

# Evaluering av skadeutvikling

Helge Mork, Førsteamanuensis, NTNU Veg, jernbane og transport

Dette er eit samandrag av Martin Børseth si masteroppgåve ved NTNU våren 2024: «Evaluering av skadeutvikling på asfaltdekker under framtidig klima»



## SAMANDRAG

Kandidaten har brukt ERAPave PP til å evaluere permanente deformasjonar og utmatting av vegkonstruksjonar med asfaltdekke på fem ulike lokalitetar i Noreg for dagens og framtidig klima på desse stadane. For framtidig klima er det utvikla eit Python-skript for å omgjere framtidig temperaturscenario til eit format ERAPave PP kan bruke, som er brukt som erstatning for historiske klimafilmer som elles kan hentast frå nærliggande klimastasjonar. Analysene viser at det i framtida kan forventast vesentleg større plastiske deformasjonar, noko som vil kreve bruk av andre materiale enn i dag eller hyppigare vedlikehald.

- Stivheit av asfalt uttrykt som masterkurver i staden for definerte faste verdiar
- Stivheit av ubundne materiale uttrykt som ein funksjon av metningsgrad (vassinnhald relativt til vassinnhald ved full metning)
- Klimaparametrar tatt frå brukarvalde klimastasjonar ved klikking i kart
- Inkludering av modellar som tillet utrekning av telehiv
- Heller avanserte modellar for estimat av asfaltutmatting (“bottom-up”), og for sporutvikling som permanente deformasjonar og piggdekkslitasje.



## INNLEIING

Gjennom FoUI-programmet VegDim (2018-2024) er Statens vegvesen i samarbeid med det svenske Trafikverket i ferd med å utvikle eit dimensjonerings-/analysesystem for dekkekonstruksjonar med asfaltdekke.

Mesteparten av programmeringa er utført av Statens väg- och trafikinstitut, VTI, i Sverige, og det noverande svenske dimensjonerings-systemet PMS Objekt har blitt brukt som eit startpunkt for utviklinga. Men ERAPave PP (Elastic Road Analyses for Pavements, Performance Prediction (her kalla berre ERAPave)) som systemet er kalla, er eit mykje meir sofistikert programsystem. Det inkluderer eksempelvis

Nokre av desse modellane treng ein del kalibrering til dagens situasjon (dei er delvis “arva” frå PMS Objekt), og nedbrytingsmekanismer som langsgåande oppsprekking («top-down»), lavtemperaturoppsprekking og ujamnheiter er enno ikkje inkludert.



## MARTIN'S ANALYSER

Det pågår for tida omfattande testing av programmet (og det vil nok fortsette også i åra framover). Som del av dette testregimet utførte Martin Børseth i masteroppgåve si ved NTNU våren 2024 ei evaluering av nedbryting av dekkekonstruksjonar med asfalt under framtidig norsk klima. Ettersom programmet då var (og framleis er) under utvikling brukte han versjon 0.96 av ERAPave i analysene sine.

For å gjere dette vart analysene avgrensa til dei to dominerande nedbrytingsmekanismene i ERAPave:

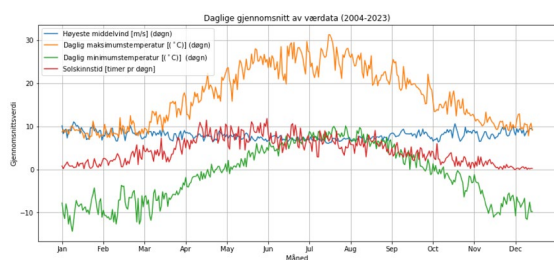
- Asfaltutmatting
- Permanente deformasjonar

### Lokalitetar

Analysene vart utført for fem geografiske lokalitetar som vart valt f or å representere typiske norske klimaregionar:

- Bergen (årleg snittemperatur 8.3 °C, frostmengde 2 300 h°C)
- Kautokeino (årleg snittemperatur -1.8 °C, frostmengde 56 350 h°C)
- Nesbyen (årleg snittemperatur 4.1 °C, frostmengde 28 000 h°C)
- Oslo (årleg snittemperatur 7.1 °C, frostmengde 20 150 h°C)
- Trondheim (årleg snittemperatur 6.0 °C, frostmengde 15 640 h°C)

Eit typisk temperaturprofil (her frå klimastasjon Flesland) for perioden 2004-2023 (for solinnstråling, 2015-2023) som er brukt i analysene er vist i Figur 1.



Figur 1: Temperaturprofil, klimastasjon Flesland

Desse lokalitetane representer også ulike soner med omsyn til nedbør. Men då permanente deformasjonar for “normale” konstruksjonar hovudsakleg oppstår i lag med bituminøse materiale ved analyser i ERAPave, er det ikkje fokusert på årleg nedbørsmengde i rapporten. Generelt er også trafikknivåa svært ulike for desse lokalitetane, så analysene er utført for ulike dekkekonstruksjonar dimensjonert etter Statens vegvesen si

handbok N200 (2022-versjonen) for typiske trafikkmengder på desse lokalitetane. Derfor er dei følgjande trafikknivå og totale asfalt-tjukkuleikane inkludert for lokalitetane:

- Bergen (ÅDT 12 000 (6 % tunge), 24 cm asfalt)
- Kautokeino (ÅDT 2 230 (12 % tunge), 21.5 cm asfalt)
- Nesbyen (ÅDT 5 775, (16 % tunge) 24 cm asfalt)
- Oslo (ÅDT 49 200 (9 % tunge), 25 cm asfalt)
- Trondheim (ÅDT 19 800 (15 % tunge), 25 cm asfalt)

Alle konstruksjonar unntatt for Kautokeino hadde Ska 11 som slitelag, Ab 16 (Ab 11 for Kautokeino) som bindlag, og Ag 16 over Ap 16 som berelag. Alle slite- og bindlag og nedre berelag var antatt å ha 70/100 bitumen som bindemiddel, medan Ag i øvre berelag var antatt å ha 160/220 bitumen som bindemiddel.

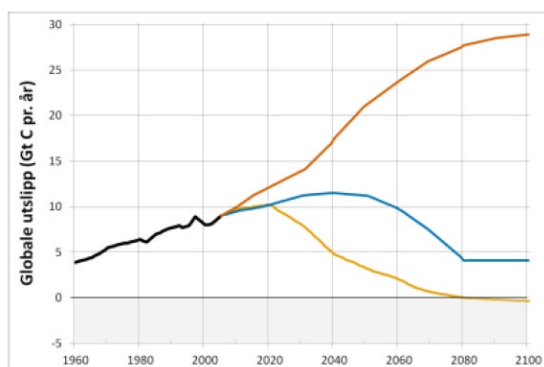


## METODE

Analysene er utført for standard aksellast-konvertering av ÅDT-nivåa i følge standard norsk prosedyre, mao. tal standard 10 t akselpasseringar over ei 20 år dimensjoneringsperiode,  $N_{10t}$ . På grunn av heller stor variasjon i ÅDT og prosent tunge varierte utrekna N-verdiar frå 2.1 til 35.6 mill for dei ulike lokalitetane. Dette medfører også at tjukkuleiken av forsterkingslag og eventuelt frostsikringslag varierer mellom lokalitetane (for Bergen er det ikkje frostsikringslag).

Analysene er utført for to klimascenarior; eit som er kalla “historisk” og eit kalla “framtidig”. For det “historiske” scenariet er klimadata frå nærliggande klimastasjonar for perioden 2018-2021 antatt å vere representative for

den 20-årige analyseperioden. For “framtidig” scenario er modellane som er basert på «Fifth Assessment Report» frå FN’s «International Panel on Climate Change» (IPCC, 2013) brukt til å rekne ut framtidige temperaturar. “Worst case” utslepps-scenario RCP8.5 frå IPCC (vist i raudt i Figur 2) er brukt av Norsk klimaservice-senter for å gjere relevante anslag for framtidige temperaturar i Noreg, basert på dei globale modellane frå IPCC, men nedskalert til eit 1 × 1 km nett ved såkalla regional klimamodellering, RCM. For RCP8.5 er medianverdi for gjennomsnittleg årleg temperaturendring for Noreg + 4.5 °C for perioden 2071-2100



Figur 2: Utslepps-scenario frå IPCC

samanlikna med referanseperioden 1971-2000. For total årleg nedbør er endringa + 18 %. Dei framtidige temperaturestimata for det 1 × 1 km nettet er gjort tilgjengeleg av Norsk klimaservicesenter som daglege minimums- og maksimumstemperaturar basert på 10 ulike klimamodellar.

I master-rapporten, og for å avgrense data-handteringa, er fire av desse modellane brukt til å produsere det “framtidige” scenariet for kvar av lokalitetane ved å gå inn på dei relevante datafilene frå Norsk klimaservice-senter og analysere lokalitetane sine trulege framtidige daglege minimums- og maksimumstemperaturar basert på X- og Y-koordinatane deira. Det er utvikla eit Python-script som les filene, utfører aritmetisk midling, og reknar ut timetemperaturar frå dei daglege min- og maks-verdiane ved ein såkalla

morfing-metode (eller heller ein modifisert metodikk kalla «The Modified Imposed Offset Morphing Method», M-IOMM). I M-IOMM er dei framtidige timestemperaturane basert på dei historiske timesverdiane kombinert med anslåtte framtidige daglege min- og maksimumsverdiar. Det siste steget av Python-scriptet er å produsere ei test-fil som ERAPave kan lese, med desse timestemperaturane i tillegg til verdiar for vindhastigheit ([m/s]) og global stråling ([Wh/m<sup>2</sup>]). I rapporten er verdiane for dei to sistnemnde parametrane tatt frå filene med historiske data, og er identiske med desse. Analyseperioden er 2024-2043. Det er litt uklart korleis programmet reknar ut asfalttemperaturar basert på timesvise lufttemperaturar, med det er indikasjonar i rapporten på at når historiske data frå klimastasjonar vert brukt, vert maksimumsverdiar for perioden lagt til grunn, medan det for eigenproduserte tekstfiler vert brukt ein middelvei dersom fleire år er inkludert. Det er difor sagt at tekstfila som representerer det “framtidige” scenariet inneheld verdiar for berre eitt år, som er brukt for heile perioden. Dette enkeltåret er ikkje eit faktisk år, men basert på ei utvelgingsalgoritme som hentar ut maksimumsverdiar. Det er også framheva at ein gradvis temperaturouke over “framtida” ikkje let seg implementere grunna denne midlingstendensen i programmet.

Når det gjeld metningsgrad for granulære materiale er standardverdiane i programmet brukt for dei “historiske” analysene, medan det for “framtidysanalysene» er eit konstant tillegg på 5 % for heile perioden. Det er uklart kva effekt, om noko, dette har på utrekna stivheit og permanente deformasjonar i desse laga.

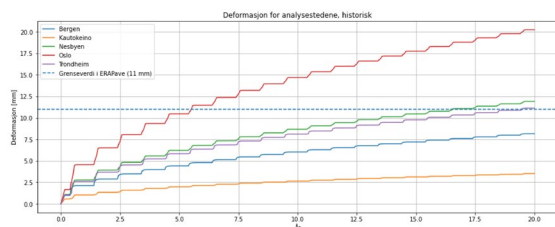


## RESULTAT

Den svenske tradisjonen for å gi trafikk-input for strukturell dimensjoering er ulik den

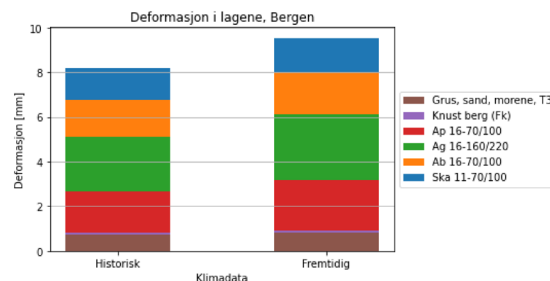
norske, ved at data i Sverige skal bli gitt direkte for kritisk felt, medan den norske metoden er basert på total sum for begge retningar. Denne svenske metoden er vidareført i ERAPave, noko det dessverre ikkje vart tatt høgde for i rapporten, der trafikkdata er gitt som input til ERAPave på den norske måten. Som eit resultat er ÅDT og dermed utrekna N-verdiar for tofeltsveg (Kautokeino og Nesbyen) rundt det doble av det dei skulle ha vore. For 4-feltsveggar (Oslo, Bergen og Trondheim) kan avviket vere mindre, avhengig av antatt fordeling av privatbilar mellom felta. Desse ERAPave-utrekna N-verdiane er brukt også når overbygningane er dimensjonert ved N200-metodikk, og dermed er nokre av konstruksjonane nokre få cm overdimensjonert (opptil 10 cm for forsterkingslag, men total tjukkeleik av ubundne lag er gitt av frostproblematikk, så dette spelar inga større rolle). På grunn av denne input-feilen kan dei utrekna permanente deformasjonane vere litt feil. I ERAPave er desse ein funksjon av utrekna elastisk vertikal tøyning midt i laget og N-verdiane. Men ettersom tilsvarande feil er gjort for både det "historiske" og det "framtidige" scenariet er den relative utrekninga mellom scenaria truleg ikkje så mykje påverka.

Med dette i mente er utrekna permanente deformasjonar for det "historiske" scenariet som vist i Figur 3 for dei fem lokalitetane (gyldig for den doble trafikkmengda av det som er nemnt).



Figur 3: Totale permanente deformasjonar for det "historiske" scenariet for dei fem lokalitetane

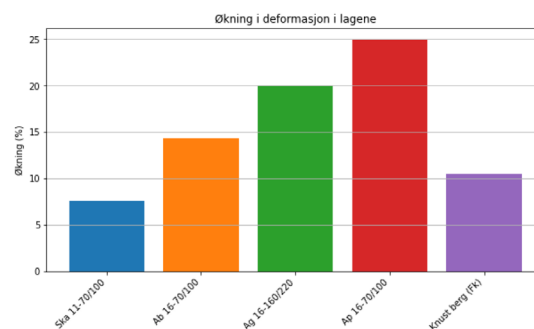
Fordelinga mellom laga er ikkje så forskjellig mellom lokalitetane, så i Figur 4 er resultatane for Bergen vist som eit eksempel.



Figur 4: Permanente deformasjonar, Bergen

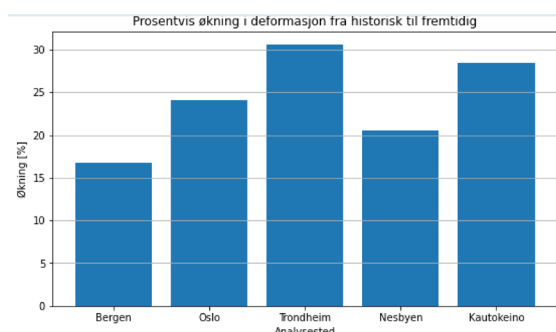
Som figuren viser skjer nesten all utrekna deformasjon i lag med asfaltmateriale for begge scenaria.

Ettersom trafikkmengdene er heller ulike mellom lokalitetane er relative deformasjonar meir interessante enn absolutte deformasjonar. For desse analysene er det litt større avvik mellom scenaria mellom lokalitetane, men trendane er dei same. Igjen er Bergen brukt som eksempel (hugs, ikkje noko frostsikringslag), Figur 5:



Figur 5: Prosentvis auke av permanente deformasjonar for ulike lag, Bergen

Som for nesten alle lokalitetane (Oslo er eit avvik, men berre så vidt) skjer den største relative auken i Ap-laget i nedre berelag. For relativ totaldeformasjon ser det ut som vist i Figur 6.



Figur 6: Prosentvis auke av total permanent deformasjon for "framtidig" versus "historisk" scenario



## KONKLUSJONAR

Det er vanskeleg å vite om tala er representativt, men rapporten konkluderer slik:

- Asfaltutmatting (ikkje vist her) er neglisjerbar for alle lokalitetane, og endra klima ser ut til å ha svært avgrensa effekt.
- Estimert framtidig temperatúrauke vil gi større permanente deformasjonar i fleksible dekkekonstruksjonar over heile landet.
- Auken i permanente deformasjonar er større i nordlege regionar, truleg på grunn av større temperaturendringar i nordlege strøk.
- Endringane for kystnære regionar er mindre enn i innlandet, truleg grunna forventna mindre temperaturendringar.

- Dei bituminøse laga er mest utsatt for auka deformasjonar, noko som truleg krev bruk av stivare bindemiddel eller auka bruk av polymermodifisering i framtida.
- Framtidige klimaendringar vil gi auka nedbrytingsutvikling og redusert dekkelevetid.
- På grunn av dette vil meir hyppig vedlikehaldsarbeid gi større samfunnskostnader, både for vegeigarar og vegbrukarar på grunn av forseinking og tilgang etc.
- Mulig større regionalisering av vegbyggings- og vedlikehaldsstrategiar kan måtte trengast i framtida.
- Det er funne ikkje-neglisjerbar auke av permanente deformasjonar også for lag med ubunde materiale, men ettersom dei initielle verdiane var små kan små absolutte endringar gi relativt store prosentvise avvik. Dette er tilskrive auken på 5 % i metningsnivå, men skuldast meir truleg mjukare materiale i laga over, noko som gir større tøyingar i desse laga.



## REFERANSAR

Børseth, M. (2024): «Evaluering av skadeutvikling på asfaltdekker under framtidig klima». Masteroppgave, NTNU