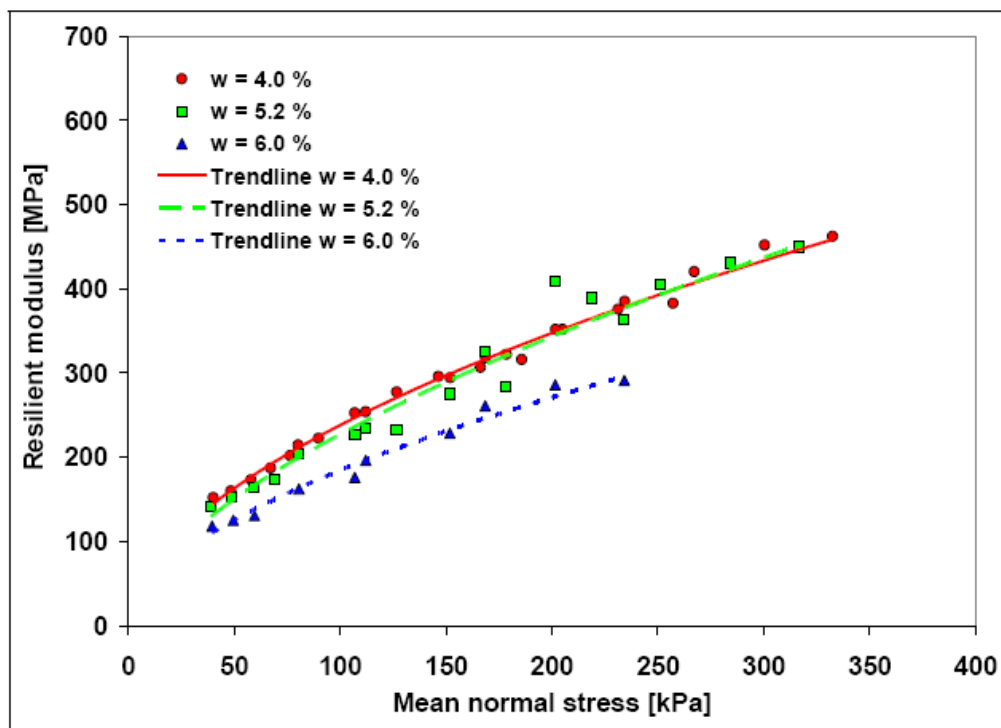
For det lavtrafikkerte vegnettet som i mange tilfeller har bære- og forsterkningslag som er rike på finstoff kan vi oppleve en betydelig svekkelse som konsekvens av økt tilførsel av vann. I mange tilfeller vil asfaltdekkene ha en betydelig permeabilitet på grunn av oppsprekking slik at vann kan trenge gjennom og ned i bære- og forsterkningslag (Erlingsson et al. 2003). I tillegg til vanntilførsel gjennom asfalten vil vann trenge inn fra sidene av vegen og bli presset/sugd inn fra grunnvannspeilet under vegen.

Figur 18 viser hvordan den elastiske stivheten blir påvirket av vanninnholdet (Kolisoja 1994). Som vi ser er resilientmodulen avhengig av metningsgraden med en høyeste verdi for en middels metning og nedgang både mot tørrere og våtere side.



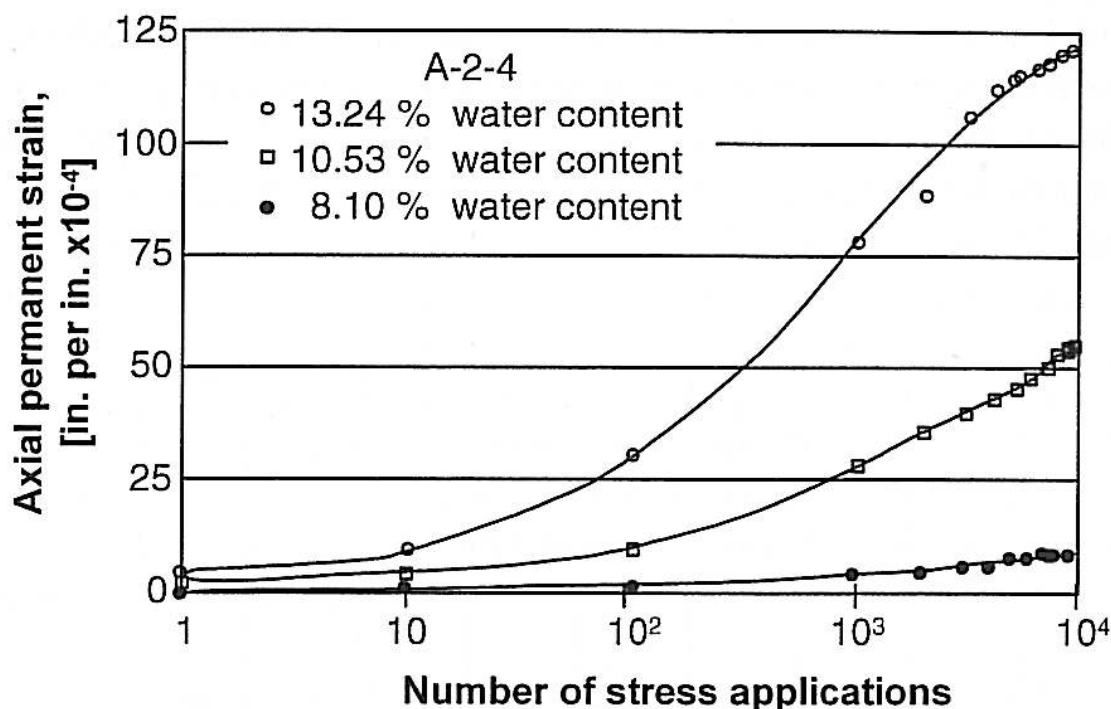
Figur 18 Resilientmodule som funksjon av metningsgrad av for ulike spenningsnivå (Kolisoja 1994)

Figur 19 viser et eksempel på et materiale med høy andel glimmer og forholdsvis mye finstoff undersøkt av (Uthus 2007). Som vi kan se er det en redusert stivhet for det høyeste vanninnholdet.



Figur 19 Effekt av vanninnhold for en Gneis med mye glimmer. (Uthus 2007)

Figur 20 viser tydelig at deformasjonsutviklingen blir betydelig større ved høyere vanninnhold for et undergrunnsmateriale med betydelig mengde finstoff.



Figur 20 Effekt av vanninnhold på undergrunnsmateriale (Odermatt 2000)

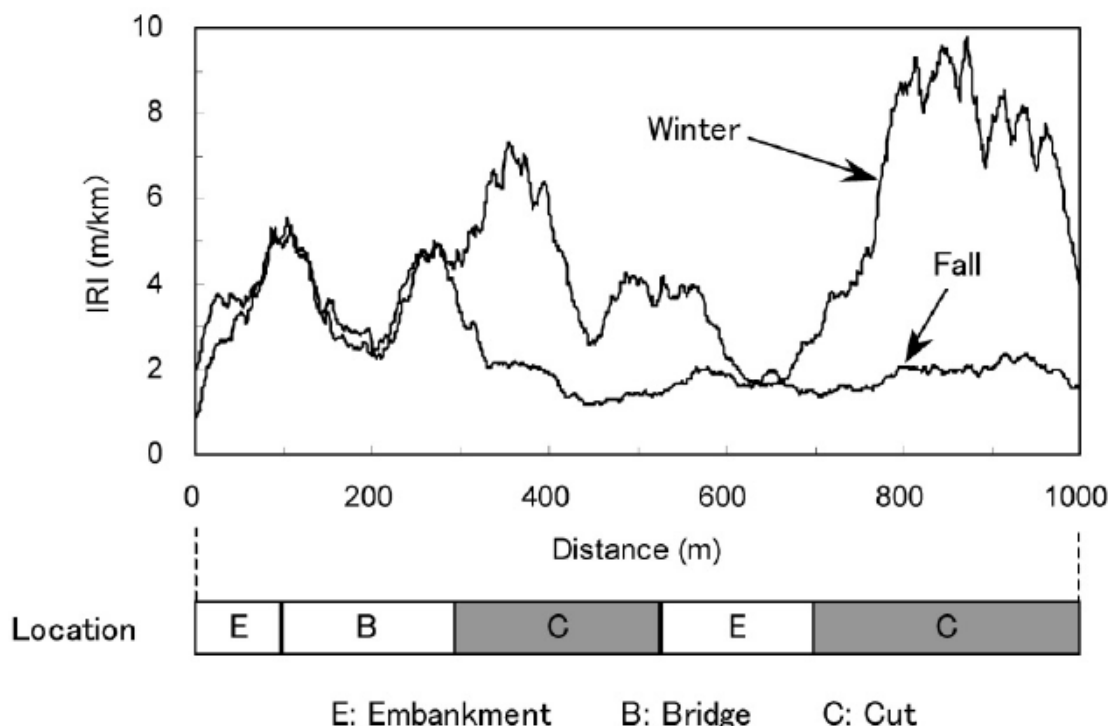
Oppsummert kan en si at forskningen viser at den resiliente stivheten går noe ned når vanninnholdet blir stort. Redusert motstand mot permanente deformasjoner er enda mer markert og gir seg utslag i direkte skader på veggen i form av hjulspor.

6.2 Telehiving

Telehiving og vannmetting i den påfølgende vårløsningen er et stort problem for mange/de fleste norske lavtrafikkerte veger. Flere tunge studier er blitt gjennomført innen dette fagfeltet: (Berntsen 1993), (Hermanson 2002), (Simonsen 1999) og (Erlingsson et al. 2003).

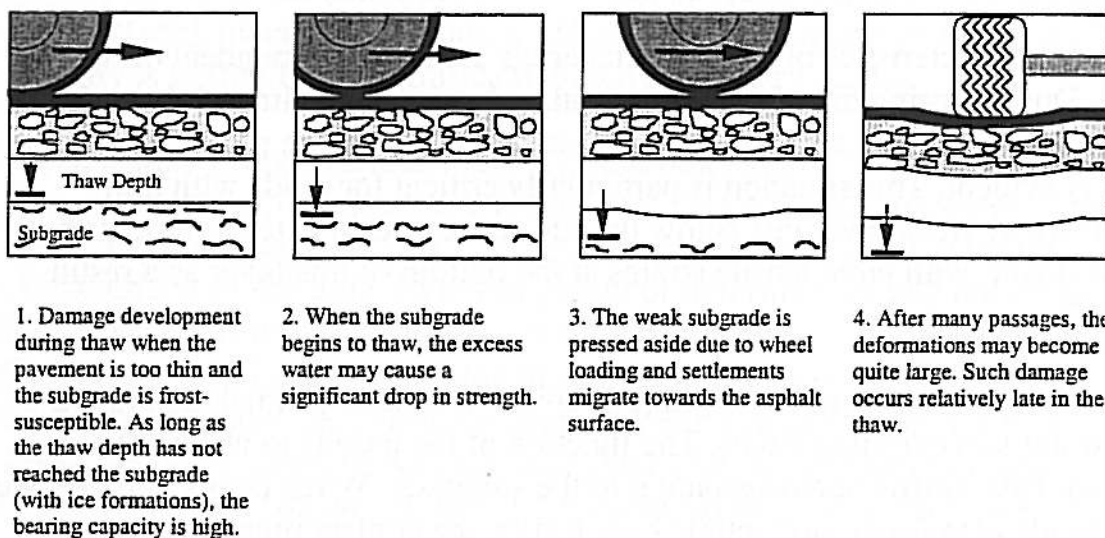
Telehiving er avhengig av frost, telefarlige materialer og tilgang på fritt vann. Håndbok 018 setter krav til materialene slik at disse ikke skal være telefarlige, men mye av det eksisterende vegnettet har bære- og forsterkningslag som er rike på finstoff og som gir betydelig telehiving i dag.

Virkingen av telehiving på vegens jevnhet på langs uttrykt ved hjelp av IRI er åpenbar for alle som har kjørt bil i Norge på vårparten. I Figur 21 er dette dokumentert gjennom målinger gjort på en japansk motorveg i nærheten av Hokaido. Som vi ser er IRI-verdien betydelig større om vinteren der vegen ligger i skjæring.

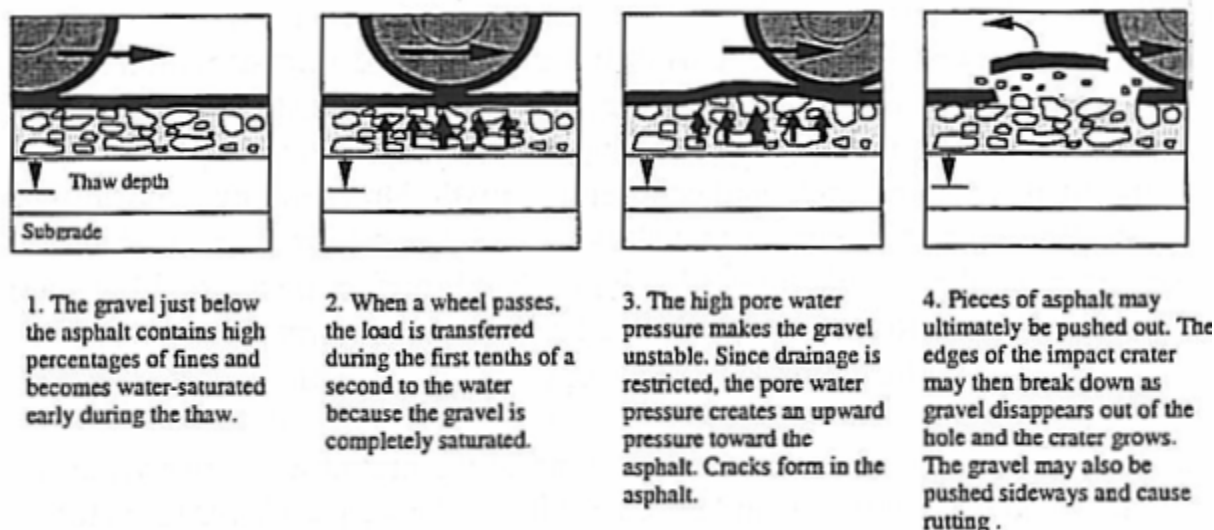


Figur 21 Forskjell i IRI mellom sommer og vinter for en motorveg i nærheten av Hokaido (Kameyama et al. 2003)

Når frosset vann i granulære lag tiner om våren vil det dannes et overskudd av vann som ofte ikke blir drenert vekk fordi underliggende lag er frosset. Dette vil føre til en betydelig svekkelse av konstruksjonen med påfølgende skader. Økte vedlikeholdskostnader som følge av skader i teeløsningen er blitt estimert til 25 % av det totale vedlikeholdsbudsjettet i Sverige (Simonsen 1999). Figur 22 og Figur 23 viser eksempler på skademekanismer som kan oppstå i teeløsningen

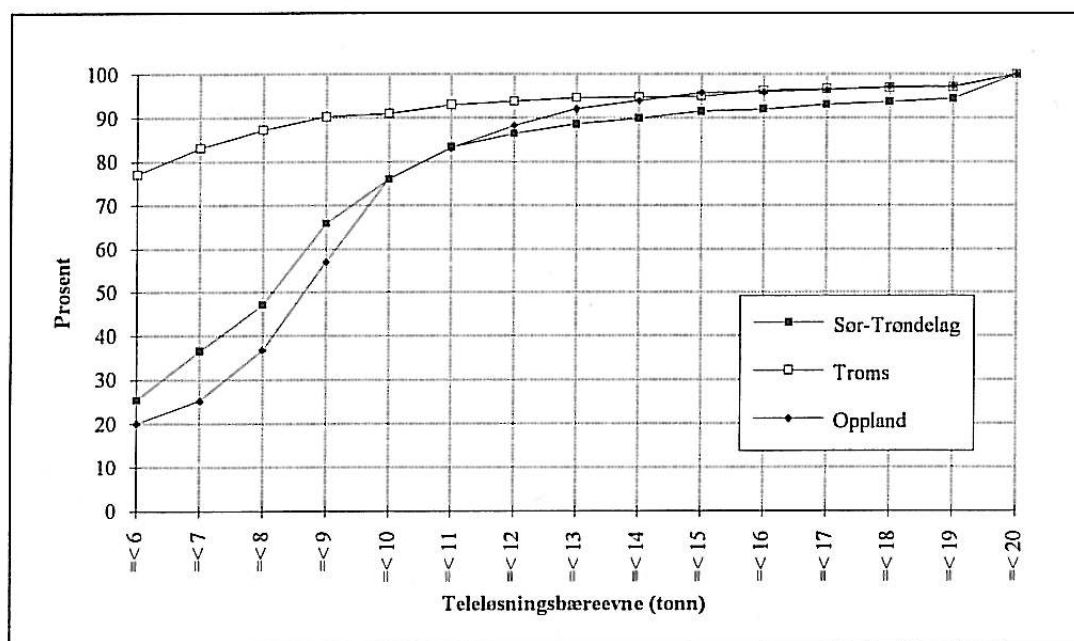


Figur 22 Skademekanisme i teeløsning med vannfølsomt og telefarlig undergrunn (Simonsen 1999)



Figur 23 Skademekanisme ved teløsning og vannfølsomt bærelag (Simonsen 1999)

Figur 24 viser beregnet bæreevne i teløsningen basert på oppgravningsregisteret. Som en ser fra figuren er det en betydelig andel av vegnettet som har lavere enn 6 t bæreevne.



Figur 24 Kritisk teløsningsbæreevne fra bæreevnerregisteret for utvalgte stamveger i tre fylker (Berntsen 1993)

Til tross for en betydelig reduksjon i bæreevnen ble det på bakgrunn av BUAB-prosjektet (Statens vegvesen 1993) besluttet å oppheve telerestriksjonene på hoveddelen av det offentlige vegnettet.

Hvordan denne situasjonen vill endre seg med endret klima er ikke helt opplagt. Mindre frostmengde på grunn av mildere vintre vil virke gunstig og redusere problemet, men flere

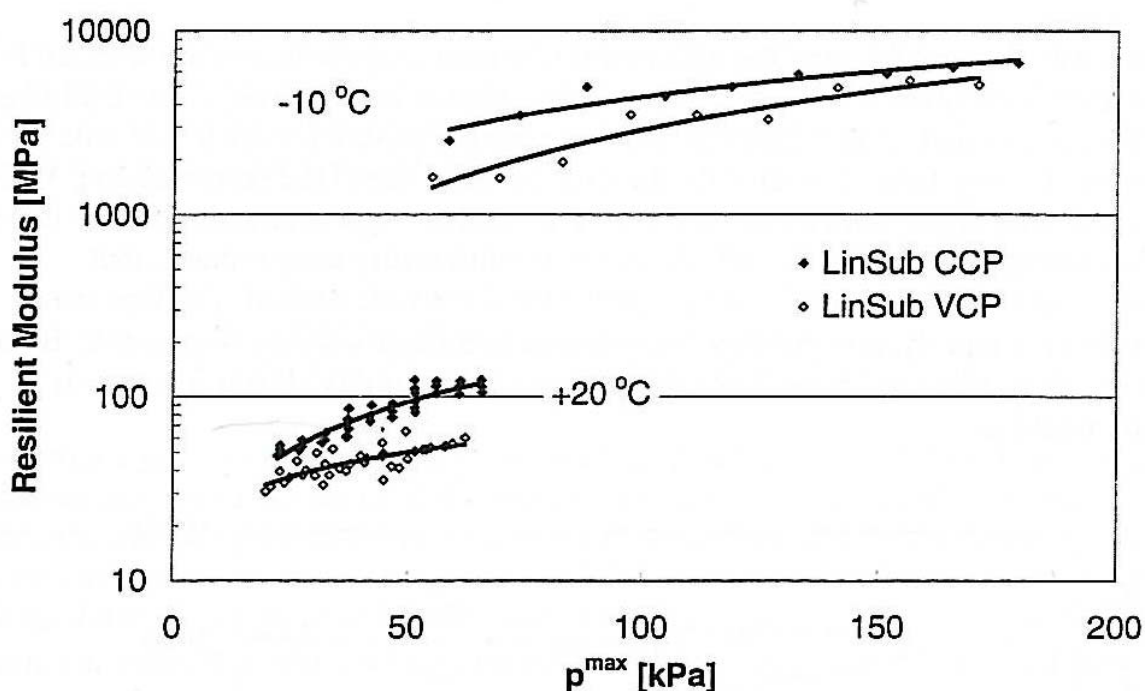
vekslinger med frysing og tining kan føre til at islinsene dannes lenger opp i vegkonstruksjonen med uforutsigbar virkning.

Mange veger i Norge i dag er ikke bygd frostsikre på den måten at overbygningen er tykk nok til at frosten ikke kan trenge ned til telefarlige materialer i undergrunnen. Dette betyr at frost og telehiving i disse materialene kan gi betydelige problemer. Et stykke under overflaten vil telehivingen i stor grad bli styrt av total frostmengde og den isolerende evnen til lagene over. Det betyr at en økning av middeltemperaturen vil redusere problemet med telehiving i undergrunnsmaterialene og en økning i svingninger rundt null vil ha mindre betydning for disse materialene enn det som kan være et problem for telefarlige materialer i bære- og forsterkningslag.

6.3 Temperaturendringer

Ubundne materialer er i liten grad påvirket av temperaturendringer bortsett fra når de går over til frosset tilstand. I frosset tilstand vil elastisk stivhet, bæreevne og motstand mot permanente deformasjoner øke drastisk. En endring av vintertemperaturen kan derfor få en negativ innvirkning fordi perioden da vegen er i denne gunstige tilstanden blir kortere.

Figur 25 (Simonsen 1999) viser resilientmodulen for et materiale i frosset og tint tilstand. Figuren viser tydelig at forskjellen i stivhet målt i laboratoriet øker fra 50-100 MPa til godt over 1000 MPa for et grusmateriale

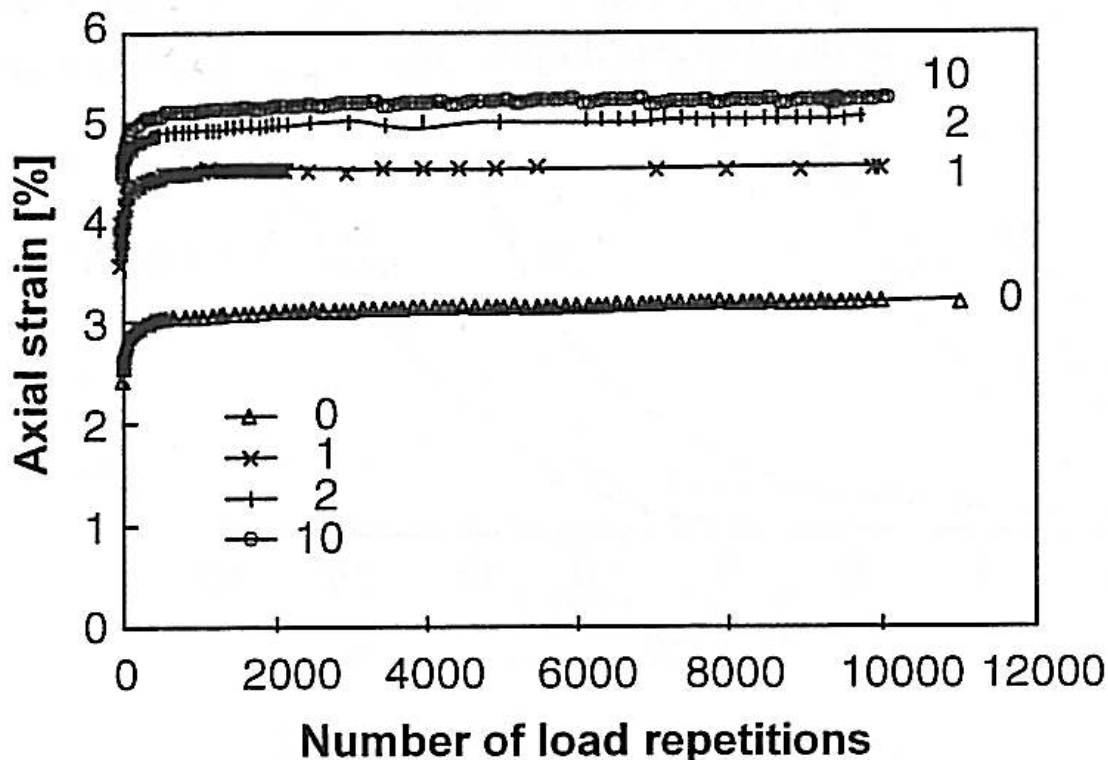


Figur 25 Elastisk stivhet for materialer i frosset og tint tilstand (Simonsen 1999)

Selv om de ubundne materialene i seg selv ikke er temperaturfølsomme vil de få en merkbar negativ indirekte påvirkning av høye sommertemperaturer fordi asfaltlagene som ligger over får redusert sin stivhet og lastfordelende evne. Dette fører til at spenningene øker i de ubundne lagene noe som kan føre til permanente deformasjoner og spordannelse. Det finnes flere modeller som har blitt utviklet for å beregne hvor store deformasjoner som en kan regne med ut fra en slik

spenningsøkning (Dongmo-Engeland og Hoff 2007), men det gjenstår fortsatt verifisering mot virkelige vegstrekninger før vi kan si at disse modellene er operative. De nyeste av disse modellene har klare skiller mellom forskjellig typer oppførsel slik at beskjedne økninger i spenningene kan gi betydelig spordannelse om en kommer over et visst nivå i modellene.

Figur 26 viser deformasjonsutvikling for et leirholdig materiale utsatt for 0, 1, 2 eller 10 fryse/tine vekslers før det ble utsatt for en syklisk belastning. En ser en tydelig forverring etter fryse/tine vekslene, men skadene øker i beskjednen grad med antallet fryse/tine vekslers.



Figur 26 Effekt av fryse/tine sykler på et undergrunnsmateriale (Odermatt 2000)

7 Modeller for tilstandsutvikling og dimensjonering

De fleste land har empiriske dimensjoneringsystemer for materialvalg og oppbygging (COST 333 1997). De lokale klimaforholdene er stort sett indirekte tatt hensyn til, men inngår i liten grad i selve dimensjoneringen. Dette gjør disse systemene sårbare om klimaendringene blir så store at materialene ikke lenger vil oppføre seg som forutsatt. Siden klimahensyn bare er indirekte bakt inn i systemene vil det i mange tilfeller kreves en betydelig innsats for å endre systemene.

7.1 Det norske dimensjoneringsystemet

Det norske dimensjoneringsystemet er empirisk på den måten at tidligere erfaringer med vegbygging har blitt systematisert i et enkelt katalogsystem der en ut fra trafikkmengde og grunnforhold kan velge mellom noen aktuelle konstruksjoner som erfaringsmessig har gitt gode resultater.

Klima er ikke en viktig parameter i det norske dimensjoneringsystemet beskrevet i Håndbok 018 (Statens vegvesen 2005). Materialvalg og bestemmelse av lagtykkelser er uavhengig av klimaforskjeller mellom landsdeler med unntak av frostdimensjoneringen som bestemmes ved hjelp av kommunevise tabeller med frostmengde og middeltemperatur. Ved en klimaendring vil det være forholdsvis enkelt å endre disse tabellene og dermed sikre tilfredsstillende frostsikring. For de andre elementene, der klima er innbakt i en total vurdering av hensiktsmessige krav, vil en endring som følge av klimaendring bli en mer omfattende oppgave.

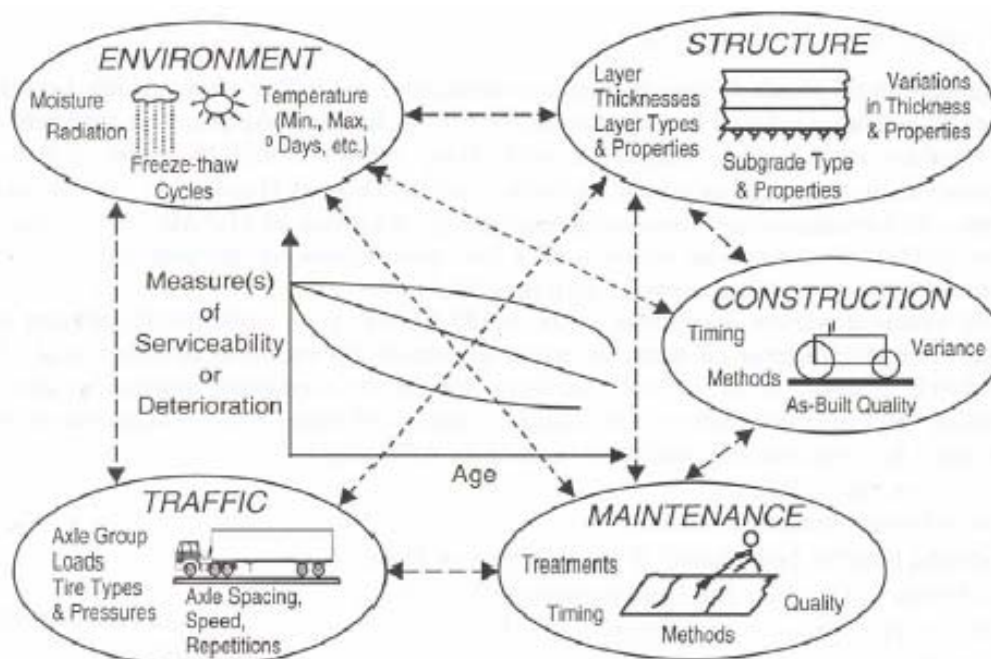
7.2 Norden

I en undersøkelse utført i Sverige (Kalman et al. 2005) påpekes det at en fordel med å skille mellom nedbrytning som skyldes trafikkklaster og nedbrytning som skyldes miljøfaktorer (klima) er at for nedbrytning som skyldes trafikk forefinnes en del modeller som gjør at vegen kan dimensjoneres for den forventede trafikkbelastning. Nedbrytning som skyldes miljøfaktorer har man imidlertid ikke analytiske metoder eller modeller for, bare noen metoder som kan vurdere om et vegbyggingsmaterial er bestandig eller ikke.

I et nordisk prosjekt (*NordFoU project – Pavement Performance Models (Saba 2006)*) har det innledningsvis vært arbeidet for å framskaffe en oversikt over tilstandsutviklingsmodeller for vegdekker. Viktige konklusjoner fra denne undersøkelsen er:

- Tilstandsutviklingsmodeller som er utviklet for et område kan ikke direkte overføres til andre.
- En god tilstandsutviklingsmodeller for vegdekker er pr. i dag ikke utviklet.
- De fleste Nordiske land benytter enkle tilstandsutviklingsmodeller som er basert på lineær ekstrapolasjon av historiske data. De er ikke egnet til å beskrive tilstandsutviklingen over tid. Sverige og Danmark har noe mer avanserte modeller i sine designsystemer.

Til tross for at det er utført et omfattende arbeide så hevdes det at det ikke er mulig å foreta nøyaktige og riktige prognoser for dekkelevetider. Dette hevdes å være vanskelig fordi det er så mange faktorer som påvirker nedbrytningen, noe som er visuelt vist i Figur 27.



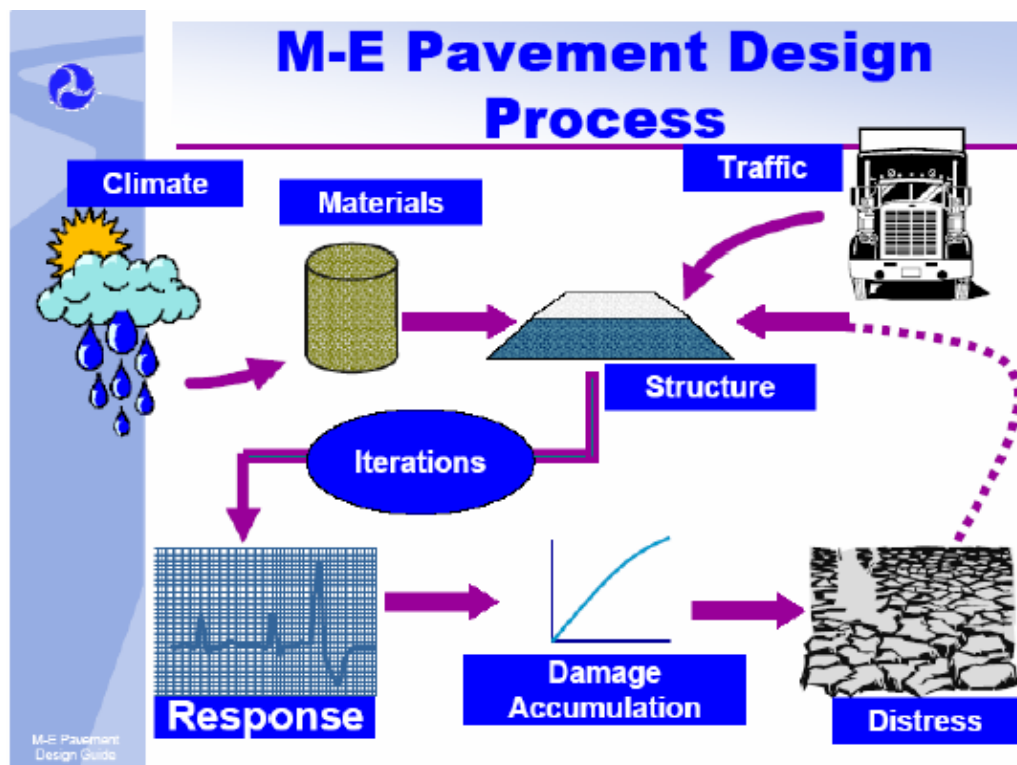
Figur 27 Prinsippskisse som viser kompleksiteten av faktorer som påvirker nedbrytningen av et vegdekke (Saba 2006)

Tre aktuelle modelltyper nevnes; empiriske modeller, mekanistisk-empiriske modeller og statistiske modeller.

Modellen HDM-4 som er utviklet av Verdensbanken hevdes å være en av de mest kjente empiriske modellene. Verdensbanken utviklet Highway Design and Maintenance Standards Modell (HDM-III) for bruk ved planlegging av infrastruktur i utviklingsland. Denne modellen er tilpasset andre forhold hvor det tas hensyn til effekter av kalde klima, trafiksikkerhet og miljøeffekter gjennom prosjektet International Study of Highway Development and Management Tool som resulterte i HDM-4.

Flere modeller omtales i (Saba 2006) og det henvises til denne for nærmere detaljer.

Ved dimensjonering av vegkonstruksjoner er det de siste år fokusert på mekanistiske-empiriske metoder, som bygger på materialenes egenskaper og ingeniørprinsipper. I Figur 28 er det vist prinsippet for en mekanistisk-empirisk design metode.



Figur 28 Mekanistisk-empirisk design metode (Saba 2006)

I NordFoU-prosjektet (Saba 2006) er det videre gjennomført en kartlegging av bruken av tilstandsutviklingsmodeller i de Nordiske land. Denne viser at alle landene har enkle modeller som var basert på lineære historiske data i sine systemer (PMS). Sverige og Danmark har implementert mer avanserte mekanistiske-empiriske modeller, mens Finland har implementert en statistisk nedbrytningsmodell i sine dimensjoneringsystemer.

I Tabell 10 er det gitt en beskrivelse av de nedbrytningsmodeller som benyttes og om modellene tar i betraktning klimafaktorer.

Tabell 10 Beskrivelse av nedbrytningsmodeller benyttet i de Nordiske land (Saba 2006)

Q: Describe the deterioration models you use briefly	
Denmark	Statistical deterioration models for condition index (used for local roads) and IRI and bearing capacity (for state and county roads) are implemented in PMS. Mathematical model of pavement performance (a simulation model) is implemented in pavement design system.
Finland	At network level, a probabilistic model for rutting, IRI, sum of defects, and bearing capacity is used. At the program level simple extrapolation is used for rutting, IRI and sum of defects based on the last measurement.
Iceland	RoSy PM system based on visual inspection.
Norway	A simple linear extrapolation based on registered data is used in PMS. Performance models of USA's MEPDG were recently calibrated for Norwegian conditions.
Sweden	In PMS, simple statistical model is applied. In the current design system for flexible pavements modified Kingham's criteria (fatigue damage) is used. A new system known as Active Design, which involves on the site calculation of future rutting in bound and unbound material is under implementation on five road building projects in western Sweden. The deterioration models used in this system come from USA's new design guide, Dresden technical university (Germany) and LCPC (France).
Q: Do the deterioration models you use consider effect of climate change on pavement performance? How?	
Denmark	Yes, the variation of layer moduli is described through seasonal factors and for asphalt materials the damage rate is determined as a function of temperature.
Finland	Yes, the empirical statistical model includes both traffic loads and climate, but it is impossible to separate them.
Iceland	No
Norway	Yes, MEPDG (USA's), which is being implemented in road asset management system, has a climate model.
Sweden	Yes, we have a frost heave calculation model based on temperature data. The model uses thermodynamics.

Rapporten (Saba 2006) gir en kort vurdering av de ulike modeller som benyttes i de nordiske land og det henvises til denne for nærmere beskrivelser. Her omtales kort de som inneholder klimatiske komponenter.

Som en del av "Vegkapital-prosjektet" ble *The Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide*, MEPDG, testet for vegnettet i Norge. Ved bruk av dette programmet skal det gis inn data for klima, trafikk, materialer i undergrunnen og for lag i vegkonstruksjonen. Dette er et program som er utviklet for amerikanske forhold og omfattende tilpassninger må trolig gjennomføres for å kunne benyttes for norske forhold.

I Sverige benyttes et program som heter PMS Objekt 2000, som både kan benyttes til nybygging og rehabilitering av eksisterende konstruksjoner. I dette programmet gis det inn data for klimatiske perioder (vinter, teleløsning, sommer og høst). I tillegg has det i Sverige en modell for beregning av telehiv.

Implementering av eksisterende mekanistiske-empiriske modeller krever omfattende kalibrering. Tilgang på data om materialer, klima, trafikk og data for eksisterende konstruksjoner er nødvendig. Det hevdes at de største utfordringer trolig vil være å skaffe data for ulike materialer for ulike last- og klimaforhold.

Hansson (Hanson 2005) har arbeidet med å utvikle modeller og måleteknikker for å forstå fuktransport og varmetransport i en vegkonstruksjon lokalisert i et kaldt klima. Det er blant annet mulig å kunne studere vanninfiltrasjon gjennom sprekker i asfalten. De simuleringer som var utført viste at små sprekker kan føre til stor infiltrasjon av regnvann gjennom asfalten og videre ned i vegkonstruksjonen.

7.3 Canada

Det hevdes at klimafaktorer er en viktig årsak til nedbrytning av vegdekker i Canada (Doré et al. 2006). De viktigste hevdes å være temperaturforhold, fryse/tinesykluser og fuktighet. Disse faktorene hevdes også å intensivere nedbrytningen i kombinasjon med tunge trafikklaster. I (Doré et al. 2006) er det forsøkt å vurdere graden av nedbrytningen for forskjellige vegklasser og klimaforhold. De viktigste klimatiske faktorer som påvirker nedbrytningen er termisk kontraksjon og oppsprekking i bundne lag, volumendringer forårsaket av telehiv og svekket bæreevne pga teleløsning.

Disse faktorene reduserer både de funksjonelle og strukturelle egenskapene til vegdekkene. Som en del av prosjektet er det gjennomført en litteraturundersøkelse om klimafaktorerens betydning for nedbrytningen av veger. I Tabell 11 er det vist en sammenstilling av resultatene fra denne undersøkelsen som viser hvor stor andel som skyldes klimafaktorer og hvor stor andel som skyldes trafikklaster.

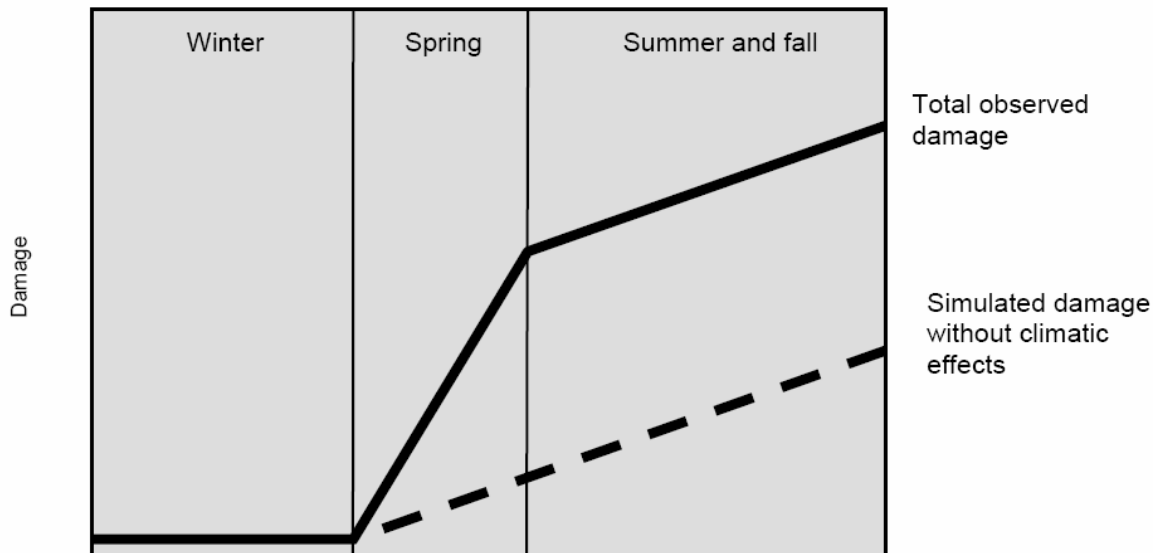
Tabell 11 Sammenstilling av hvor stor andel av nedbrytningen av asfaltdekkene som skyldes klimatiske faktorer (Doré et al. 2006)

References	$Ratio = \frac{\%Climate}{\%Traffic}$	Comments/Remarks
NIX, F. 2001. "Weight-Distance taxes". Prepared for Canadian Trucking Alliance, Nov 2001.	50/50 to 80/20	Research carried out in Canada Damage type considered not mentioned
FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 1997. "Federal Highway Costs Allocation Study". United States Department of Transportation.	10/90 to 15/85	Research Carried out in United States Climate effect more important for low volume roads (weaker structures) Total costs considered as the performance parameter
SINHA, L. AND MCCARTHY, P., 2001. "Methodology to determine load- and non-load-related shares of highway pavement rehabilitation". Transportation Research Record, No. 1747, p.79-88.	72/28	Research carried out in Indiana Rehabilitation costs considered as the performance parameter Least-squares models formulated by an aggregate approach
ST-LAURENT, D. ET CORBIN, G., 2003. "L'impact des restrictions de charge en période de dégel". Innovation Transports, numéro 18,	30/70 to 70/30	Ratios inferred from the study Stronger structures (highways) barely sensitive to climate; weaker structures influenced by climate to various degrees Fatigue damage considered as the performance parameter Analytic-Empirical simulations calibrated on 9 sites in Québec
MARTIN, T., 2002. "Estimating heavy vehicles road wear costs for bituminous-surfaced arterial roads". Journal of Transportation Engineering, March/April, Vol. 128, No. 2, p. 103-110.	35/65 to 45/55	Australian study on bituminous-surfaced arterial roads IRI considered as the performance parameter Climatic effects considered : thermal cracking and pavement deformation due to subgrade water content
TIGHE, S., 2002. "Evaluation of subgrade and climatic zone influences on pavement performance in the C-SHRP LTPP". Canadian Geotechnical Journal, Vol 39, p. 377-387.	60/40 to 75/25	Ratios inferred from the study Canadian study on pavements rehabilitated with overlays (24 sites, 65 sections) IRI considered as the performance parameter Ratios valid for wet low-freeze zones Lower ratios found for higher volume roads and higher ratios found for lower volume roads Hypothesis : fine subgrade are climate sensitive while coarse subgrade are not

En vurdering av de ulike nedbrytningsfaktorer er videre gjennomført på bakgrunn av oppfølging av ulike vegstrekninger i Canada. Tilgjengelige data for disse strekningene er en kombinasjon av både trafikkbelastning og klimatiske faktorer. De klimatiske effekter er "fjernet" ved å benytte teoretisk simulering. Følgende skadetyper er vurdert:

- Spordannelse (inkluderer stabilitet, slitasje og strukturell deformasjon) (Ru)
- Utmatting (Fa)
- Jevnhet (Ro)
- Langsgående oppsprekking utenfor hjulspor (LC)
- Tversgående sprekker (TC)

De tre første skadetyperne er antatt å skyldes en kombinasjon av trafikk- og klimabelastning. De to siste antas i hovedsak å skyldes klimatiske forhold. Simulering av spordannelse og utmatting er utført ved hjelp av Alaska Flexible Pavement Design (AKFPD) programvare. Resultatene fra simuleringen er skjematisk vist i Figur 29, hvor nedbrytningen framstilles med og uten klimatisk påvirkning.



Figur 29 Skjematisk illustrasjon av nedbrytning med og uten klimaeffekter (Doré et al. 2006)

Modellen som ble benyttet til å vurdere jevnhet var den empiriske metoden utviklet for NCHRP 2002 Mekanistisk-empirisk design-guide for fleksible dekketyper med granulære bære- og forsterkningslag. For vurdering av jevnhet er IRI benyttet. Verdien av den totale nedbrytning er satt til 1.0 og uttrykt som:

$$\text{Total nedbrytning} = \text{nedbrytning pga trafikk} + \text{nedbrytning pga klima} = 1.0$$

$$\text{Nedbrytning pga trafikk} = PI_t/PI_{t+c}$$

PI_{t+c} ble beregnet basert på de ulike indekser for de 5 skadetyperne samt levetidskriteriet for de tre første og den høyeste registrerte verdi for de to siste. De ulike skadetyper er videre vektet som vist i det følgende:

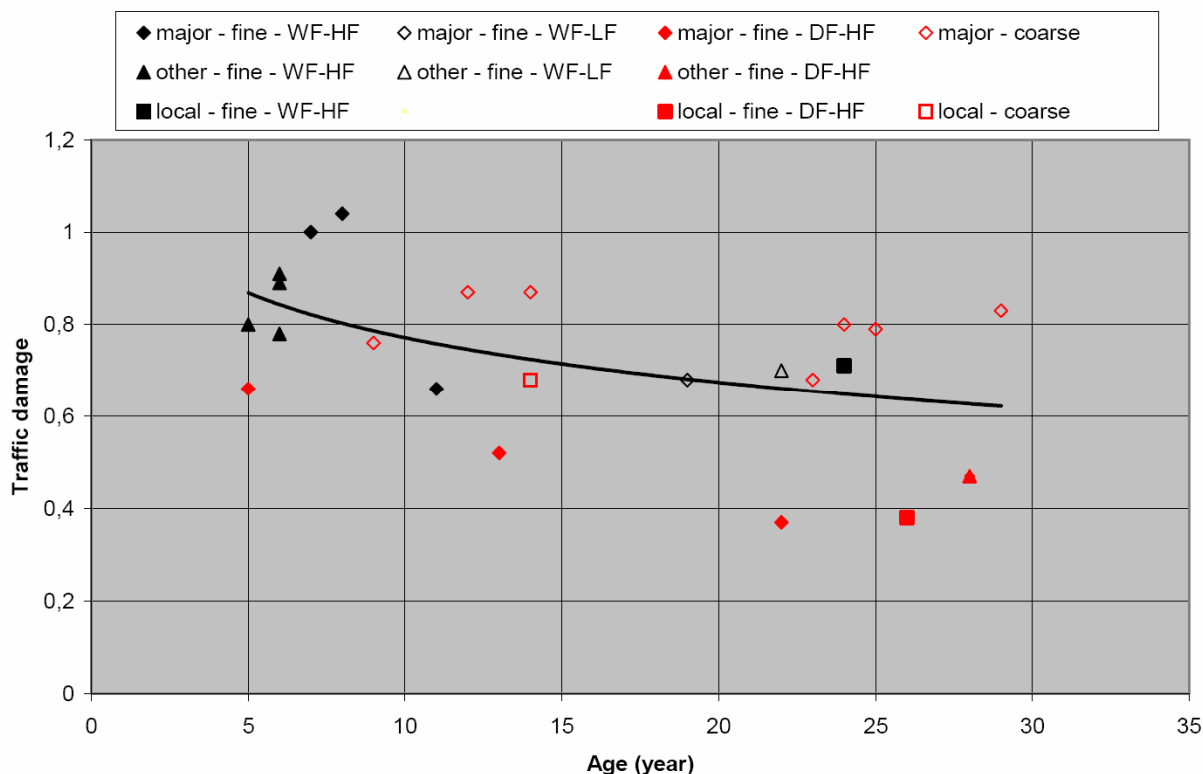
$$PI_{t+c} = \omega_1 \frac{Ru_{t+c} (mm)}{25 mm} + \omega_2 \frac{Fa_{t+c} (\% \text{ wheel path area})}{45\%} + \omega_3 \frac{Ro_{t+c} (m / km)}{4.0 m / km} + \omega_4 \frac{LC(m)}{xxx m} + \omega_5 \frac{TC(m)}{xxx m} \quad \sum \omega_i = 1$$

$$PI_t = \omega_1 \frac{Ru_t (mm)}{25 mm} + \omega_2 \frac{Fa_t (\% \text{ wheel path area})}{45\%} + \omega_3 \frac{Ro_t (m / km)}{4.0 m / km} \quad \text{I}$$

PI_t er kalkulert ved å simulere sommerforhold hele året. Verdiene for $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = 0.25$ og

$$\omega_4 = \omega_5 = 0.125.$$

Det er forventet at det er relativt mindre skader for nye vegdekker som skyldes klimatiske forhold. Det er derfor sette på en sammenheng mellom alderen på dekkene og de registrerte skader. I Figur 30 er en slik sammenheng vist.



Figur 30 Sammenheng mellom skadeutvikling og alder på vegdekket (Doré et al. 2006)

Basert på resultatene fra undersøkelsen er det foreslått indekser som angir andel av nedbrytningen av vegdekkene under ulike forhold som skyldes trafikk i Canada. Disse er vist i Tabell 12.

Tabell 12 Foreslåtte indekser for trafikkrelatert nedbrytning av fleksible dekker i Canada (Doré et al. 2006)

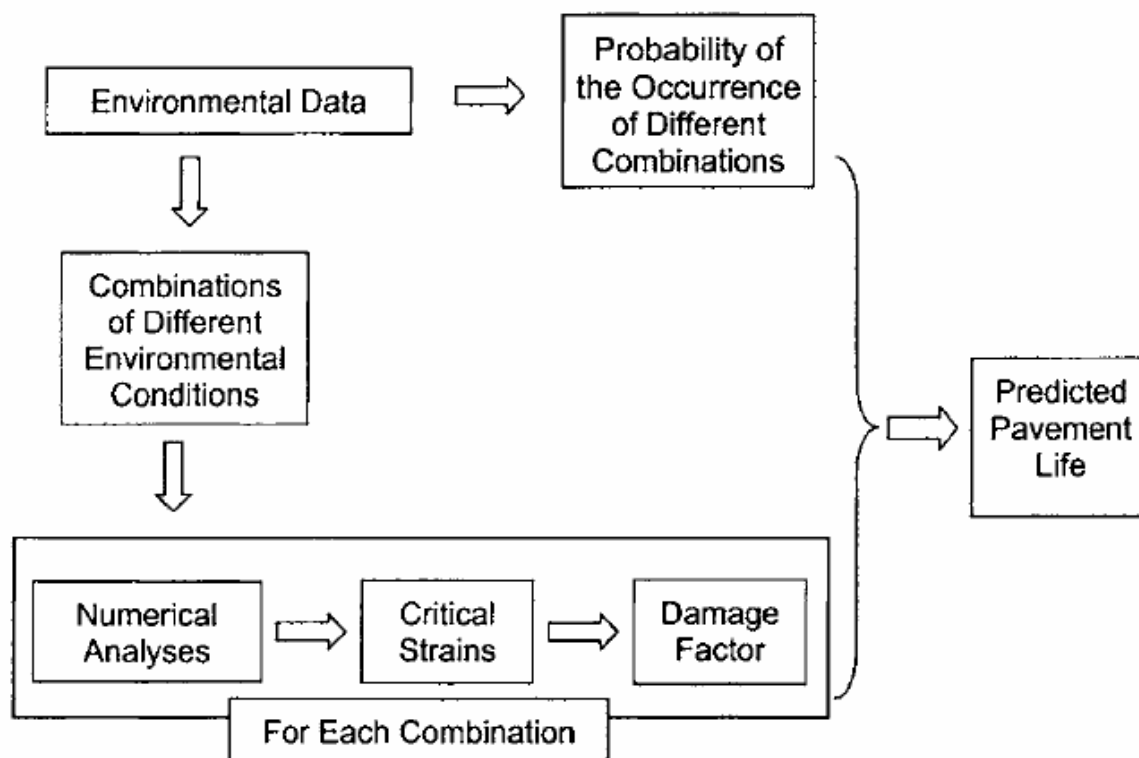
Highway classification	Fine grained soils			Coarse
	Wet freeze		Dry freeze	
	High frost	Low Frost	High frost	Average conditions
Major HWY	0,65	0,7	0,5	0,8
Other HWY	0,6	0,65	0,45	0,7
Local Roads	0,55	0,6	0,45	0,6
Munic. Roads	0,55	0,6	0,45	0,6

7.4 USA

I USA har det blitt utviklet et system for å estimere skadeutvikling for vegkonstruksjoner. Systemet gikk tidligere under betegnelsen AASHTO 2002 Pavement Design Guide, men etter som programmet enda ikke er ratifisert av AASHTO og lanseringsåret for lengst er passert er navnet nå skiftet til MEPDG. Programmet er nå inne i en revideringsfase og det er avdekket betydelige svakheter som må utbedres (Brown et al. 2006).

Fra USA er det forsøkt å fokusere på levetidsmodeller for vegkonstruksjoner hvor de klimatiske faktorer er en vesentlig faktor.

Mekanistisk-empirisk dimensjoneringsmetoder er basert på at levetiden er avhengig av trafikkinduserte tøyninger i konstruksjonen. Temperaturen i et bituminøst dekke og fuktighetsinnholdet i bære-/forsterkningslag hevdes å være to av de viktigste klimatiske faktorer som påvirker levetiden og de funksjonelle egenskaper til en vegkonstruksjon. Disse effektene er undersøkt av Zuo mfl (Zuo et al. 2007). Det hevdes at perioder med ugunstig fuktinnhold og ugunstige temperaturforhold ofte ikke er sammenfallende, men det hevdes å være umulig å vurdere endringen i levetid pga av disse faktorene uten at de sees i sammenheng. I (Zuo et al. 2007) er det benyttet elementmetode for å vurdere effekten av temperaturgradienter i dekket og fuktighet i undergrunn og forsterkningslag. I Figur 31 er vist en illustrasjon av metodikken i studien.



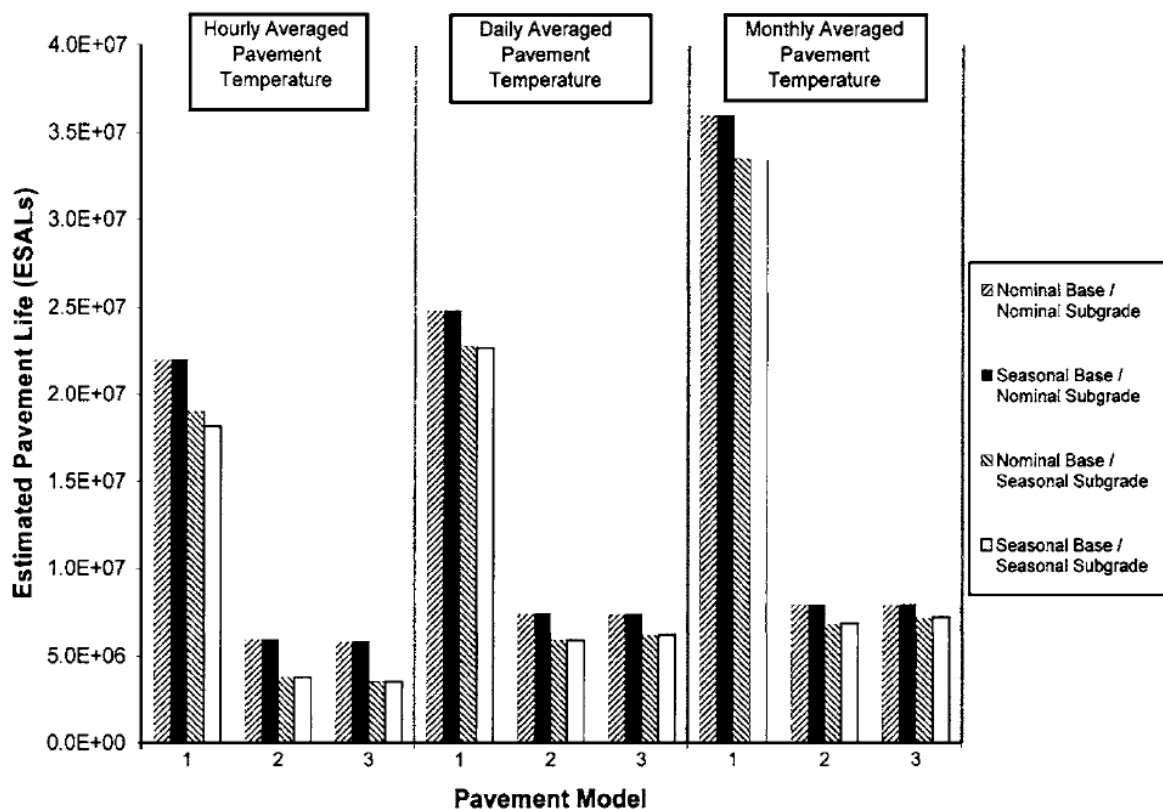
Figur 31 Illustrasjon av metodikk benyttet til vurdering av klimaeffekter (Zuo et al. 2007)

For vurdering av klimaeffekter er det benyttet statistiske metoder. For bestemmelse av stivhet i bituminøse lag ble det benyttet eksisterende modeller (AASHTO 1993) spennings- og fuktavhengig stivhet til granulære lag (Rada og Witczak 1981) og undergrunnen (Drumm, 1997 og Uzan, 1992). For hver kombinasjon av asfalttemperatur, fukt i forsterkningslag og undergrunnen ble trafikkindusert tøyning i konstruksjonen bestemt ved bruk av ABAQUS 6.2-1 (2001). De vegkonstruksjoner som er modellert i denne analysen er vist i Tabell 13.

Tabell 13 Vegkonstruksjoner som er modellert (Zuo et al. 2007)

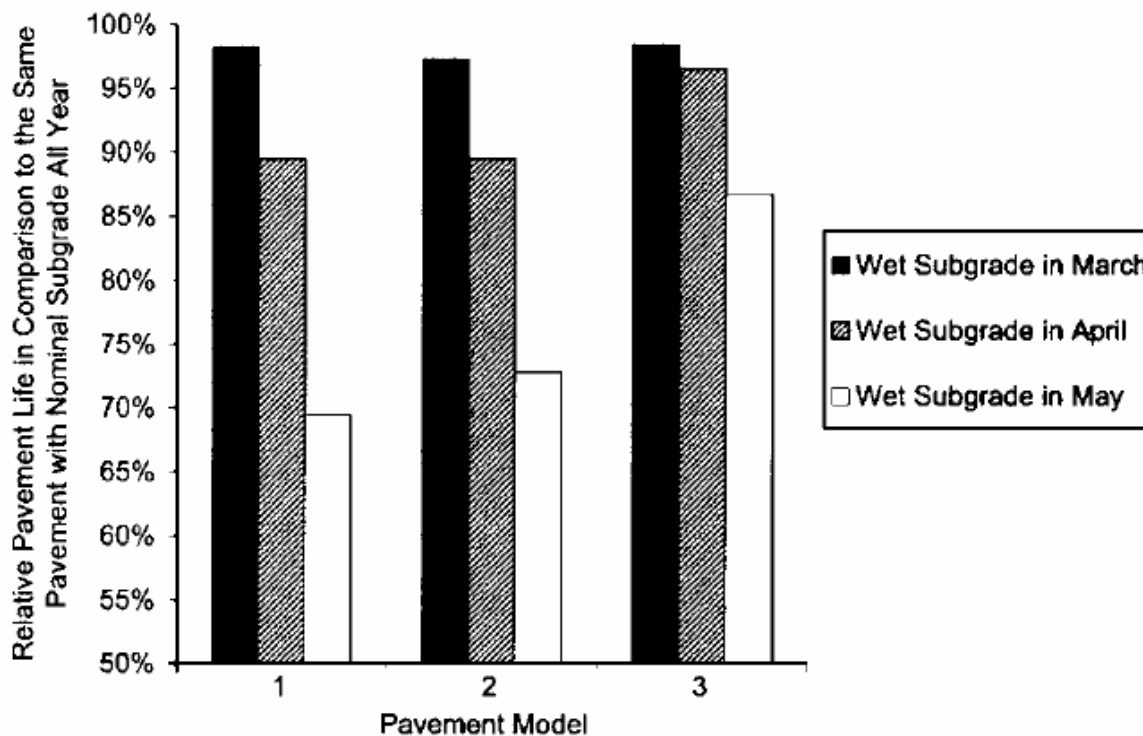
Idealized pavement system	AC layer		Base layer	
	Thickness (mm)	Number of sublayers in FE model	Thickness (mm)	Number of sublayers in FE model
Pavement 1	200	4	150	3
Pavement 2	200	4	250	5
Pavement 3	300	6	250	5

Hvordan temperaturen påvirker levetiden til et dekke er vist i Figur 32 hvor levetiden er vist for henholdsvis midlere timetemperatur, midlere døgntemperatur og midlere månedstemperatur.



Figur 32 Effekt av temperatur på levetid (Zuo et al. 2007)

Det er videre sett på hvordan kombinasjon av fuktig undergrunn og temperatur påvirker levetiden av dekket avhengig av hvilken måned undergrunnen er mest fuktig. Som Figur 33 viser så er reduksjonen lav i måneder med relativt lav temperatur, men reduksjon av levetiden er vesentlig dersom våt undergrunn oppstår i perioder med relativt høy temperatur.



Figur 33 Effekt av når høy fuktighet i undergrunn oppstår mht levetiden for vegkonstruksjonen (Zuo et al. 2007)

I en undersøkelse rapportert av Sulemain, Basma og Ksaibati (Al-Suleiman et al. 1993) er 71 strekninger fulgt opp over en 7-årsperiode. Alle dekkene er lokalisert til samme geografiske område i USA (Jordan University of Science and Technology). En metode er utviklet for å vurdere rene klimaeffekter, rene trafikk effekter og samvirke av disse effektene for nedbryting av vegdekkene.

Metoden baserer seg på at tilstanden til et dekke etter n år er avhengig av følgende tre faktorer:

1. Effekter av klimapåvirkning
2. Trafikkrelaterte effekter
3. Interaksjon mellom klima og trafikk belastning

For å beskrive tilstanden til dekket er PAVER-metoden benyttet. Dette er en metode som er utviklet av U.S. Army Corps of Engineers. Tilstanden på dekket beskrives i denne metoden ved hjelp av en Pavement Condition Index (PCI). Dette er en numerisk indikator med verdi 0 for et helt nedslitt dekke og en verdi på 100 for et dekke uten skader. Metoden baserer seg på en visuell kartlegging av skader på deler av et dekke, og ulike skadetyper bidrar til en reduksjon av PCI-verdien, avhengig av omfang og alvorlighetsgrad av skadetypen.

Endring av PCI verdi etter n år kan beskrives som følger:

$$\Delta\text{PCI} = \Delta\text{PCI}_e + \Delta\text{PCI}_t + \Delta\text{PCI}_{te}$$

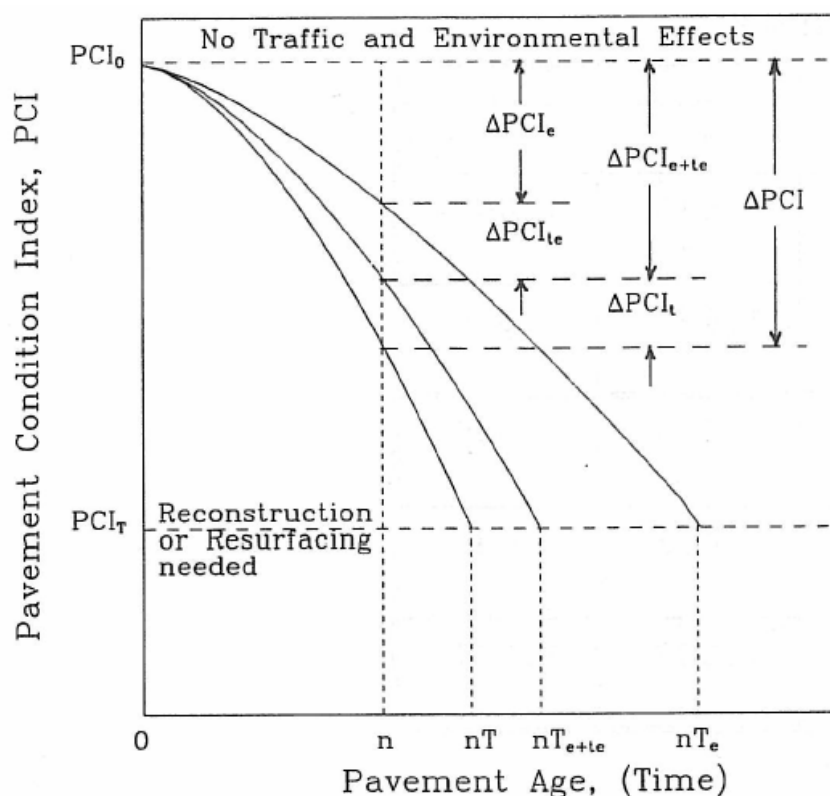
ΔPCI = total endring i PCI-verdi

ΔPCI_e = Endring av PCI-verdi pga klimaeffekter

ΔPCI_t = Endring av PCI-verdi pga av trafikkbelastning

ΔPCI_{te} = Endring av PCI-verdi pga av interaksjon mellom klima og trafikkbelastning.

Figur 34 viser en generell sammenheng mellom alder for et dekke og endringer i PCI verdi for de forannevnte faktorer.



Figur 34 Skjematiske diagram som viser PCI-verdi over tid under trafikk og miljøbelastning (Al-Suleiman et al. 1993)

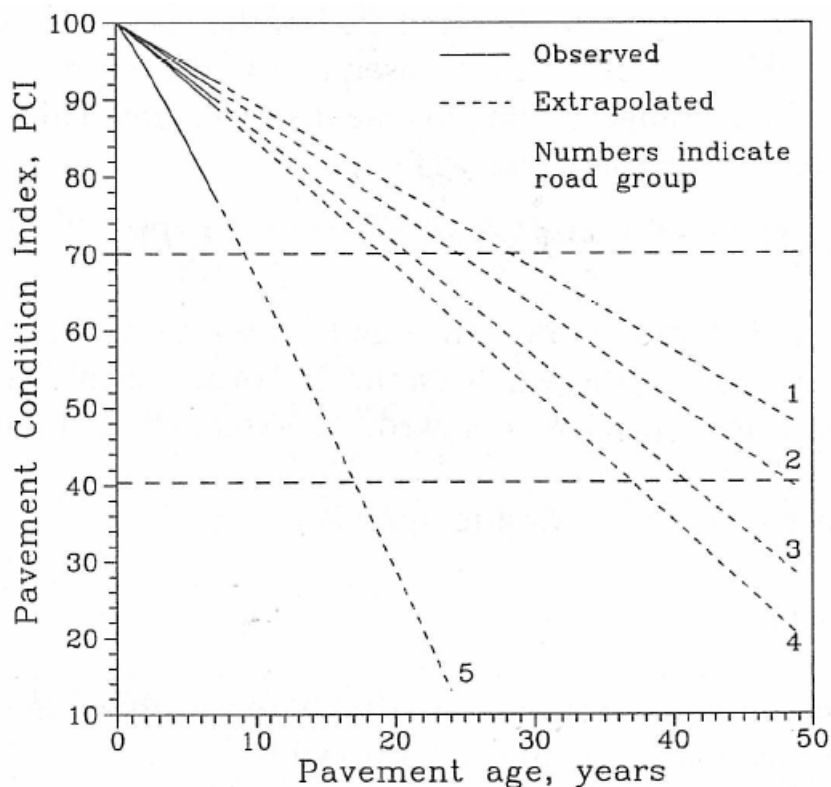
I (Al-Suleiman et al. 1993) henvises det til en tidligere studie (Sharaf et al. 1988) hvor det indikeres at en slik sammenheng kan uttrykkes matematisk som:

$$\text{PCI} = 100 - a (\text{alder})^b \quad \text{eller} \quad \Delta\text{PCI} = 100 - \text{PCI} = a (\text{alder})^b$$

For å undersøke effekten av de ulike belastninger ble vegnettet inndelt i 5 klasser:

1. Primærveger, utrafikkert
2. Primærveger, lett trafikkert
3. Sekundærveger, utrafikkert
4. Sekundærveger, lett trafikkert
5. Sekundærveger, høyt trafikkert

Figur 35 viser PCI-verdi over tid for de ulike vegklasser.



Figur 35 Utvikling i PCI-verdi for de fem veggrupper (Al-Suleiman et al. 1993)

Verdiene fra Figur 35 er benyttet til å bestemme verdiene for *a* og *b* som vist i Tabell 14.

Tabell 14 Verdier for *a* og *b* for aktuelle veggrupper (Al-Suleiman et al. 1993)

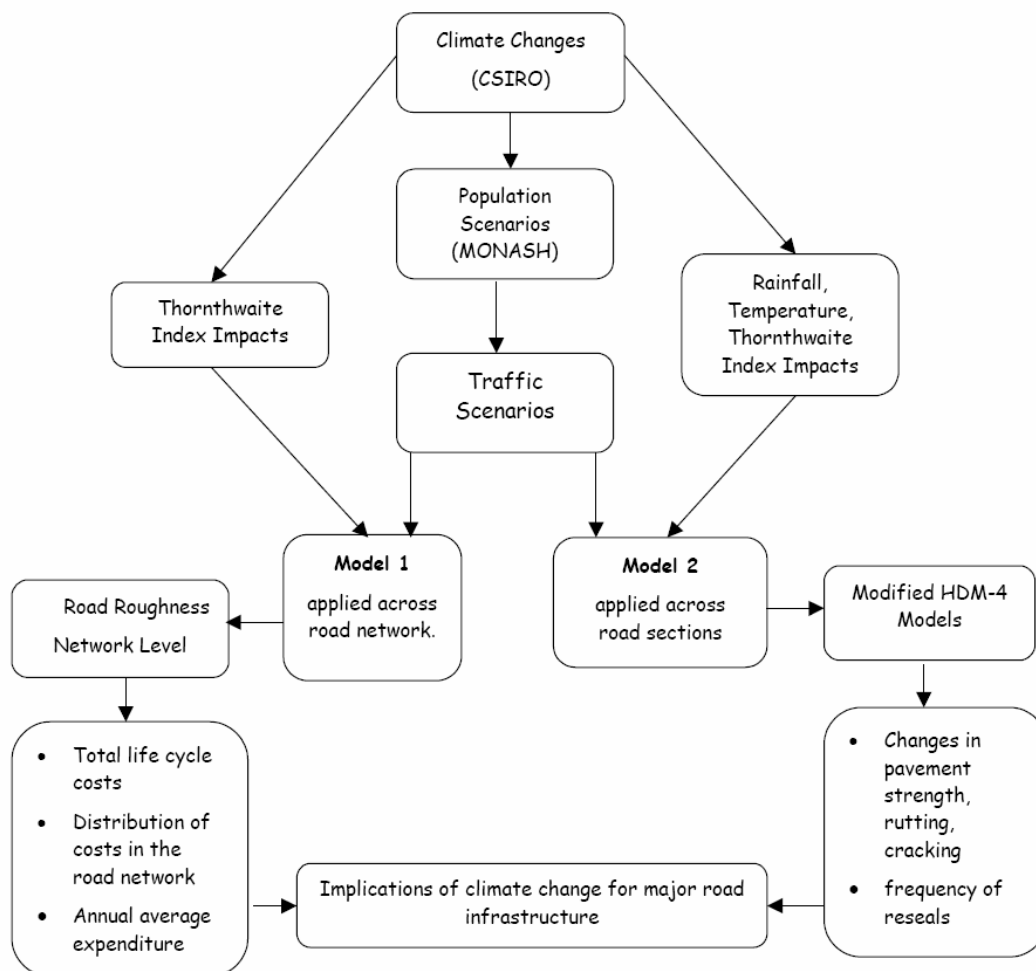
Road Class	Service Status	Road Group	a	b
Primary	Non-Trafficked	1	1.043	1.0054
	Light-Trafficked	2	1.160	1.016
Secondary	Non-Trafficked	3	1.305	1.029
	Light-Trafficked	4	1.405	1.037
	Heavy-Trafficked	5	2.602	1.104

Resultatene viste at på veger med liten trafikkmengde skyldtes det meste av nedbrytningen klimapåvirkning. Veger med høy trafikk hadde den største variasjon i forventet levetid.

7.5 Australia

I Australia er det gjennomført et prosjekt for å se på effektene av klimaendringer på vegnettet (Austroads 2004). Austroads initierte dette prosjektet. Klimaendringer kan ha direkte effekter på infrastrukturen. Endringer i nedbør kan endre fuktighetsnivået i grunnen og påvirke nedbrytning av vegdekkene. Temperaturendringer kan påvirke aldringen av bitumen som kan gi en økning av stivheten i asfaltdekkene. Noe som fører til raskere oppsprekking, som igjen fører til nedtrekning av fuktighet i vegkonstruksjonen. Dette vil påvirke kostnadene for vegvedlikeholdet. Indirekte effekter av klimaendringer skyldes lokalisering av populasjon og menneskelig aktivitet som følge av klimaendringer.

Strukturen i prosjektet er vist i Figur 36



Figur 36 Struktur i prosjekt gjennomført av Austroads (Austroads 2004)

Som det framgår av Figur 36 består nedbryttingsmodellen av to del-modeller.

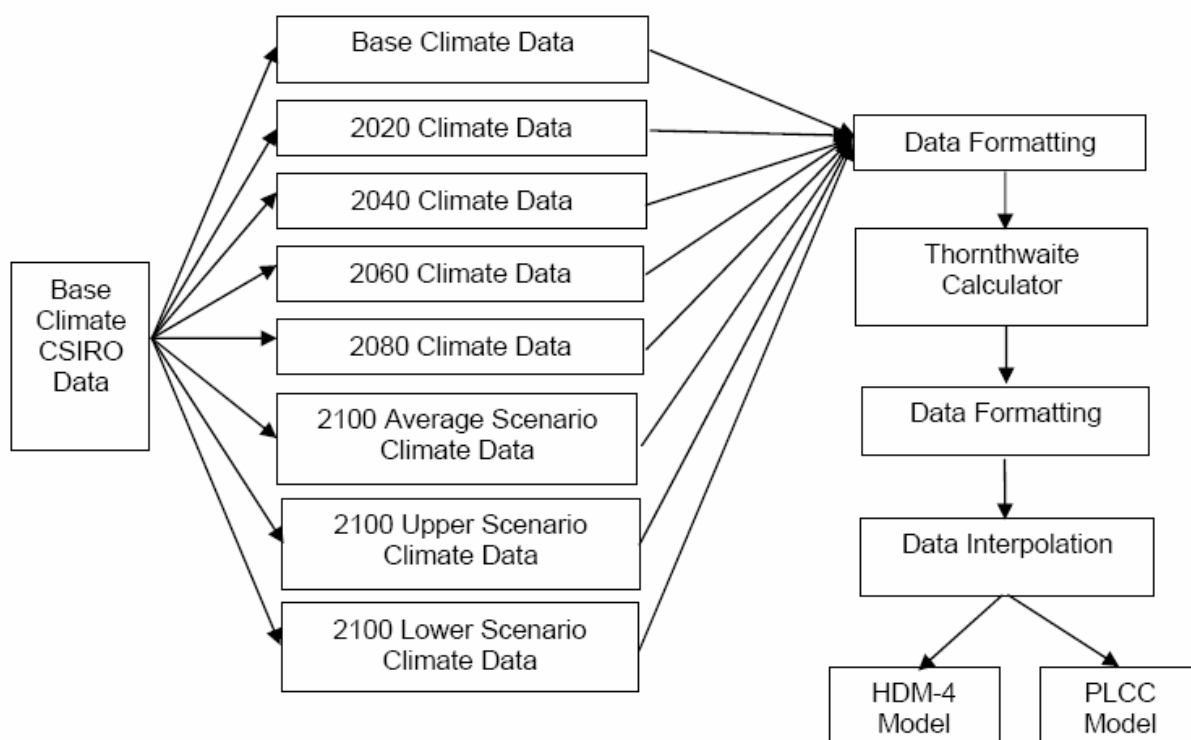
I Tabell 15 er det vist de data som ble beregnet i klimamodelleringsmodellen CSIRO. De verdier som er understreket er benyttet i modellen for å beregne virkningene for vegnettet.

Tabell 15 Klimadata fra CSIRO (Austroads 2004)

Parameter	Description
<u>Data ID</u>	Record counter (1 -> 5865)
<u>Longitude</u>	Longitude of data grid-point [112 -> 154; 85 x ½ degree intervals]
<u>Latitude</u>	Latitude of data grid-point [-44 -> -10; 69 x ½ degree intervals]
<u>Mask</u>	Identifies if grid cell occurs over land or sea (sea = 0, land = 1)
<u>Tmax</u>	Monthly averaged maximum screen level (2 metre) temperature
<u>Tmin</u>	Monthly averaged minimum screen level (2 metre) temperature
<u>Tmean</u>	Monthly averaged mean screen level (2 metre) temperature
<u>Rainfall</u>	Monthly averaged rainfall
<u>Solar_rad</u>	Monthly averaged downwelling solar radiation
<u>Pot.evap</u>	Monthly averaged potential evaporation
<u>Act.evap</u>	Average monthly actual evaporation
<u>Tmax_sc</u>	Deg.C change per deg.C of GW ("global warming")
<u>Tmin_sc</u>	Deg.C change per deg.C of GW
<u>Tmean_sc</u>	Deg.C change per deg.C of GW
<u>Rainfall_sc</u>	% change per deg.C of GW
<u>Solar_rad_sc</u>	% change per deg.C of GW
<u>Pot.evap_sc</u>	% change per deg.C of GW
<u>Act.evap_sc</u>	% change per deg.C of GW

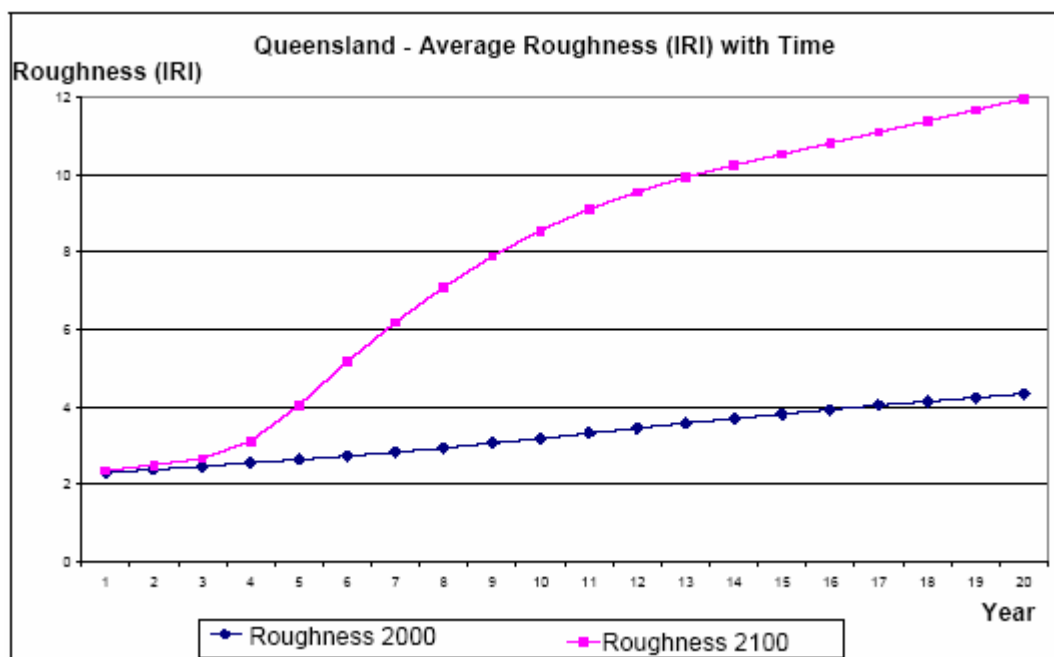
Dataprosessering er skjematisk vist i Figur 37 og har følgende hovedsteg:

- Ekstrahering av klimadata.
- Kalkulasjon av "Thornthwaite moisture index" (TMI) som er en funksjon av nedbør, temperatur og potensiell evapotranspirasjon.
- Data interpolasjon.



Figur 37 Skjematisk figur for data prosessering (Austroads 2004)

Detaljene i modellen er det ikke gått nærmere inn på her, men et resultat fra nedbrytningsmodellen er vist i Figur 38 hvor utviklingen i IRI er vist basert på klimadata for år 2000 og år 2100.



Figur 38 Gjennomsnittelig IRI over tid for en vegstrekning i Queensland (Austroads 2004)

Begrensninger i metoden er blant annet:

- Effekter av ekstremvær som stormer og flom er ikke tatt med i beregningen.
- Kalibrering av nedbrytningsalgoritmen er ikke utført for hver stat.

7.6 Europa

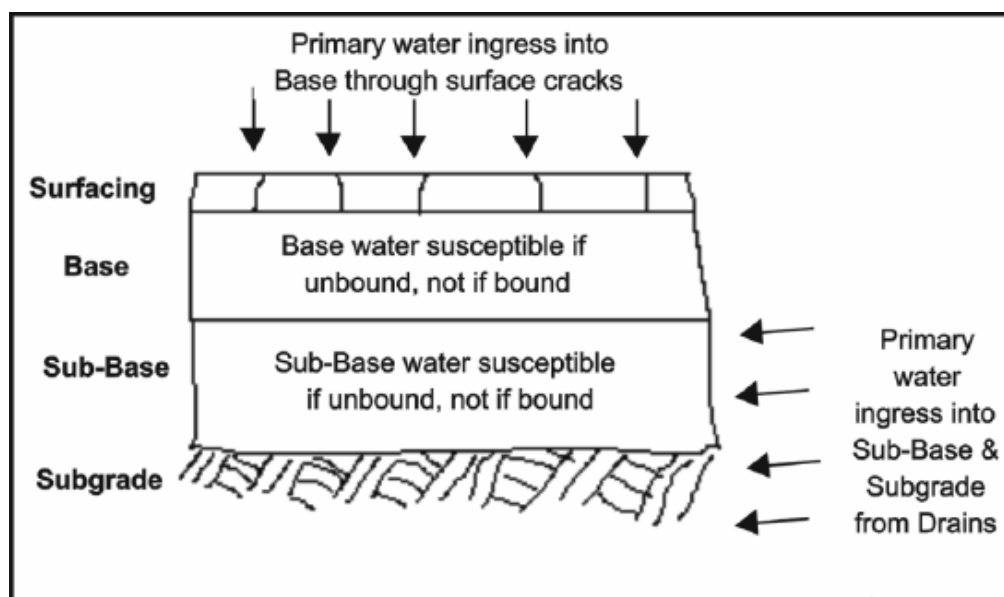
Loizos, Roberts og Crank (Loizos et al. 2003) har beskrevet et arbeide for å utvikle nedbrytningsmodeller for asfaltdekker i "mildt" klima

Innledningsvis nevnes prosjektene PARIS (EU-kommisjonen, 1998), RIMES og modellen HDM-4. På grunn av variasjoner i klima og materialegenskaper i Europa hevdes det at der er nødvendig å utvikle flere modeller.

I dette arbeidet er det utført tilpassninger til middelhavsklima.

Modellen inneholder:

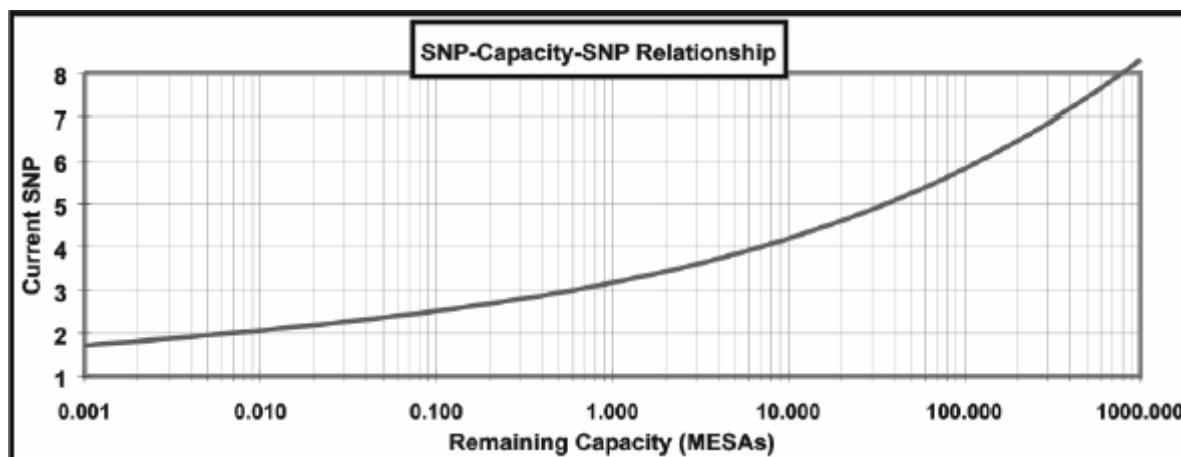
- Bæreevne beregning
- Modellering av overbygning (se Figur 39)
- Trafikkbelastning
- Vurdering av ulik oppbygging
- Temperatureffekter



Figur 39 Modellering av overbygning (Loizos et al. 2003)

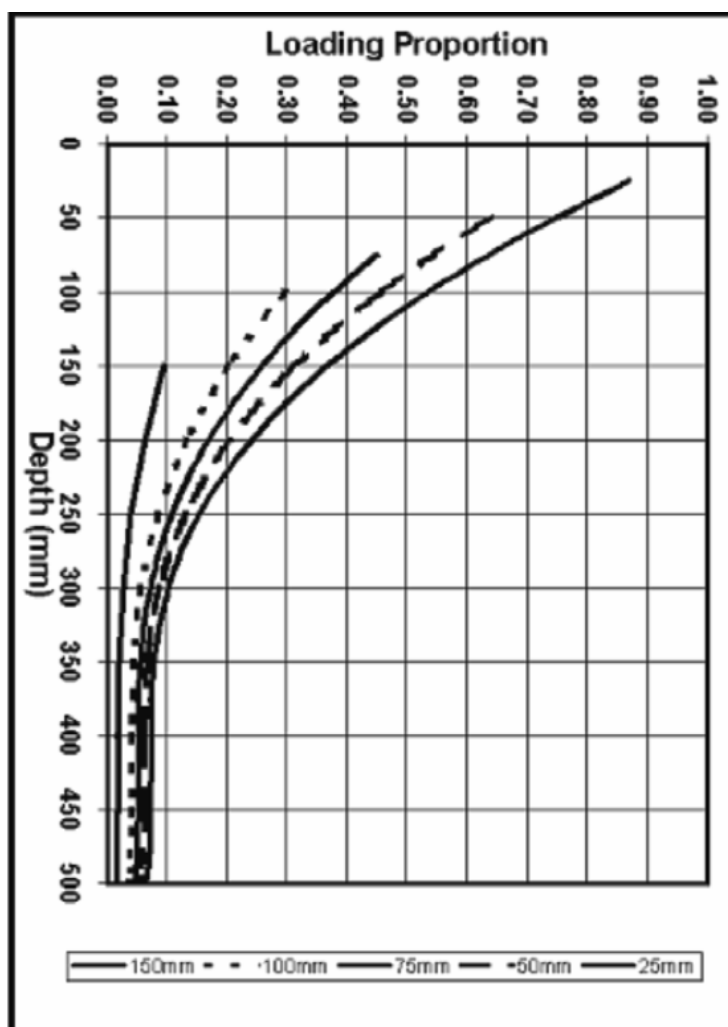
Vedlikeholdstiltak, som tiltak mht overflate oppsprekking og utbedring av drenering, er også modellert og kan gi resultater for hvert enkelt lag.

Den strukturelle kapasiteten (SNP) er modellert og vist i Figur 40 (for 8.2 t MESAs).



Figur 40 Forhold mellom styrke og kapasitet for 8.2 t MESAs (Loizos et al. 2003)

Figur 41 viser hvordan trafikklaster virkningen avtar nedover i konstruksjonen avhengig av tykkelsen til bituminøse lag.



Figur 41 Lastvirkning som funksjon av tykkelse av bituminøse lag og dybde i konstruksjonen (Loizos et al. 2003)

Fukt og temperatur er omtalt som de to viktigste klimatiske parametere som har betydning for nedbrytningen av en vegkonstruksjon. I denne modellen er det for fuktighet benyttet verdien for gjennomsnittlig månedlig nedbørsmengde. Den etterfølgende ligningen er en modifisering av klimaeffekt-modellen i HDM-4-modellen. HDM-4-modellen inneholder variable for nedbør (MMP), dreneringseffekt (DF_a), oppsprekking (ACRA_a) og slaghull (APOT_a). Gjennom en modifisering er det tatt hensyn til multi-sesong variasjoner i et mildt klima i Europa og utviklet en ”miljøfunksjon”, EF:

$$EF_i = K_i \left\{ \frac{1 - (1 - \exp(a_0 \cdot 0.5 \cdot MMP_i))}{a_1} (1 - a_2 \cdot DF_a) (1 + a_3 \cdot ACRA_a + a_4 \cdot APOT_a) \right\}$$

Where: EF_i = Environmental function for generic case "i"
 K_i = Global calibration factor for generic case "i"
 MMP_i = Mean Monthly Precipitation (mm) for generic case "i" (mm)
 DF_a = Drainage factor (1 = excellent, to 5 = very poor)
 $ACRA_a$ = Total cracked area relative to total pavement area (%)
 $APOT_a$ = Total area of open potholes relative to total pavement area (%)
 a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 = Model Coefficients, $a_0 = -0.06$; $a_1 = 2.7$; $a_2 = 0.25$; $a_3 = 0.02$; $a_4 = 0.05$.

I modellen er det antatt at SNP er proporsjonal med EF og for ett sett av SNP-verdier er det et korresponderende sett av EF-verdier:

$$\frac{SNP_i}{SNP_k} = \frac{EF_i}{EF_k}$$

Sammenhengen mellom SNP og EF er utviklet for å være anvendelig for forskjellige kombinasjoner av "i" og "k".

Det vises til (Loizos et al. 2003) for en mer detaljert beskrivelse av de ulike beregninger som inngår i modellen. Det konkluderes med at det gjenstår et arbeide med justering og kalibrering av modellene for bruk i Hellas. Det er antatt at modellene kan vær aktuelle for bruk også andre steder i Europa.

8 Oppsummering og konklusjon

I dette prosjektet er det gjennomført litteraturundersøkelser med fokus på effekter av klimaendringer for vegbyggingsmaterialer. Det er i hovedsak vært konsentrert seg om litteratur av nyere dato.

Studien har vist at det pr. i dag ikke synes å være utviklet ”komplette og generelle” modeller som er i stand til å beregne levetiden for en vegkonstruksjon og hvordan klimaendringer påvirker denne. Hovedårsaken til dette er at en vegkonstruksjon er en kompleks konstruksjon som er sammensatt av materialer som endrer egenskaper ved endringer i temperatur, vanninnhold og trafikkbelastning. Det er også store variasjoner i grunnforholdene over korte strekninger.

En annen viktig faktor er at det også er store lokale variasjoner i temperatur og nedbørsforhold. Tilgang på detaljerte opplysninger om vegkonstruksjonen (materialdata, lagtykkelser, tverrprofil, etc), trafikk og lokale klimatiske data (nedbørsmengder og temperaturdata) er også i mange tilfeller mangelfulle.

Det er imidlertid utviklet modeller som tar for seg spesifikke nedbrytningsmekanismer som f. eks piggdekkslitasje. Disse spesifikke modellen vil kunne være svært anvendelige i områder der disse nedbrytningsmekanismene er dominerende.

En vegkonstruksjon har relativt lang levetid og det er derfor av stor viktighet at det ved planlegging og dimensjonering av både vedlikeholdsarbeider og nybygging i større grad gjennomføres en vurdering av materialbruken basert på funksjonsegenskaper til materialene. For et asfaltdekke vil viktige funksjonsegenskaper trolig være; god stabilitet ved høye temperaturer (motstand mot deformasjon), motstand mot oppsprekking ved lave temperaturer, bestandighet mot vann og saltpåkjønning, gode slitasjeegenskaper (motstand mot piggdekkleslitasje), friksjon og fleksibilitet ved variasjoner i bæreevne og ujevne telehiv. I noen områder vil også spesielle "miljøegenskaper" være viktig som f.eks støyreducerende evne og støvgenererende egenskaper. Det er i dag utviklet noen testmetoder for testing av disse funksjonsegenskaper, men det er nødvendig med en videreutvikling av metoder. Videre vil det også være nødvendig med en kalibrering av eksisterende metoder og utarbeidelse av krav for norske forhold. En bedre tilgang på klimatiske data (tettere registrering) vil trolig også være nødvendig.

For asfalt er det forventet at det kan bli økte problemer knyttet til slitasje på vegdekker som ligger på strekninger med høy trafikk og hvor antall døgn med bar og våt vegbane øker. Videre vil periodene med frosset vegkonstruksjon kunne avta og man vil, spesielt på strekninger med finstoffrike bærelag med tilgang på fukt, få større plastiske deformasjoner og oppspreking av asfaltdekkene pga redusert bæreevne. Høyere maksimal-temperaturer vil kunne føre til større deformasjoner og "blødninger" i dekket. Asfaltdekker har imidlertid relativt kort levetid og det vil derfor være mulig å ta hensyn til de klimatiske forhold ved reasfaltering. Det vurderes derfor som viktig at det innarbeides strengere funksjonelle krav til dekker i normaler og retningslinjer. Blant de viktigste funksjonelle egenskaper er friksjons-, deformasjons-, bestandighets- og slitasjeegenskaper.

For ubunde materialer er det forventet at de største problemene vil være knyttet til at vanninnholdet i materialer med mye finstoff øker. Både økt nedbør og økt grunnvannstand kan være årsaker til dette. Mer vann i denne typer materialer vil redusere bæreevne slik at skadeutviklingen på vegen med spor og sprekker vil øke. Dette vil ikke bli så stort problem for nye høytrafikkert veger der det i stor grad ikke er benyttet vannømfintlige materialer, men desto viktigere for de lavtrafikkerte vegene med eldre bærelag.

Et stort usikkerhetsmoment er hvordan teleproblemen vil utvikle seg. Redusert frostmengde vil redusere problemet, men hyppige vekslinger mellom frostperioder og mildere perioder kan gi flere "teleløsninger" gjennom året og muligens føre til flere skader. Det har ikke vært mulig å finne sikre forskningresultater innen denne problemstillingen.

For grusveger vil de fleste av de forutsette klimaendringene ha en negativ effekt og en vil for framtiden kanskje måtte gjøre en ny vurdering når det gjelder asfaltering av disse.

Det er viktig at ny kunnskap raskt blir implementert i standarder og håndbøker.

9 Referanser

- Al-Suleiman, T. I., Basma, A. A., and Ksaibati, K. (1993). "Examination of pure environmental effects on pavement condition." *0361-1981*.
- Alzubaidi, H. (2001). "On rating of gravel roads," KTH, Institutionen för infrastruktur och samhällsplanering.
- Alzubaidi, H., and Magnusson, R. (2002). "Deterioration and rating of gravel roads." *INTERNATIONAL JOURNAL OF ROAD MATERIALS AND PAVEMENT DESIGN*, 2002(3), 235-60.
- Andersen, E. O. (1998). "Tilpassing av Superpave bindemiddelteknologi for norske forhold." *SINTEF-Rapport STF22 A98452*.
- Aurstad, J., and Andersen, E. O. (1997). "Aldring av asfaltdekker på flyplasser." *STF22 A97520*.
- Austrorads. (2004). "Impact of climate change on road infrastructure." *AP-R243/04*, Austrorads.
- Berntsen, G. (1993). "Reduksjon av bæreevnen under teletløsningen," Dr.ing., Norges Teknisk Høgskole, NTH, Trondheim.
- Brown, S. F., Wilson, S., Darter, M. M., Larson, G., Witczak, M. W., and El-Basyouny, M. (2006). "Independent review of the mechanistic-empirical pavement design software." *Research Results Digest - Transport Research Board*, 307(September 2007).
- COST 333. (1997). "Climatic Effects in Bituminous Pavement Design."
- Dawson, A. R. "Implications of granular material characteristics on the response of different pavement construction." *Modelling and advanced testing for unbound granular materials*, Lisbon, pp 221-226.
- Dongmo-Engeland, B., and Hoff, I. "Modeling of unbound granular material under cyclic loading." *Advanced Characterisation of Pavement and Soil Engineering Materials*, Athen, pp 573-586.
- Doré, G., Drouin, P., Pierre, P., Desrochers, P., and Ullidtz, P. "Estimation of the Relationship of Flexible Pavement Deterioration to Traffic and Weather in Canada." *10th International Conference on Asphalt Pavements*, Quebec, Canada.
- Doré, G., and Pierre, P. "Development of a rational design procedure for pavements subjected to frost action." *INTERNATIONAL SOCIETY FOR ASPHALT PAVEMENTS, NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ASPHALT PAVEMENTS . PROCEEDINGS.*, Copenhagen, Denmark.
- Ekblad, J. (2007). "Influence of Water on Coarse Granular Road Material Properties," PhD, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Erlingsson, S., Bjarnason, G., and Thorisson, V. "Seasonal variation of moisture and bearing capacity in roads with a thin surface dressing wearing course." *INTERNATIONAL SOCIETY FOR ASPHALT PAVEMENTS, NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ASPHALT PAVEMENTS . PROCEEDINGS.*, Copenhagen, Denmark.
- Hanson, K. (2005). "Water and Heat Transport in Road Structures. Development of Mechanistic Models.," Uppsala Universitet.
- Hermanson, Å. (2002). "Modeling of Frost Heave and Surface Temperatures in Roads," PhD, Luleå University of Technology, Luleå.
- Hermansson, Å. (2002). "Modeling of Frost Heave and Surface Temperatures in Roads," PhD, Luleå University of Technology, Luleå.
- Hicks, R. G., and Monismith. (1971). "Factors Influencing the Resilient Response of Granular Materials " *Highway Research Record*, 345, 15-31.
- Hoff, I. (1999). "Material Properties of Unbound Aggregates for Pavement Structures," Dr.ing., Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.

- Hudson, W. R., and Flanagan, P. R. (1987). "EXAMINATION OF ENVIRONMENTAL VERSUS LOAD EFFECTS ON PAVEMENTS." *0361-1981*.
- Huntington, P. E. G., Ksaibati, K., and Transportation Research, B. "Gravel Road Surface Performance Modeling." *Transportation Research Board 86th Annual Meeting.*, Washington DV.
- Isemo, A., and Johansson, J. (1976). "Samband mellom ulike faktorer innom Grusvågsunderholl," KTH, Stockholm.
- Jacobson, T., and Wågberg, L. G. (2007). "Utveckling och uppgradering av prognosmodell för beläggningsslitage från dubbade däck samt en kunskapsöversikt över inverkende faktorer." *VTI-notat 7-2007*.
- Kalman, B., Hassan, H., Said, S., and Waldemerson, A. (2005). "Beständighet hos asfaltbeläggningar. Utmattning av asfaltlager som utsätts för upprepade belastningar i närvaro av vatten." *VTI notat 9-2005*.
- Kameyama, S., Kasahara, A., Kato, M., Kawamura, A., and Himenno, K. "Effekts of frost heave on the longitudinal profile of asphalt pavements in cold regions." *INTERNATIONAL SOCIETY FOR ASPHALT PAVEMENTS, NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ASPHALT PAVEMENTS . PROCEEDINGS.*, Copenhagen, Denmark.
- Kinsella, Y., and McGuire, F. "Climate change uncertainty and the state highway network: a moving target." *NEW ZEALAND INSTITUTE OF HIGHWAY TECHNOLOGY (NZIHT) AND TRANSIT NEW ZEALAND SYMPOSIUM, 7TH.*, CHRISTCHURCH, NEW ZEALAND.
- Kolisoja, P. (1994). "Large scale dynamic triaxial tests with coarse grained aggregates." 4th Bearing Capacity of Roads and Airfields, Minneapolis, USA.
- Lerfald, B. O. (1991). "Aldring av asfaltdekker."
- Lerfald, B. O. (2000). "A Study of Ageing and Degradation of Asphalt Pavements on Low Volume Roads," Dr.ing., Norwegian University of Science and Technology, NTNU, Trondheim.
- Lerfald, B. O. (2007). "Utvikling av slitesterke tynndekker. Testing av bindemidler og innledende slitasetesting med Trøger." *SBF IN A07002*.
- Lerfald, B. O., Andersen, E. O., Aurstad, J., Bragstad, R., Jørgensen, T., and Lange, G. (2004). "PROKAS (Proposjonering og kontroll av asfalt) - Sluttrapport." *STF22 A047354*.
- List, R. (2004). "Weather Modification- a Scenario for the Future." *Bulletin of the American Meteorological Society*, 51-63.
- Loizos, A., Roberts, J., and Crank, S. "Asphalt pavement deterioration models for mild climatic conditions." *INTERNATIONAL SOCIETY FOR ASPHALT PAVEMENTS, NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ASPHALT PAVEMENTS . PROCEEDINGS.*, Copenhagen, Denmark.
- Marshall, C., Meier, R. W., and Welch, M. (2001). "Seasonal Temperature Effects on Flexible Pavements in Tennessee." *Transportation Research Record*, 1764, 89 - 96.
- Matter, N. S., and Farouki, O. T. "Detailed Study on the Climatic and Seasonal Variation Effects on Pavements in Northern Ireland." *Bearing Capacity of Road and Airfields*, Minneapolis, MN, USA, 721-732.
- McGennis, R. B., Shuler, S., and Bahia, H. U. (1994). " Background of SUPERPAVE ASPHALT BINDER TEST METHODS." *Publ no. FHWA-SA-94-069*.
- Mirada, M. "Neural Network Models for Analysis and Prediction of Raveling." *2004 IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems*, Singapore.
- Nasjonal Transportplan. (2007). "Nasjonal transportplan 2007-2019 Arbeidsdokument: Virkninger av klimaendringer for transportsektoren."
- Nordal, R. S. (1989). "Grusvegar." Undervisningsnotat, Institutt for veg og jernbanebygging, NTNU, Trondheim.

- Odermatt, N. (2000). "Permanent Deformations in Fine-Grained Subgrade Materials - Triaxial and Accelerated Pavement Tests," Licentiate thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Oduola, R. (2003). "Discussion on Paper "Deterioration and Rating of Gravel Roads. A state of the Art" by H. Alsubaidi and R. Magnusson." *INTERNATIONAL JOURNAL OF ROAD MATERIALS AND PAVEMENT DESIGN*, 4(4), 471-475.
- Potter, J. R., and Savonis, M. J. (2003). "Transportation in an Age of Climate Change: What Are the Research Priorities?" *TR News*, 2003(07), 26-31.
- Rada, G. R., Schwartz, C. W., Witczak, M. W., and Jafroudi, S. (1989). "Analysis of climate effects on performance of unpaved roads." *Journal of Transportation Engineering*, 115(4), 389-410.
- Ryynänen, T., Belt, J., and Ehrola, E. (2003). "Prediction of Structural Thaw Weakening on Gravel Roads (Rapport på finsk og abstract på engelsk)." *Finnra Reports 46/2003*.
- Raad, L., Minassian, G., and Gartin, S. (1992). "Characterization of saturated granular bases under repeated loads." *Transportation Research Record*, 1369, pp 73 - 82.
- Saba, R. G. (2006). "Performance Prediction Models for Flexible Pavements: A state-of-the-art Report." *Statens vegvesen Teknologirapport 2477*.
- Sharaf, E. A., Shahin, M. Y., and Sinha, K. C. (1988). "Analysis of the Effects of Differing Pavement Maintenance." *Transportation Research Record* 1205.
- Simonsen, E. (1999). "On Thaw Weakening of Pavement Structures," PhD, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Statens vegvesen. (1993). "Vegbrukers reduserte transportkostnader ved opphevelse av telerestriksjoner." *Vegdirektoratet, Publikasjon nr. 70*.
- Statens vegvesen. (2005). "Håndbok 018 Vegbygging." Vegdirektoratet, ed.
- Sund, E. (2005). "Vegkapital - Delprosjekt VEG. Tilstand/tilstandsutviklingsmodeller - Delprosjekt B3: Typiske vegstrekninger." *SINTEF Notat Dater 2005-11-09*.
- Uthus, L. (2007). "Deformation Properties of Unbound Granular Aggregates," PhD, Norwegian University of Science and Technology, NTNU, Trondheim.
- VTI. (2004). "Asfaltdekkers bestandighet." *NI 03014, VTI 60761.*, Väg- och transportforskningsinstitutet, .
- Zuo, G., Drumm, E. C., and Meier, R. W. (2007). "Environmental effects on the predicted service life of flexible pavements." *Journal of Transportation Engineering*, 133(1), 47-56.



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.



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo

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

ISSN 1504-5005