

Jørgen Sletten

Temperaturkorreksjon av nedbøyningsmålinger på vei

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Helge Mork

Medveileder: Per Otto Aursand

Juni 2022

Jørgen Sletten

Temperaturkorreksjon av nedbøyningsmålinger på vei

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Helge Mork
Medveileder: Per Otto Aursand
Juni 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på en 2-årig mastergrad i Bygg- og miljøteknikk, og dermed også slutten på mine studier ved NTNU. Arbeidet med oppgaven har blitt utført over en periode på ca. 20 uker våren 2022.

Høsten 2021 skrev jeg en prosjektoppgave i emnet TBA 4541 Veg, fordypningsprosjekt som fungerte som et forprosjekt for denne masteroppgaven. Etter at arbeidet med masteroppgaven kom i gang innså jeg at jeg fikk tilgang til enda mer relevant data enn forutsatt i prosjektoppgaven, og dermed kunne problemstillingen utvides fra å først og fremst fokusere på et konkret prosjekt for vegvesenet til å sikte mot en mer generell metode for temperaturkorreksjon av alle nedbøyningsmålinger i Norge. I tillegg er det også tatt inn et punkt om estimering av representativ temperatur i veidekket. Likevel er en del tekst fra prosjektoppgaven gjenbrukt i denne masteroppgaven. Dette er hovedsakelig i kapitlene Innledning, Teori og Metode.

Jeg vil takke hovedveileder Helge Mork for gode veiledningsmøter og diskusjoner underveis i arbeidet. Jeg vil også takke medveileder i Statens Vegvesen, Per Otto Aursand, for gode innspill og tilgang til viktig måledata. En stor takk rettes også til Kim Rune Bragstad Grannes i Statens Vegvesen for utførelsen av fallodds- og temperaturmålinger skreddersydd for denne oppgaven. Til slutt vil jeg takke seniorkonsulent Stine Skov Madsen og seniorspesialist Søren Rasmussen i Rambøll for svar på spørsmål og tilgang til måledata fra Raptor.

Trondheim, juni 2022



Jørgen Sletten

Sammendrag

God oversikt over den strukturelle tilstanden til veinettet er et viktig grunnlag for prioritering av hvor det skal gjennomføres vedlikehold og rehabilitering. Dette kan bidra til bedre utnyttelse av offentlige midler og til reduksjon av klimagassutslipp. I 2021 ble det satt i gang et prosjekt av Statens Vegvesen (SVV) med hensikt å måle bæreevnen på hele det norske riksveinettet i løpet av tre sommersesonger. Når det gjennomføres målinger i såpass stor skala over såpass lang tid er det viktig å kalibrere målingene for ulike faktorer som påvirker resultatet. Siden bitumen i asfalt har varierende stivhet med temperatur, vil også den målte bæreevnen variere med temperatur. Derfor er det viktig å korrigere målingene til en referansetemperatur for å få sammenlignbare resultater. På bakgrunn av dette ønsker SVV å undersøke mer om hvordan slik temperaturkorreksjon kan utføres.

Målet for denne oppgaven er å finne en generell metode for temperaturkorreksjon av nedbøyningsmålinger som kan benyttes på alle nedbøyningsmålinger som blir utført i Norge. Som en del av oppgaven er det først gjennomført et litteratursøk for å kartlegge eksisterende korreksjonsmodeller. Deretter er det testet ulike modeller for estimering av representativ dekketemperatur. Til slutt er det gjennomført testing og vurdering av ulike korreksjonsmodeller, for korreksjon av både nedbøyninger og E-moduler.

I analysen er det inkludert 10 modeller for estimering av temperatur, 8 modeller for korreksjon av nedbøyninger og 13 modeller for korreksjon av E-moduler. I tillegg er det også gjort en vurdering av korreksjonsformelen SVV bruker i dag. Dataen som brukes til testing i oppgaven kommer fra falloddsmålinger utført på Fv 704 og Fv 6612 i Trondheim spesielt for denne oppgaven, fallodds- og Raptormålinger på Rv 36 i Telemark og fra Raptormålinger på NCAT test track i USA. Til sammen er det målt på 9 ulike delstrekninger. Analysen er gjennomført ved å ta for seg verdier fra to målinger på den samme strekningen ved forskjellige temperaturer, som begge er korrigert til referansetemperatur med den samme korreksjonsmodellen. Ved en optimal korreksjon skal disse verdiene i teorien da bli like. Avviket mellom verdiene beskrives ved hjelp av den statistiske størrelsen Root Mean Square Error (RMSE), som beskriver standardavviket mellom verdiene. Disse beregningene har blitt gjennomført for alle korreksjonsmodeller og alle målinger på alle delstrekninger.

Datagrunnlaget som analysen av temperaturestimeringsmodellene er basert på er relativt tynt, og har derfor begrenset variasjon i værforhold, dekketykkelser og temperaturspekter. Dette fører til at det er vanskelig å trekke noen klar konklusjon på hvilken modell som er best generelt. Resultatene viser imidlertid at det er modellen BELLS som gjør det best, tett etterfulgt av BELLS3 og deretter Lai. Korreksjonsmodellene for nedbøyninger og E-moduler har blitt testet og analysert separat, ettersom det er ulike parametere som korrigeres. Det er til dels store variasjoner i resultatet mellom de ulike delstrekningene, og det er også mistanke om unøyaktige måledata på enkelte delstrekninger. Etter en helhetsvurdering er det kommet fram til at for korreksjon av nedbøyninger er det modellen Brezina_n som gir best resultater. Park_n og Xiao er også sterke kandidater. For korreksjon av E-moduler så er det modellen Lukanen som generelt gir best resultater, men Rambølls metode og D_park_e gir også gode resultater. Formelen som Statens Vegvesen bruker til temperaturkalibrering i dag gir resultater på nivå med de andre modellene som er testet. Tatt i betraktning hvor enkel den er i bruk, er dette en god metode for å skaffe sammenlignbare verdier for målinger som er utført ved forskjellige temperaturer.

Abstract

A good overview of the structural condition of the road network is an important foundation for prioritizing where to perform maintenance and rehabilitation measures. This could contribute to better utilization of public funds and reduced greenhouse gas emissions. In 2021, the Norwegian Public Roads Administration (SVV) launched a project with the aim of measuring the bearing capacity of the entire national road network over the span of three summer seasons. When measurements are conducted on such a scale over such a long period of time, it is important to calibrate the measurements for different factors that can affect the results. Since the bitumen in asphalt has varying stiffness depending on temperature, the measured bearing capacity will also vary with temperature. Therefore, it is important to correct the measurements to a reference temperature to get comparable results. Due to this, the SVV wishes to investigate how to best perform such temperature corrections.

The aim of this thesis is to find a general method for temperature correction of deflection measurements that can be applied to all deflection measurements in Norway. As a first part of the thesis, a literature review was conducted to map existing correction models. Next, different models for estimating a representative pavement temperature were tested. Finally, testing and evaluation of different correction models were conducted, including models for correction of both deflections and elastic moduli.

Included in the analysis are 10 models for estimating pavement temperatures, 8 models for correction of deflections, and 13 models for correction of elastic moduli. In addition, the correction formula currently used by SVV was also assessed. The data used for testing in this thesis consists of falling weight deflectometer measurements conducted at Fv 704 and Fv 6612 in Trondheim specifically for this thesis, falling weight deflectometer and Raptor measurements at Rv 36 in Telemark, and Raptor measurements at the NCAT test track in the USA. In total, there have been conducted measurements on 9 separate subsections. The analysis is performed by considering values from two measurements conducted at the same section at different temperatures, that are both corrected to a reference temperature with the same correction model. With an optimal correction, these values should in theory be equal. The difference between the values is described by the statistical metric Root Mean Square Error (RMSE), which describes the standard deviation between the values. These calculations have been performed for all correction models and all measurements at all subsections.

The data basis on which the analysis of temperature estimation models is based is limited and is consequently lacking variation in terms of weather conditions, pavement thicknesses, and temperature range. This makes it challenging to reach a clear conclusion on which model is generally best. However, the results show that the BELLS model is performing best, closely followed by BELLS3 and then Lai. The models for correction of deflections and elastic moduli have been tested and analyzed separately, as there are different parameters that are being corrected. There are partly large variations in the results between different subsections, and there is also a suspicion of inaccurate measurement data from some subsections. After an overall assessment, it was found that the best performing model for correction of deflections is Brezina_n, with Park_n and Xiao also being strong candidates. For correction of elastic moduli, the best performing model is Lukanen, but Rambøll's method and D_park_e also give good results. The formula currently used by SVV is giving results at the same level as the other models that have been tested. Considering how simple it is to use, this is a good method for acquiring comparable values for measurements conducted at different temperatures.

Innholdsfortegnelse

| | |
|--|------|
| Forord | v |
| Sammendrag | vi |
| Abstract | vii |
| Innholdsfortegnelse | viii |
| Figurliste | xi |
| Tabelliste..... | xiii |
| 1 Innledning | 1 |
| 1.1 Bakgrunn | 1 |
| 1.2 Problemstilling | 2 |
| 1.3 Avgrensninger | 3 |
| 2 Teori | 4 |
| 2.1 Bæreevne | 4 |
| 2.2 Nedbøyningsmålinger | 5 |
| 2.3 Måleutstyr | 5 |
| 2.3.1 Fallodd | 5 |
| 2.3.2 Raptor | 7 |
| 2.4 Temperaturkorleksjon | 10 |
| 2.4.1 Estimering av dekketemperatur | 11 |
| 2.4.2 Korleksjon av nedbøyninger | 13 |
| 2.4.3 Korleksjon av E-moduler..... | 14 |
| 2.5 Etterregning av E-moduler | 14 |
| 3 Relevante modeller | 18 |
| 3.1 Modeller for estimering av dekketemperatur | 18 |
| 3.1.1 BELLS..... | 18 |
| 3.1.2 BELLS2 | 18 |
| 3.1.3 BELLS3 | 19 |
| 3.1.4 Zheng..... | 19 |
| 3.1.5 Lai | 20 |
| 3.1.6 D_Park | 20 |
| 3.1.7 Huber | 21 |
| 3.1.8 Idaho 7-term..... | 21 |
| 3.1.9 BELLS2 kalibrert | 22 |
| 3.1.10 Fernando | 22 |
| 3.2 Modeller for korleksjon av nedbøyninger | 23 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.2.1 | Brezina_n | 23 |
| 3.2.2 | Pais | 23 |
| 3.2.3 | Xiao | 24 |
| 3.2.4 | Zheng_n | 24 |
| 3.2.5 | Dawson | 24 |
| 3.2.6 | Chen_n | 25 |
| 3.2.7 | Zhang | 25 |
| 3.2.8 | Park_n | 26 |
| 3.3 | Modeller for korreksjon av E-moduler | 26 |
| 3.3.1 | Brezina_e | 26 |
| 3.3.2 | Lukanen | 27 |
| 3.3.3 | Wei | 27 |
| 3.3.4 | Zhou | 27 |
| 3.3.5 | D_Park_e | 28 |
| 3.3.6 | Chen_e | 28 |
| 3.3.7 | Ali | 29 |
| 3.3.8 | Paliukaite | 29 |
| 3.3.9 | Johnson | 29 |
| 3.3.10 | Chang | 30 |
| 3.3.11 | Appea | 30 |
| 3.3.12 | Trafikverket | 30 |
| 3.3.13 | Rambøll | 31 |
| 3.4 | Statens Vegvesens korreksjonsformel | 32 |
| 4 | Metode | 33 |
| 4.1 | Fremgangsmåte | 33 |
| 4.2 | Litteratursøk | 34 |
| 4.3 | Dataverktøy | 37 |
| 4.3.1 | Python | 37 |
| 4.3.2 | ELMOD6 | 37 |
| 4.4 | Datainnhenting | 38 |
| 4.4.1 | Fv 704 | 38 |
| 4.4.2 | Fv 6612 | 40 |
| 4.4.3 | Rv 36 | 41 |
| 4.4.4 | NCAT test track | 43 |
| 4.5 | Statistisk analyse | 45 |
| 4.6 | Modeller som krever spesiell input | 48 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5 | Resultat..... | 50 |
| 5.1 | Estimering av dekketemperatur | 50 |
| 5.2 | Korreksjon av nedbøyninger | 55 |
| 5.2.1 | Fv 704 | 55 |
| 5.2.2 | Sammenlagt..... | 59 |
| 5.3 | Korreksjon av E-moduler..... | 62 |
| 5.3.1 | Fv 704 | 62 |
| 5.3.2 | Sammenlagt..... | 66 |
| 5.4 | SVVs metode | 67 |
| 6 | Diskusjon..... | 69 |
| 6.1 | Identifisering og utvelging av modeller | 69 |
| 6.2 | Estimering av dekketemperatur | 69 |
| 6.3 | Vurdering av korreksjonsmodeller | 71 |
| 6.3.1 | Korreksjon av nedbøyninger | 72 |
| 6.3.2 | Korreksjon av E-moduler..... | 73 |
| 6.3.3 | SVVs metode..... | 75 |
| 6.4 | Feilkilder og usikkerheter | 75 |
| 7 | Konklusjon..... | 78 |
| 7.1 | Videre arbeid | 79 |
| | Litteraturliste | 80 |
| | Vedlegg..... | 84 |

Figurliste

| | |
|---|----|
| Figur 1 Illustrasjon av lasermåling på Raptor (Dynatest, 2019) | 8 |
| Figur 2 Flytskjema for etterregning av E-moduler og modellering av falloddsekvivalente nedbøyninger (Dynatest, 2019)..... | 9 |
| Figur 3 Sammenheng mellom asfalttemperatur og nedbøyning for forskjellige asfalttykkelser (Zheng, Zhang og Liu, 2017)..... | 10 |
| Figur 4 Sammenheng mellom etterregnet E-modul og temperatur for asfalt (Březina, Machel og Zavřel, 2022)..... | 11 |
| Figur 5 Nedbøyning fra fallodd som funksjon av avstand fra lastsenter for forskjellige temperaturer (Březina, Machel og Zavřel, 2022) | 11 |
| Figur 6 Skisse av varmestrømmene i veioverbygningen (Chen, Wang og Xie, 2019) | 12 |
| Figur 7 Skisse av laginndeling for etterregning av E-moduler | 15 |
| Figur 8 Metode for identifisering av relevant litteratur | 35 |
| Figur 9 Tverrprofil for Fv 704 S2D1 m1200-1500..... | 39 |
| Figur 10 Tverrprofil for Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei..... | 40 |
| Figur 11 Tverrprofil for Fv 6612 S1D1 m7800-8100 | 41 |
| Figur 12 Tverrprofil for Rv 36 S3D1 m2800-6000 | 42 |
| Figur 13 Tverrprofil for Rv 36 S11D1 m850-5750 | 43 |
| Figur 14 Tverrprofil for seksjon N2 på NCAT test track | 44 |
| Figur 15 Tverrprofil for seksjon N10 på NCAT test track..... | 45 |
| Figur 16 Eksempel på plott av absolutte RMSE-verdier | 47 |
| Figur 17 Eksempel på plott av relative RMSE-verdier..... | 47 |
| Figur 18 Plott av målte og estimerte temperaturer på Fv 704 S2D1 den 22. april 2022 .. | 50 |
| Figur 19 Plott av målte og estimerte temperaturer på Fv 6612 S1D1 den 22. april 2022 | 51 |
| Figur 20 Plott av målte og estimerte temperaturer på Fv 704 S2D1 den 2. mai 2022 .. | 52 |
| Figur 21 Plott av målte og estimerte temperaturer på Fv 6612 S1D1 den 2. mai 2022 .. | 53 |
| Figur 22 Temperaturutvikling på Fv 704 S2D1 m1200-1500..... | 55 |
| Figur 23 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 for alle korreksjonsmodeller på Fv 704 S2D1 m1200-1500..... | 56 |
| Figur 24 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Fv 704 S2D1 m1200-1500..... | 56 |
| Figur 25 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av bæreevne for alle korreksjonsmodeller på Fv 704 S2D1 m1200-1500 | 56 |
| Figur 26 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 - d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Fv 704 S2D1 m1200-1500 | 57 |
| Figur 27 Plott av absolutte RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 704 S2D1 m1200-1500..... | 58 |
| Figur 28 Plott av relative RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 704 S2D1 m1200-1500..... | 58 |
| Figur 29 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0 - d_{200} på Fv 704 S2D1 m1200-1500 | 59 |
| Figur 30 Plott av absolutte RMSE-verdier for det sammenlagte resultatet av nedbøyningskorreksjon | 60 |
| Figur 31 Plott av relative RMSE-verdier for det sammenlagte resultatet av nedbøyningskorreksjon | 61 |
| Figur 32 Etterregnede E-moduler for måling 1 på Fv 704 S2D1 m1200-1500 | 63 |

| | |
|---|----|
| Figur 33 Etterregnede E-moduler for måling 2 på Fv 704 S2D1 m1200-1500 | 63 |
| Figur 34 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av E1 for alle korreksjonsmodeller på Fv 704 S2D1 m1200-1500..... | 64 |
| Figur 35 Plott av absolutte RMSE-verdier for E1 på Fv 704 S2D1 m1200-1500 | 65 |
| Figur 36 Plott av relative RMSE-verdier for E1 på Fv 704 S2D1 m1200-1500..... | 65 |
| Figur 37 Plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler på Fv 704 S2D1 m1200-1500 | 66 |
| Figur 38 Plott av absolutte RMSE-verdier for det sammenlagte resultatet av E-modulkorreksjon med BELLS som temperaturestimeringsmodell..... | 67 |
| Figur 39 Plott av relative RMSE-verdier for det sammenlagte resultatet av E-modulkorreksjon med BELLS som temperaturestimeringsmodell..... | 67 |
| Figur 40 Plott av ukorrigerede og korrigerede bæreevne med Park_n og SVVs metode på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei..... | 68 |

Tabelliste

| | |
|---|----|
| Tabell 1 Typiske verdier for parameterne i modellering av veioverbygningen (Madsen, 2016) | 9 |
| Tabell 2 Eksempel på tabell med RMSE-verdier for flere parametere | 46 |
| Tabell 3 Resultat av temperaturestimering på Fv 704 S2D1 den 22. april 2022 | 51 |
| Tabell 4 Resultat av temperaturestimering på Fv 6612 S1D1 den 22. april 2022..... | 52 |
| Tabell 5 Resultat av temperaturestimering på Fv 704 S2D1 den 2. mai 2022 | 53 |
| Tabell 6 Resultat av temperaturestimering på Fv 6612 S1D1 den 2. mai 2022 | 54 |
| Tabell 7 Total RMSE-verdi for alle temperaturestimeringsmodeller | 54 |
| Tabell 8 RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 704 S2D1 m1200-1500..... | 57 |
| Tabell 9 Sammenlagt resultat av nedbøyningskorreksjon for alle delstrekninger med BELLS som temperaturestimeringsmodell | 60 |
| Tabell 10 Sammenlagt resultat av nedbøyningskorreksjon for alle delstrekninger med BELLS3 som temperaturestimeringsmodell | 61 |
| Tabell 11 Sammenlagt resultat av nedbøyningskorreksjon for alle delstrekninger med Lai som temperaturestimeringsmodell | 62 |
| Tabell 12 Gjennomsnittlige etterregnede E-moduler for Fv 704 S2D1 m1200-1500..... | 63 |
| Tabell 13 RMSE-verdier for E-moduler på Fv 704 S2D1 m1200-1500 | 64 |
| Tabell 14 Sammenlagt resultat av E-modulkorreksjon for alle delstrekninger med BELLS, BELLS3 og Lai som temperaturestimeringsmodell | 66 |
| Tabell 15 Sammenlagt resultat for korreksjon av bæreevne for alle modeller, inkludert SVVs metode | 68 |

1 Innledning

I dag er det utløsende kriteriet for dekkevedlikehold spordybde og jevnhet på overflaten, med andre ord, den funksjonelle tilstanden til veien. Dette gir ikke nødvendigvis noe godt bilde av hvor god bæreevnen, eller den strukturelle tilstanden til veien, er. Mange av skadene på overflaten skyldes ofte manglende bæreevne eller svakheter i overbygningen. Bedre oversikt over den strukturelle tilstanden til veinettet gir et bedre grunnlag for prioritering av hvilke strekninger som skal utbedres. Dette gjør at det kan brukes midler på å utbedre der det er størst behov, samtidig som at den resterende kapasiteten kan utnyttes der tilstanden fortsatt er akseptabel. Dette bidrar til bedre utnyttelse av offentlige midler og reduksjon av klimagassutslipp fordi det optimaliseres hvor og når det utføres vedlikehold og rehabilitering.

De siste tiårene er det fallodd som har vært den dominerende metoden for strukturell tilstandsmåling (Mork, 2021). På første halvdel av 90-tallet ble det gjennomført et stort antall målinger, men siden har målingene i stor grad vært sporadiske og kun blitt utført der man har sett behov for utbedring. Dermed har man i dag ikke noe komplett register med informasjon om hele veinettet. En ulempe med fallodd er at målingene utføres i enkeltpunkter, stillestående på veien. Dette fører til at målingene både tar lang tid og er til ulempe for trafikken på veien. I de senere årene har det kommet nytt utstyr på markedet som tillater rullende nedbøyningsmålinger i trafikkhastighet. Dette omtales som en revolusjon, både med hensyn til hvor fort målingene kan gjennomføres og mengden data som samles inn (Statens Vegvesen, 2021c). Sammenlignet med tradisjonell falloddmåling kan rullende nedbøyningsmåling utføres opptil 20 ganger raskere. I tillegg til å redusere tiden det tar å gjennomføre målingene vil dette også gi økt trafiksikkerhet, både for operatørene som utfører målingene og for øvrige trafikanter.

Slikt nytt utstyr tillater målinger i mye større omfang enn tidligere. Ved prosjekter av stor størrelse er det viktig å kalibrere målingene for forskjellige påvirkende forhold, for å kunne få sammenlignbare resultater. I den sammenheng er temperatur en parameter det er viktig å ha god kontroll på. Bitumen i asfalt er et materiale hvor stivheten avhenger av temperatur. De bituminøse lagene i en veioverbygning utgjør som regel en liten andel av den totale tykkelsen, men likevel bidrar de med en vesentlig andel av stivheten til konstruksjonen. Dermed vil den målte nedbøyningen og bæreevnen til et punkt på veien variere sammen med temperaturen. Ved målinger over en hel sommersesong opplever man et stort spekter av temperaturer ved målingene. Derfor bør nedbøyningsmålingene korrigeres til en referansetemperatur for å gi sammenlignbare resultater når ulike strekninger skal vurderes opp mot hverandre. Inntil nylig har det ikke eksistert rutiner for hvordan temperatur skal behandles ved måling og beregning av bæreevne i Norge.

1.1 Bakgrunn

Sommeren 2021 utførte Rambøll nedbøyningsmålinger på 6000 felt-km på norske riksveier. Dette er første del av et prosjekt i regi av Statens Vegvesen (SVV) som har som mål å kartlegge hele det norske riksveinettet i løpet av 3 sommersesonger. Målingene har blitt utført med Rapid Pavement Tester (Raptor), som er et relativt nytt utstyr som måler

nedbøyninger i trafikkhastighet. Hensikten med målingene er å skaffe en oversikt over tilstanden til veinettet og beslutningsgrunnlag for hvilke veistrekninger som skal prioriteres ved vedlikehold og oppgraderinger. Dette er et prosjekt hvor temperaturkorreksjon vil være av stor betydning.

Rambøll bruker vanligvis en modifisert versjon av en metode fra det svenske Trafikverket for temperaturkorreksjon av E-modulen til asfaltdekket i sine beregninger. Vegvesenet har imidlertid valgt at denne korreksjonen ikke skal inkluderes i leveransen av målingene i Norge. Ifølge Per Otto Aursand, prosjektleder for SVV, har de heller gjort en korreksjon selv av den ferdig beregnede bæreevnen, med hensyn til overflatetemperatur (møte, 3. november 2021). Dette er en forenklet metode med stort potensiale for forbedring.

Som følge av dette foreligger det et ønske fra SVV om å undersøke nærmere hvordan temperaturkorreksjon kan utføres på en best mulig måte. Rambøll har også vist interesse for temaet temperaturkorreksjon og er interesserte i mer undersøkning av hvordan dette kan utføres.

1.2 Problemstilling

Hovedmålet med oppgaven er å finne frem til en generell metode for temperaturkorreksjon av nedbøyningsmålinger som kan benyttes på alle nedbøyningsmålinger som blir utført i Norge. Problemstillingen blir dermed som følger:

Hvordan kan temperaturkorreksjon av nedbøyningsmålinger på vei utføres?

For å svare på problemstillingen har det blitt formulert følgende forskningsspørsmål:

1. Hvilke modeller for temperaturkorreksjon av nedbøyningsmålinger eksisterer i dag?
2. Hvordan kan man best estimere en representativ dekketemperatur, dersom direkte måling ikke er aktuelt?
3. Hvilke av de eksisterende korreksjonsmodellene egner seg best for bruk i Norge?

Den første delen av oppgaven består av en litteraturstudie der det kartlegges hvilke eksisterende modeller for temperaturkorrigering av nedbøyningsmålinger som finnes. Resultatet fra forprosjektet viste at det finnes mange modeller til dette formålet. Nå har det blitt søkt enda mer omfattende og det har blitt funnet flere aktuelle modeller. Det undersøkes modeller med forskjellig tilnærming til korreksjonen, både direkte korreksjon av nedbøyninger og korreksjon av E-moduler. I utgangspunktet tas så mange modeller som mulig med videre til testing.

Hvilken dekketemperatur som skal brukes som input i korreksjonen er ikke så trivielt som det kan høres ut som. Det vil alltid være en temperaturgradient gjennom dekket, så å bruke overflatetemperatur eller lufttemperatur ved måling vil ikke nødvendigvis gi gode resultater. Den klart beste måten å finne en representativ dekketemperatur på er å bore et hull og fysisk måle temperaturen, men dette er tidkrevende og blir dermed svært sjelden

gjort. Derfor vil det også vurderes ulike modeller for å estimere en representativ dekketemperatur ut ifra data som uansett samles inn i forbindelse med nedbøyningsmålingene.

Gjennom implementering og testing av korreksjonsmodellene skaffes et kvantitativt datagrunnlag som belyser hvor godt modellene fungerer. Dette gjøres ved hjelp av data fra feltundersøkelser som modellene kan testes på. Dataene er hentet inn ved hjelp av både fallodd og Raptor fra flere ulike veier og delstrekninger. Dette gir god variasjon, og dermed også gode muligheter for å gjøre en vurdering av modellene. For at en modell skal kunne anbefales til bruk bør den gi tilfredsstillende resultater ved testing på flere ulike datasett.

1.3 Avgrensninger

- Mangel på inputdata setter begrensninger for hvilke estimerings- og korreksjonsmodeller som kan benyttes. Kompliserte modeller som krever mye input har bevisst blitt utelatt da det ikke vil være mulig teste disse og det vil heller ikke være realistisk fra vegvesenets side å benytte slike modeller i stor skala.
- Det har ikke blitt gjort noen vurdering av hvilken referansetemperatur som er best å bruke. For modeller med valgfri referansetemperatur er det konsekvent brukt 20°C.
- Det har ikke blitt utført «framoverregning» av nedbøyninger fra korrigerede E-moduler. Det har blitt gjort forsøk på framoverregning ved hjelp av Kenlayer, men dette har gitt for dårlig presisjon i resultatene til at de kan brukes. Dette skyldes at Elmod (som etterregner E-moduler fra nedbøyninger) behandler materialet i undergrunnen som ikke-lineært elastisk, og det har ikke latt seg gjøre å gjenskape de samme forholdene i Kenlayer innenfor tidsfristen for masteroppgaven.
- Det er ikke fokusert på lastfrekvens i oppgaven. Det er antatt at frekvensen på lastpulsene fra fallodden har vært den samme ved alle målingene, slik at målingene er direkte sammenlignbare med hverandre. Ved sammenligning mellom fallodd og Raptor antas det at lastfrekvensen håndteres av Raptor i modelleringen av falloddsekvivalente nedbøyninger, og at disse kan sammenlignes direkte med falloddsmålinger.

2 Teori

Dette kapitlet presenterer relevant bakgrunnsinformasjon og teori om bæreevne og nedbøyningsmålinger. Det aktuelle måleutstyret for oppgaven er presentert, i tillegg til ulike tilnærminger til estimering av dekketemperatur og korreksjon av nedbøyninger og E-moduler. Til slutt presenteres teori for etterregning av E-moduler fra nedbøyningsmålinger.

2.1 Bæreevne

Begrepet bæreevne har en ulik betydning avhengig av om det brukes om undergrunnen i en geoteknisk sammenheng eller for overbygningen i forbindelse med veibygging (Mork, 2021). Begrepet blir ofte brukt om hverandre, uten at det er tydelig definert hvilken betydning som gjelder. I geoteknisk sammenheng handler bæreevne om jordas evne til å bære vertikal last. Bæreevnen til jorda er den største lasten som kan bæres uten at det umiddelbart oppstår brudd i grunnen. Det finnes veldefinerte, teoretiske formler for å regne ut bæreevne ut ifra jordparametere. Når man snakker om bæreevnen til en vei handler det ikke om hvilken last som umiddelbart fører til brudd, men om hvilken last som kan påføres gjentatte ganger over en periode, uten at det oppstår uakseptable deformasjoner. Statens Vegvesens håndbok N200 (Statens Vegvesen, 2018, s. 297) definerer veiens bæreevne på følgende måte:

"Den største aksellast en veg kan ta over en tidsperiode (dimensjoneringsperioden) uten at vegens tilstand, ved normalt vedlikehold, faller under en definert akseptabel grense. Dårlig bæreevne gir seg utslag i en dekkelevetid som er lavere enn normert dekkelevetid."

Videre i denne oppgaven brukes begrepet bæreevne om veiens bæreevne og ikke etter den geotekniske definisjonen.

Bæreevnen til en vei vil variere mye over året (Mork, 2021). Perioden med absolutt høyest bæreevne er om vinteren mens overbygningen er frossen. De frosne materialene gir veien nærmest ubegrenset bæreevne i forhold til de belastningene som påføres. Den mest kritiske perioden er om våren etter teleløsning, spesielt hvis veien er utsatt for telehiv. Telehiv består av fritt vann som suges opp i overbygningen av kapillærkrefter og blir til islinser som utvider seg. Dette fører til at veien hever seg. Om våren når islinjene begynner å smelte blir det mye smeltevann og hulrom etter islinjene i overbygningen. Dette gir i kombinasjon svært lav bæreevne, fordi stivheten og skjærstyrken reduseres betraktelig. Om sommeren og høsten er det mer stabile forhold og bæreevnen vil dermed være mer konstant. Likevel vil den påvirkes av ulike forhold som vanninnhold og temperatur. Store nedbørmengder i kombinasjon med utilstrekkelig drenering kan dermed gi redusert bæreevne.

2.2 Nedbøyningsmålinger

De fleste ikke-destruktive metoder for bæreevne måling baserer seg på prinsippet om at man påfører veioverflaten en belastning og måler nedbøyningen som oppstår (Mork, 2021). Størrelsen og formen på nedbøyningsbassenget som oppstår blir deretter tolket og regnet om til en bæreevne. Belastningen som påføres kan variere noe avhengig av hva slags utstyr som benyttes, men som regel brukes en last på 50 kN, da dette tilsvarer én hjullast på en 10-tonns aksling.

Størrelsen på nedbøyningene som oppstår er ofte i størrelsesordenen 0,2 – 3 mm i lastsenter (Statens Vegvesen, 2021b). Krumningen til nedbøyningsbassenget sier noe om hvor i konstruksjonen eventuelle svakheter befinner seg. Dersom krumningen er høy tyder det på at svakheten befinner seg i dekket eller bærelaget da den øvre delen har stor deformasjon, mens det er mindre deformasjon i de dypere lagene. Dersom krumningen derimot er slak tyder det på at svakheten ligger i forsterkningslag eller undergrunn, da den øvre delen fremstår sterk og stiv, mens de dypere lagene deformeres.

2.3 Måleutstyr

Det finnes flere forskjellige typer utstyr som måler nedbøyninger, og disse kan grovt sett deles i 2 grupper; de som gir punktvis målinger og de som gir kontinuerlige målinger. Blant de som gir punktvis målinger er det fallodd som er klart mest brukt. Fallodd har vært, og er fortsatt, standardutstyret for nedbøyningsmålinger på vei både i Norge og resten av verden (Mork, 2021). Andre typer utstyr som gir punktvis målinger er blant annet Benkelmansbjelke og Dynaflect. De største ulemper med slikt utstyr er at målingene over en strekning tar lang tid og at det er til hinder for trafikken på veien. Dette skaper utfordringer med tanke på trafiksikkerhet, både for operatørene som utfører målingene og den øvrige trafikken på veien.

En samlebetegnelse for måleutstyr som gir kontinuerlige målinger er Rolling Wheel Deflectometer (RWD). Disse opereres i trafikkhastighet og gir dermed lite eller ingen ulemper for den øvrige trafikken. Datamengden som samles inn er også mye større, ettersom målingene gjøres kontinuerlig. Eksempler på RWD'er er Traffic Speed Deflectometer og Rapid Pavement Tester. Disse er godt egnet til kartlegging av bæreevne på nettverksnivå, på grunn av den store hastigheten og dermed store målekapasiteten.

2.3.1 Fallodd

Fallodd, eller falling weight deflectometer (FWD), er tradisjonelt sett det mest brukte verktøyet til å måle bæreevnen på veier. Utstyret er som regel montert på en henger og består av et lodd som faller på ei belastningsplate og en rekke geofoner som måler nedbøyningen i ulik avstand fra lastsenter (Statens Vegvesen, 2021a). Falloddet har også temperatursensorer som måler lufttemperatur og veidekkets overflatetemperatur. Utstyret kan opereres fra inne i bilen, slik at man slipper å gå ut for hver måling. Målingene utføres punktvis, vanligvis med en avstand på 50 meter mellom hver måling. Ved normal drift kan det måles 70-80 punkter i timen, noe som tilsvarer en strekning på 3500 – 4000 meter i

timen (Mork, 2021). Det er også utviklet en raskere versjon av falloddet, Fast falling weight deflectometer, som er 5 ganger raskere per dropp og kan måle 75% flere punkter per time.

I henhold til vegvesenets håndbok R211 (Statens Vegvesen, 2021b) skal det gjennomføres 3 slag i hvert målepunkt. Det første slaget er et kontaktslag med lav belastning for å sikre at belastningsplaten har god kontakt med underlaget. Deretter gjennomføres to slag med ønsket belastning, men det er kun det siste slaget som lagres til målefilen.

Belastningen som vanligvis brukes er 50 kN, tilsvarende én hjullast på en 10-tonns aksling. Belastningen kan beregnes ved å betrakte likevekt mellom den potensielle energien til loddet og det fysiske arbeidet som gjøres med sammenpressing av veikonstruksjonen. Ut ifra dette får man følgende formel for belastningen F:

$$F = \sqrt{2 \cdot m \cdot g \cdot h \cdot k}$$

(Mork, 2021)

Massen til loddet, m, gravitasjonskonstanten, g, og fallhøyden til loddet, h, er alle kjente parametere, mens fjærkonstanten, k, vil variere med veioverbygningen. Derfor måles alltid den påførte kraften av ei lastcelle. Diameteren på belastningsplaten er 300 mm, noe som gir et kontaktrykk på ca. 0,707 MPa ved en belastning på 50 kN. Varigheten til lastpulsen er som regel i området 30-60 ms.

Geofonene som måler nedbøyningen er montert på rekke i ulik avstand fra lastsenteret. Det er mulig med flere forskjellige konfigurasjoner av geofonene, men det er vanlig med 7 geofoner plassert 0, 200, 300, 450, 600, 900 og 1500 millimeter fra lastsenteret (Statens Vegvesen, 2021b). Dette gjør at man får god kontroll på formen til nedbøyningsbassenget som oppstår. De viktigste geofonene er den som måler i lastsenteret og den som måler 200 mm fra lastsenteret. Ved hjelp av disse kan man regne ut en parameter som kan brukes til å tolke hvilket lag som har en svakhet:

$$\frac{d_0}{d_0 - d_{200}} > 5 \text{ Svakhets i undergrunn/forsterkningslag}$$

$$3 < \frac{d_0}{d_0 - d_{200}} < 5 \text{ Svakhets i forsterkningslag/bærelag}$$

$$\frac{d_0}{d_0 - d_{200}} < 3 \text{ Svakhets i bærelag/dekke}$$

(Dahlen, 2015)

Beregning av bæreevne fra falloddsmålinger gjøres ved hjelp av en empirisk formel, som tar utgangspunkt i at en vei med overflatemodul $E_{dim} = 200$ MPa og $\dot{A}DT_T = 50$ gir en bæreevne på 11 tonn. Opprinnelig ga dette en bæreevne på 10 tonn, men det ble senere oppjustert med 10%. Bæreevnen beregnes etter følgende formel:

$$B = 11 \cdot \left(\frac{E_{dim}}{200}\right)^{0,6} \cdot \left(\frac{50}{\dot{A}DT_T}\right)^{0,072}$$

(Mork, 2021)

B : bæreevne [tonn]
E_{dim} : overflatemodul [MPa]
ÅDT_T : årsgjennomsnitt for tunge kjøretøy

Overflatemodulen er gitt av:

$$E_{dim} = 110 \cdot \frac{p}{(d_0 * (d_0 - d_{200}))^{0,5}}$$

(Mork, 2021)

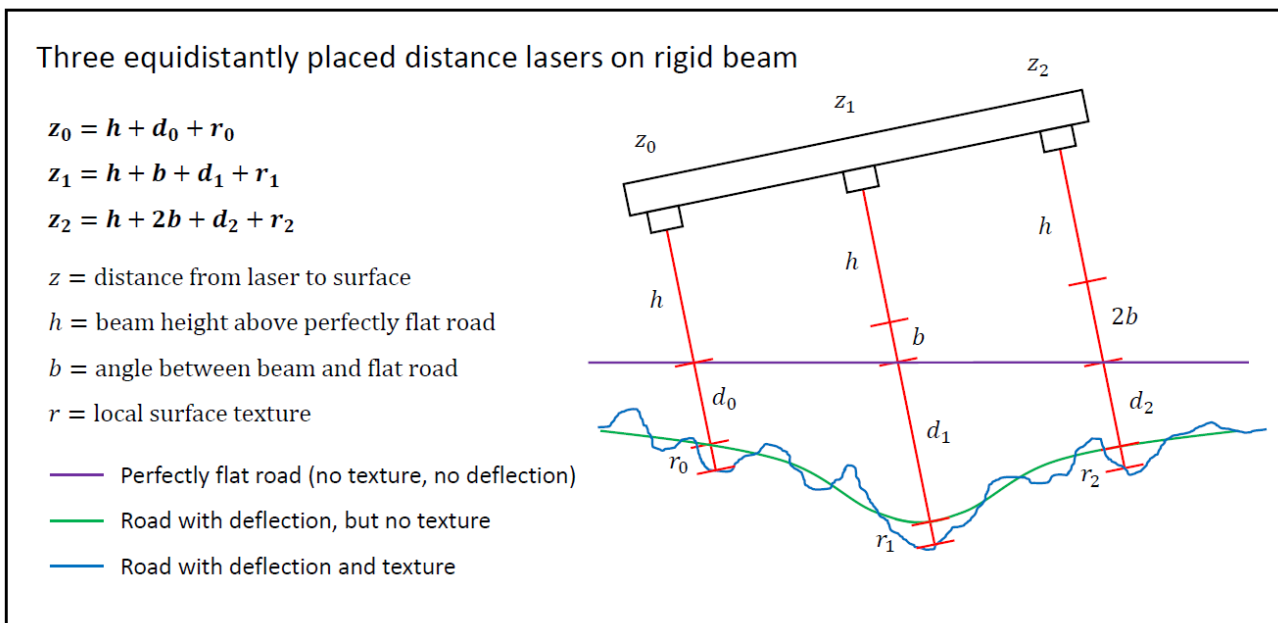
p : kontakttrykk [MPa]
d₀ : nedbøyning i lastsenter [mm]
d₂₀₀ : nedbøyning 200 mm fra lastsenter [mm]

Bæreevnen for en strekning bestemmes ved at man stryker de 10% laveste av de beregnede punktbæreevnene og velger den laveste av de gjenværende verdiene. Det vil si at 10% av de målte punktene har en lavere bæreevne enn strekningsbæreevnen.

2.3.2 Raptor

Rapid pavement tester (Raptor) er en ny type RWD som er utviklet av Dynatest. Den første operasjonelle prototypen av Raptor var klar i 2015, mens de første reelle oppdragene ble utført i 2018. Raptor, inkludert merkevare og alle patenter, ble kjøpt opp av Rambøll RST i 2020 (Rambøll, 2021). Målingene gjøres i trafikkhastighet på opptil 80 km/t, noe som gir en målekapasitet på opptil flere hundre kilometer per dag. Raptor består av en spesialbygget henger med tilhørende trekkvogn. Raptor har ingen gjennomgående bakaksel, noe som gir stor frihet til plassering av lasermålerbjelken og som gjør det mulig å skli inn ballast fra bakenden (Dynatest, 2019). Den lave plasseringen av ballasten gir et lavt tyngdepunkt som sikrer god stabilitet og lav påvirkning av sidevind. Aksellasten kan enkelt justeres mellom 6 og 10 tonn. Den totale lengden av Raptorhengeren er 9,5 m (13 m med trekkvogn), noe som gir en smidighet som tillater målinger i bykjerner og på svingete landeveier. Raptor er utstyrt med temperatursensorer som måler temperatur både i lufta og på dekkeoverflaten. I tillegg har den GPS og tripteller som brukes til å bestemme nøyaktig posisjon, ei lastcelle som måler nøyaktig belastning, et akselerometer og et gyroskop som måler rotasjon av målebjelken.

Nedbøyningene som oppstår på grunn av hjullasten måles av 12 lasere som er montert på en karbonbjelke rett ved siden av hjulet (Dynatest, 2019). Laserne er plassert i ulik avstand fra lastsenter, fra 1,5 meter bak til 3,6 meter foran. Lasterommet der laserbjelken er montert er klimakontrollert så temperaturen alltid er 20°C og det er en kalibreringsplate som brukes til å kalibrere laserne før oppstart. Laserne måler ikke bare punktvis, men skanner veioverflaten i en bredde på ca. 200 mm. Laserne opererer med en frekvens på 4000 Hz, der det skannes i 200 µs før et opphold på 50 µs. Ved en hastighet på 80 km/t blir lengden av hver måling ca. 5 mm. Hver måling samler inn 1280 datapunkter, noe som tilsvarer hele 5 210 000 datapunkter per sekund. Avstanden som blir målt av laserne z_i inneholder høyden ned til den teoretiske flate veioverflaten h, et tillegg på grunn av rotasjon av bjelken b, nedbøyningen d_i og teksturen r_i (se Figur 1).



Figur 1 Illustrasjon av lasermåling på Raptor (Dynatest, 2019)

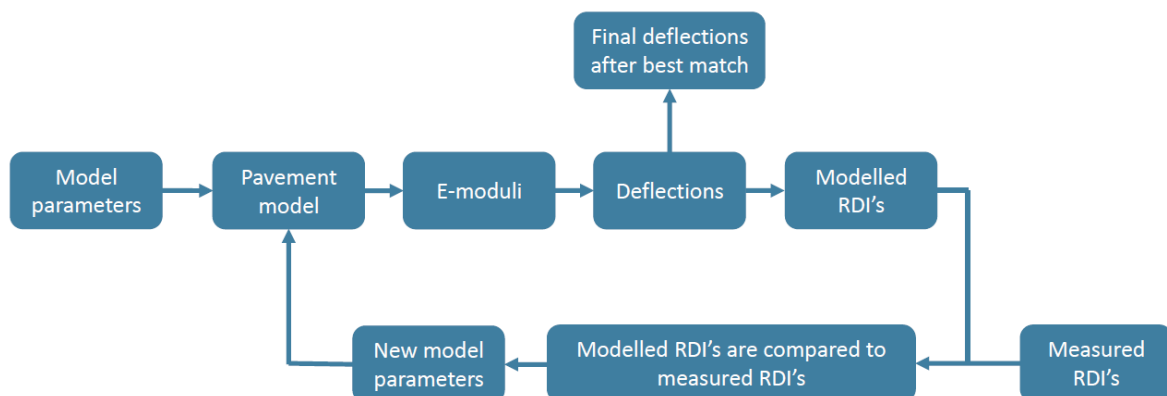
Det er nedbøyningen d_i som er av interesse og alle andre verdier må elimineres. Dette gjøres ved hjelp av en metode basert på bildegjenkjenning. Siden laserne skanner i $200 \mu\text{s}$ og kun har et opphold på $50 \mu\text{s}$ får man god overlapp mellom målingene fra flere lasere. Ved hjelp av bildegjenkjenningen kan man bruke flere målinger av det samme punktet på veien fra forskjellige lasere til å sette opp et sett med koblede lineære likninger. Likningssettene settes opp for tre og tre lasere med like lang avstand imellom. Ved hjelp av lineæralgebra kan man eliminere de uønskede størrelsene og komme frem til en Raptor Deflection Index (RDI). Uttrykket for RDI er $RDI = d_0 - 2d_1 + d_2$ (Dynatest, 2019). RDI er en parameter som beskriver kurvaturen av nedbøyningsbassenget. Ut ifra de 12 laserne som brukes kan det regnes ut 22 unike RDI'er for forskjellige kombinasjoner av lasere. For å redusere den store datamengden regnes RDI'ene ut som en middelværdi over en strekning på 10 meter.

Neste steg i beregningsprosedyren er å etterregne E-moduler for de forskjellige lagene i veioverbygningen. Dette gjøres ved hjelp av en finite element modell som har blitt utviklet av Stine Skov Madsen gjennom hennes PhD (Madsen, 2016). Modellen tar utgangspunkt i en veioverbygning med 3 lag, der hvert lag er antatt lineært viskoelastisk. Lagene i modellen vil normalt tilsvare asfalt, forsterkningslag og undergrunn. Modellen er i stand til å modellere nedbøyningen fra dynamiske laster der man tar hensyn til variasjoner over tid. Parameterne som inngår i modellen er tverrkontraksjonstallet ν , densiteten ρ , E-modulen og en dempningsparameter η for hvert av de tre lagene i veioverbygningen, i tillegg til en parameter α , som sier noe om hvor mye E-modulen til undergrunnen øker med dybden. Etterregningen gjøres gjennom en iterasjonsprosess der avviket mellom RDI'er fra den målte nedbøyningen og RDI'er beregnet fra den modellerte nedbøyningen minimeres. Som regel antas verdier for tverrkontraksjonstall og densitet, mens de resterende parameterne optimaliseres gjennom etterregningsprosessen. Typiske verdier er vist i Tabell 1.

Tabell 1 Typiske verdier for parameterne i modellering av veioverbygningen (Madsen, 2016)

| Layer | ν [-] | ρ kg/m ³ | E [MPa] | η [s] | α |
|-------|-----------|--------------------------|---------------|---------------------------------------|-----------|
| 1 | 0.35 | 2400 | [1000 – 7000] | $[5 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-3}]$ | - |
| 2 | 0.35 | 2000 | [150 – 750] | $[5 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-3}]$ | - |
| 3 | 0.35 | 1800 | [25 – 180] | $[5 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-3}]$ | [0 – 3.0] |

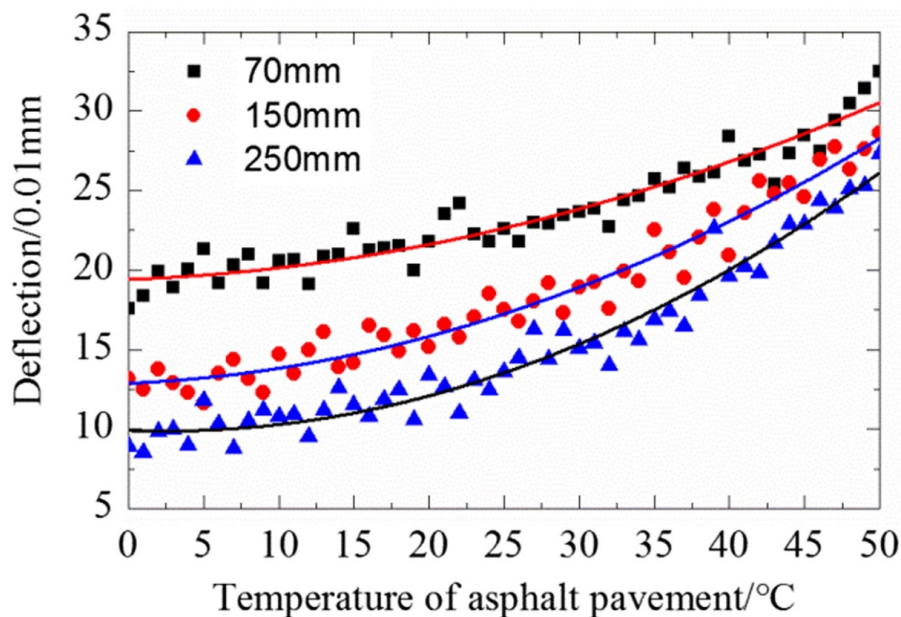
Belastningen fra Raptor modelleres som en statisk last og dette forenkler modellen til en ren elastisk respons (Madsen og Pedersen, 2019). Dermed optimaliserer man bare E-modulene i etterregningen. De etterregnede E-modulene blir som regel temperaturkorrigert ved hjelp av en svensk metode, som er omtalt i kapittel 3.3.13. Deretter brukes E-modulene til å modellere falloddsekvivalente nedbøyninger. Falloddsbelastningen modelleres som en dynamisk støtlast, med fulle viskoelastiske egenskaper for alle lagene (Madsen og Pedersen, 2019). Gjennom denne modelleringen optimaliseres verdiene av den viskoelastiske dempningen η ved å minimere forskjellen mellom beregnet lasthistorie over tid og observert lasthistorie målt fra falloddsforsøk. Utdataene fra prosessen er falloddsekvivalente nedbøyninger, som det kan beregnes bæreevne ut ifra ved hjelp av standard metode for fallodd. Figur 2 viser et flytskjema for modelleringsprosessen.



Figur 2 Flytskjema for etterregning av E-moduler og modellering av falloddsekvivalente nedbøyninger (Dynatest, 2019)

2.4 Temperaturkorreksjon

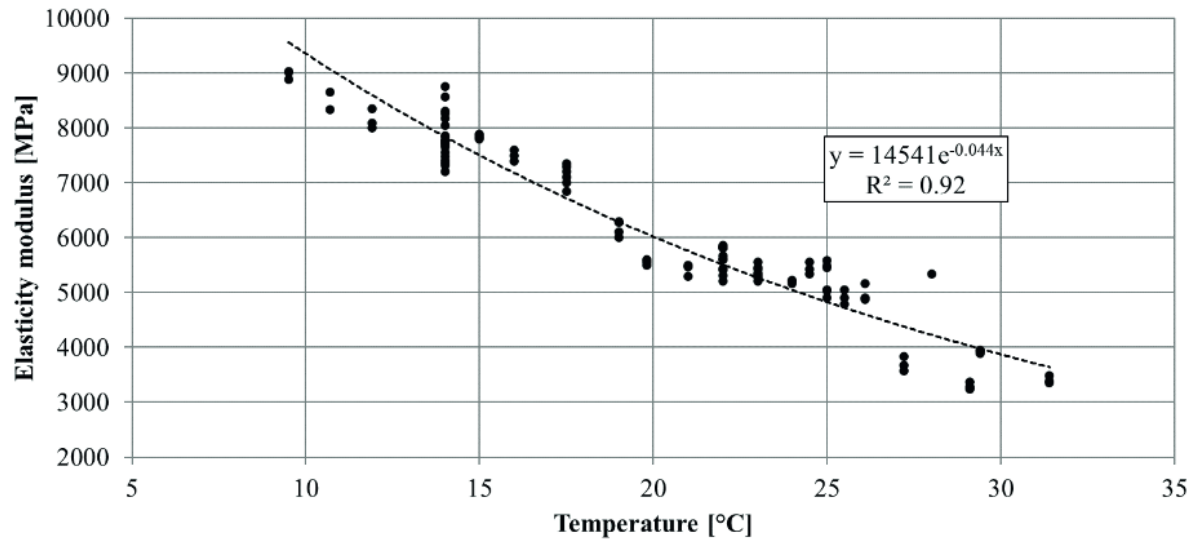
Stivheten til bitumen varierer med temperatur, noe som fører til at stivheten, og dermed også bæreevnen, til et asfaltlag er avhengig av temperatur. Temperatur vil derfor ha en stor effekt på nedbøyningene som måles ved hjelp utstyr som for eksempel fallodd og Raptor. Dette er illustrert i Figur 3 som viser sammenhengen mellom nedbøyning i lastsenter fra fallodd og asfalttemperatur for forskjellige asfalttykkelser (Zheng, Zhang og Liu, 2017). Grafen viser en tydelig korrelasjon mellom temperatur og nedbøyning. Grafen viser også at dekker med 250 mm asfalt trenger større korreksjon enn dekker med 70 mm asfalt.



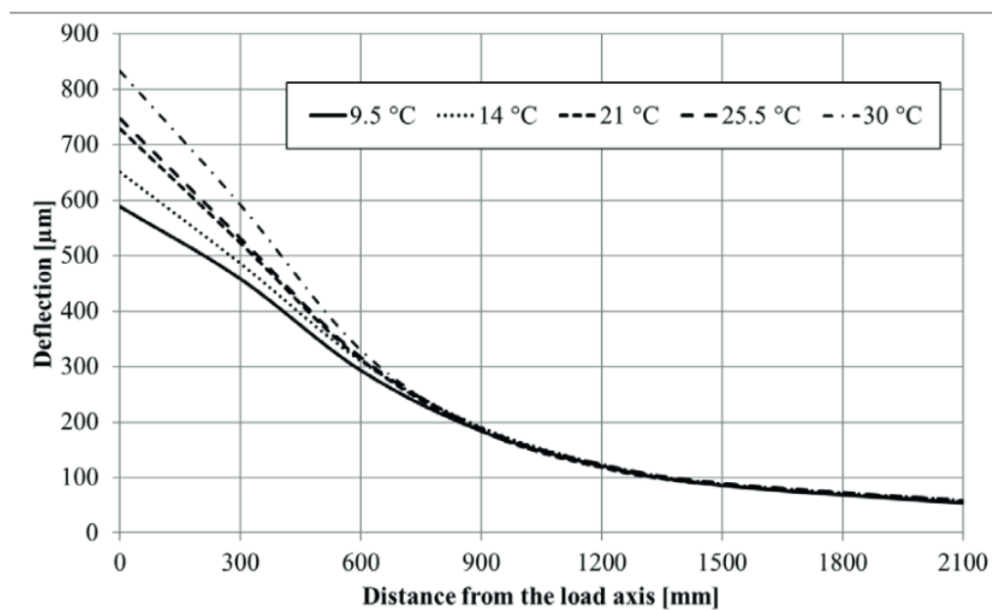
Figur 3 Sammenheng mellom asfalttemperatur og nedbøyning for forskjellige asfalttykkelser (Zheng, Zhang og Liu, 2017).

At stivheten til asfalten varierer med temperatur bekreftes også av (Březina, Machel og Zavřel, 2022). Figur 4 viser sammenhengen mellom etterregned E-moduler og temperatur for asfaltlaget på en teststrekning i deres studie. Denne studien viser også at påvirkningen av temperatur er størst i nærheten av lastsenter, mens effekten avtar jo lenger vekk man kommer. Figur 5 viser nedbøyningen fra fallodd som funksjon av avstanden fra lastsenter for forskjellige temperaturer. Ut ifra grafen ser man at nedbøyningene nærme lastsenter varierer en del, mens nedbøyningene lenger enn 900 mm fra lastsenter er nærmest identiske.

Den store variasjonen med temperatur fører til at det er nødvendig med en korreksjon av nedbøyningsmålinger som blir gjort ved forskjellige temperaturer for å få sammenlignbare resultater. Dette gjøres ofte ved å regne om målingene til en felles referansetemperatur. Det finnes flere foreslåtte metoder for å gjøre dette og de forskjellige metodene kan grovt deles i to grupper etter hvordan korreksjonen gjøres; enten korrigeres de målte nedbøyningsverdiene eller så korrigeres de etterregned E-modulene.



Figur 4 Sammenheng mellom etterregnet E-modul og temperatur for asfalt (Březina, Machel og Zavřel, 2022)

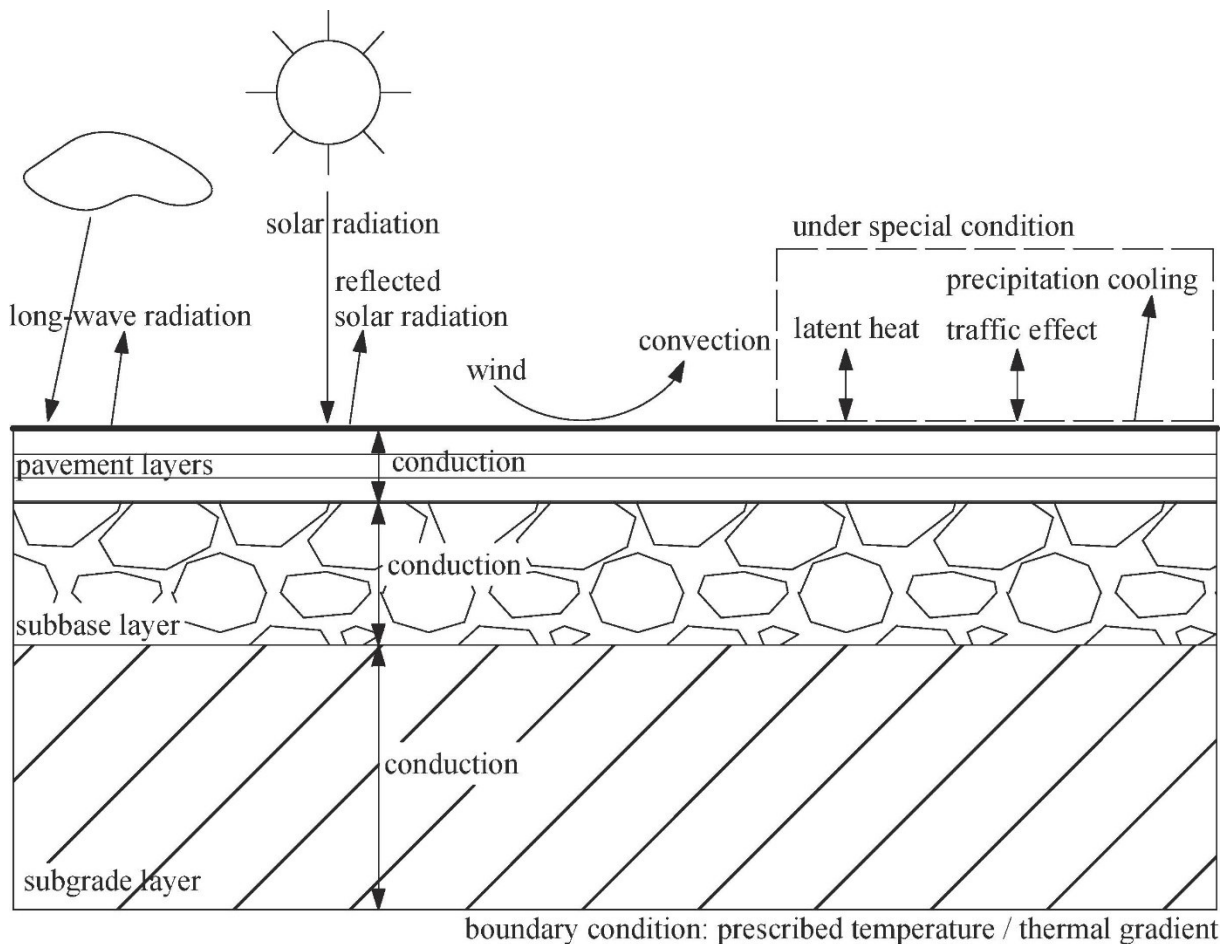


Figur 5 Nedbøyning fra fallodd som funksjon av avstand fra lastsenter for forskjellige temperaturer (Březina, Machel og Zavřel, 2022)

2.4.1 Estimering av dekketemperatur

Temperaturen i veidekket er i kontinuerlig endring og dette kan beskrives ved hjelp av varmeoverføringsteori. De tre dominerende formene for varmeoverføring er ledning, stråling og konveksjon. Varme ledes mellom dekket og de dypere lagene i veikonstruksjonen, vind sørger for konveksjon mellom overflaten og lufta, og overflaten absorberer kortbølget stråling fra sola, langbølget stråling fra trær, skyer og omgivelser, i

tillegg til å også avgi langbølget stråling til omgivelsene (Chen, Wang og Xie, 2019). I spesielle situasjoner kan også temperaturen påvirkes av nedbør som lander på veien, faseovergang for materiale på veien (smelting/frysing, fordamping) eller avrenning av materiale. Figur 6 viser en skisse av varmestrømmene i veioverbygningen.



Figur 6 Skisse av varmestrømmene i veioverbygningen (Chen, Wang og Xie, 2019)

Når man skal gjøre temperaturkorleksjon av en nedbøyningsmåling er det viktig å være bevisst på hvilken temperatur man benytter. Den kontinuerlige endringen av temperatur fører til at det blir en temperaturgradient gjennom dekket og man kan derfor ikke bare benytte overflatetemperaturen. Den sikreste måten å finne en representativ dekketemperatur på er å bore et hull og måle temperaturen midt i dekket, men dette krever både tid og utstyr. Utstyret er relativt billig og enkelt og få tak i (drill, bor og termometer), men det er den ekstra tidsbruken som gjør det upraktisk å gjennomføre. Når hullet bores øker temperaturen kraftig, slik at man er nødt til å vente til temperaturen synker ned til sitt naturlige nivå igjen før temperaturen måles. Totalt kan denne prosessen ta opptil 20-30 minutter per punkt. Dette er for lang tid til at det enkelt kan kombineres med falloddsmålinger, og i forbindelse med Raptor er det enda mindre aktuelt.

For å unngå dette problemet er det derfor utviklet en rekke modeller for å estimere temperaturen i dekket en viss avstand under overflaten. Modellene kan grovt sett deles i to kategorier, teoretiske og empiriske (Chen, Wang og Xie, 2019). De teoretiske modellene

tar sikte på å holde styr på alle varmestrømmer inn og ut av veidekket og på den måten beregne temperaturen i dekket. Dette gjøres ved å løse den generelle partielle differensiallikningen for varmestrøm i én-dimensjonal form:

$$\frac{k_i}{\rho_i \cdot c_i} \cdot \frac{\partial^2 T_i(x, t)}{\partial x^2} = \frac{\partial T_i(x, t)}{\partial t}$$

(Chen, Wang og Xie, 2019)

| | |
|---------------|---------------------------------|
| $T_i(x, t)$: | temperaturfelt, lag i |
| x : | posisjon |
| t : | tid |
| k_i : | varmeledningsevne, lag i |
| ρ_i : | tetthet, lag i |
| c_i : | spesifikk varmekapasitet, lag i |

Likningen kan løses enten analytisk eller numerisk. Generelt for de teoretiske metodene er at de ofte krever veldig mange inputparametere for å fungere og at de fort kan bli kompliserte å bruke. Typiske inputparametere kan være for eksempel: breddegrad, dag i året, klokkeslett, soloppgangsvinkel, vindhastighet, overflatens albedo og emissivitet (Diefenderfer, Al-Qadi og Diefenderfer, 2006), (Hermansson, 2000).

De empiriske modellene er som regel basert på statistisk analyse av datasett fra forsøk som er gjennomført (Chen, Wang og Xie, 2019). Disse modellene forsøker ikke å gi et matematisk eksakt svar, men gir heller en forenklet sammenheng mellom dekketemperaturen og de påvirkende faktorene. Det finnes flere forskjellige typer også av disse, der hovedkategoriene er lineære regresjonsmodeller, ikke-lineære regresjonsmodeller og nevralt nettverk. De aller fleste er enten lineære eller ikke-lineære regresjonsmodeller. Fordelen med disse er at de ofte krever lite input og er enkle i bruk, men ulempen er at de gjør en kraftig forenkling av hvordan temperaturen i dekket varierer over tid. Noen ikke-lineære modeller bruker en sinuskurve for å beskrive variasjonen av temperatur over et døgn. Typiske inputparametere for regresjonsmodeller kan være for eksempel: overflatetemperatur, lufttemperatur, klokkeslett og temperatur en periode i forveien for målingen (Kassem *et al.*, 2020).

2.4.2 Korreksjon av nedbøyninger

Den vanligste måten å korrigere nedbøyninger på er å multiplisere nedbøyningsverdien med en korreksjonsfaktor. Det finnes flere ulike modeller som gir korreksjonsfaktorer. De fleste er basert på statistiske analyser av gjennomførte testforsøk.

En teoretisk unøyaktighet med å korrigere nedbøyninger direkte er at det er ikke bare de temperaturavhengige materialene som bestemmer nedbøyningen. Den målte nedbøyningsverdien er en samlet respons fra hele veioverbygningen og undergrunnen, og store deler av disse materialene endrer ikke stivhet ved temperaturvariasjoner (Xiao *et al.*, 2020). Dermed korrigerer man en større del av konstruksjonen enn det som faktisk endrer seg. Dette gjør at korreksjonsmodellene, spesielt de rent empiriske, har en tendens til å bli relativt stedsavhengige. Det er mulig å komme fram til gode korreksjonsmodeller som gir god statistisk signifikans på enkelte teststrekninger eller områder, men som ikke vil

oppnå på langt nær like bra resultater dersom de samme modellene benyttes på andre strekninger.

Det finnes flere tilnærminger for å prøve å gjøre korreksjonsmodellene mindre stedsavhengige. En måte er å bruke forskjellige korreksjonsfaktorer på nedbøyninger med forskjellig avstand fra lastsenter. Veidekket har størst påvirkning på nedbøyningen nærme lastsenter, så ved å redusere korreksjonsfaktoren lenger unna lastsenter vil dette gi en mer korrekt korreksjon av formen på nedbøyningsbassenget enn å bruke en konstant faktor for alle målte nedbøyninger (Březina, Machel og Zavřel, 2022). En fare ved denne metoden er imidlertid at det ved små opprinnelige nedbøyninger kan skje at man får en korrigeret d_0 som er mindre enn korrigeret d_{200} , noe som ikke er realistisk og som vil skape problemer ved beregning av bæreevne.

2.4.3 Korreksjon av E-moduler

I en normal veioverbygning er det kun de bitumenstabiliserte lagene som har en temperaturavhengig stivhet, det vil si slitelag, bindlag og bærelag av asfalt (Park, Buch og Chatti, 2001). Dermed er det også kun E-modulen til disse lagene som korrigeres ved temperaturkorreksjon. Ved korreksjonen slås som regel alle asfaltlagene sammen til ett, antatt homogent, lag.

En vanlig måte å korrigere E-modulen på er å multiplisere den målte verdien med en korreksjonsfaktor (Akbarzadeh, Bayat og R. Soleymani, 2012). Det finnes en rekke modeller som gir korreksjonsfaktorer, men i likhet med korreksjonsmodeller for nedbøyning er de fleste empiriske modeller som er utviklet fra statistiske analyser av testdata. En vanlig tilnærming er å finne en regresjonskurve for sammenhengen mellom temperatur og E-modul. Dette er ofte en eksponentiell funksjon. Deretter bestemmes korreksjonsfaktoren ved å lage en brøk med teoretisk E-modul ved måletemperatur i teller og teoretisk E-modul ved referansetemperatur i nevner.

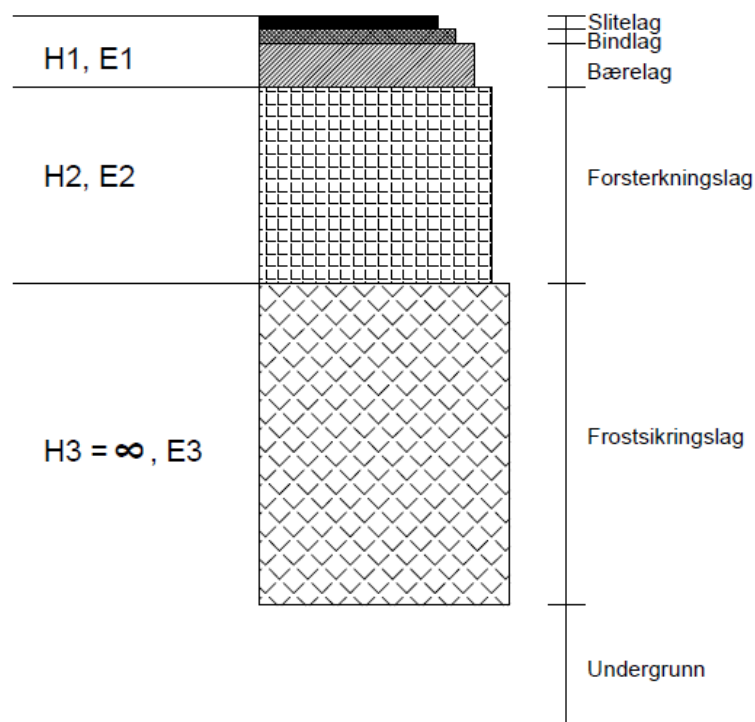
I Norge finnes det ikke noen offisiell metode for å beregne bæreevne direkte fra E-moduler. Det vil si at hvis det skal beregnes bæreevne fra korrigerede E-moduler så må det «framoverregnes» nedbøyninger fra de korrigerede E-modulene, som så kan puttes inn i bæreevneformelen for fallodd. Dette medfører ekstra beregningssteg som igjen kan føre til større usikkerhet i sluttresultatet, sammenlignet med direkte korreksjon av nedbøyningene.

2.5 Etterregning av E-moduler

For å kunne korrigere og analysere E-moduler i veioverbygningen må disse først etterregnes fra nedbøyningsdata. Nødvendig inputdata i etterregningen er nedbøyningsverdier i flere avstander fra lastsenter, kontaktspenning, radius på kontaktflaten og lagtykkelser i veioverbygningen.

For å gjennomføre etterregningen må veioverbygningen deles inn i et passende antall lag. For å oppnå god nøyaktighet i beregningene bør det ifølge Umberto Pinori, senior veiingeniør i Dynatest (opplæringskurs Elmod, 29. mars 22) ikke brukes mer enn 3-4 lag og som hovedregel bør E-modulen til ethvert lag være minst dobbelt så stor som E-

modulen til laget under. For å oppnå dette bør det som regel brukes en veimodell med 3 lag, med henholdsvis asfalt, forsterkningslag og undergrunn (se Figur 7). Det vil si at alle asfaltlagene slås sammen til ett (slitelag, bindlag og bærelag), alle de ubundne lagene slås sammen til ett (forsterkningslag og eventuelt bærelag og frostsikringslag) og undergrunnen behandles som ett lag med uendelig dybde. Dette er en forenkling av virkeligheten, men vil likevel gi det beste mulige resultatet. Det kan imidlertid bli problematisk dersom veien har et frostsikringslag med stor tykkelse. Ifølge Pinori vil et fallodd med belastning 50 kN ikke gi store nok nedbøyninger til at man klarer å etterregne E-moduler noe dypere enn ca. 1,5 meter med akseptabel presisjon. På veier med total overbygningstykkelse på mer enn 1,5 meter vil det derfor i praksis være tilnærmet umulig å etterregne en E-modul for undergrunnen. I disse tilfellene vil frostsikringslaget regnes som en del av undergrunnen og dermed vil dette laget få en E-modul som er relativt lik forsterkningslaget. Dette gir potensielt redusert nøyaktighet i resultatet.



Figur 7 Skisse av laginndeling for etterregning av E-moduler

Prinsippet for etterregningsprosessen er at man ved hjelp lagtykkelsene i veimodellen, den påførte kontaktspenningen og et sett med antatte E-moduler, beregner et teoretisk nedbøyningsbasseng og sammenligner dette med det målte nedbøyningsbassenget. Denne prosessen itereres frem til man finner et sett med E-moduler som gir den beste tilnærmingen til det målte nedbøyningsbassenget.

Det finnes ulike mekanistiske teorier som kan brukes for å beregne det teoretiske nedbøyningsbassenget. En mye brukt teori er Boussinesqs likninger for å beregne spenninger, tøyninger og forskyvninger i et uendelig halv-rom som ble presentert i 1885 (Dynatest, u.å.-a). Disse likningene forutsetter en vertikal punktlast på et homogent, isotropisk, lineærelastisk materiale. Vertikal nedbøyning er gitt av følgende likning i sylindriske koordinater:

$$d_z = \frac{(1+\nu)P}{2\pi RE} (2(1-\nu) + \cos^2 \theta)$$

d_z : vertikal nedbøyning
 ν : Poissons tall
 P : punktlast
 R : radius
 E : E-modul
 θ : vinkel

I mange tilfeller vil ikke materialene i grunnen oppføre seg rent lineær-elastisk. Ofte vil stivheten til materialene variere som en funksjon av største hovedspenning. En måte å beskrive ikke-linearitet på er gitt av Per Ullidtz i 1987 (Dynatest, u.å.-b) med formelen:

$$E = C \left(\frac{\sigma_1}{p_a} \right)^n$$

E : E-modul
 σ_1 : største hovedspenning fra ekstern last
 p_a : referansespenning, ofte lik 0,1 MPa (ca. 1 atm.)
 C : konstant
 n : konstant

Det er gjennom tidene utviklet mange dataprogrammer som tar hensyn til ikke-linearitet ved bruk av elementmetoden. En ulempe med dette er at det kreves mange parametere for å beskrive de komplekse forholdene mellom spenning og tøyning for ulike materialer og dette er parametere som det i praksis er vanskelig å finne. Det kreves også en betydelig mengde datakraft for å gjennomføre beregningene.

I 1949 presenterte Nils Odemark en forenklet metode som effektiviserer beregningene for veioverbygninger bestående av flere lag (Odemark, 1949). Metoden er basert på en forutsetning om at spenninger og tøyninger under et lag kun er avhengig av stivheten til laget. Det vil si at parametere som lagtykkelse og Poissons tall kan endres, men så lenge stivheten holdes uendret vil spenninger og tøyninger under laget være uendret. Metoden går ut på å transformere de ulike lagene til en «ekvivalent» tykkelse uten å påvirke spenninger og tøyninger. Metoden er derfor ofte kalt «metoden for ekvivalent tykkelse» eller forkortet MET. Det transformerte systemet er et uendelig halv-rom som Boussinesqs likninger kan brukes på. Transformasjonen er gitt ved følgende likning:

$$h_{e,n} = f \cdot \sum_{i=1}^{n-1} h_i \cdot \sqrt[3]{\frac{E_i}{E_n}}$$

$h_{e,n}$: ekvivalent tykkelse av de øverste n-1 lagene
 n : antall lag
 h_i : tykkelse av lag i
 E_i : E-modul for lag i
 E_n : E-modul for det nederste laget
 f : korreksjonsfaktor

Odemarks metode er en forenkling av virkeligheten og er ikke matematisk korrekt. Dette er grunnen til at korreksjonsfaktoren, f, er innført, med hensikt å gi et resultat som er nærmere ren elastisitetsteori.

Både Boussinesqs likninger og Odemarks metode kan brukes på overbygninger med ikke-lineær undergrunn, ved å substituere E med E_z , som er en E-modul som funksjon av største hovedspenning (Dynatest, u.å.-b). Boussinesqs likning for nedbøyning i sentrum under en punktlast blir dermed:

$$d_z = \frac{(1 + \nu)(3 - 2\nu)P}{2\pi \cdot z(1 - 2n)E_z}$$

d_z : vertikal nedbøyning
 ν : Poissons tall
 P : punktlast
 z : dybde
 E : E-modul
 n : konstant

Odemarks metode for overbygning på ikke-lineær undergrunn er gitt ved:

$$h_{e,m} = \left(f^3 \cdot (h_{e,m-1} \cdot h_{m-1})^3 \cdot \frac{E_{m-1}}{(1 - 2n) \cdot C \cdot \left(\frac{3P}{2\pi p}\right)^n} \right)^{\frac{1}{3-2n}}$$

$h_{e,m}$: ekvivalent tykkelse av lagene i overbygningen
 m : antall lag
 $h_{e,m-1}$: ekvivalent tykkelse av lag m-1
 h_{m-1} : tykkelse av lag m-1
 E_{m-1} : E-modul for lag m-1
 P : punktlast
 p : referansespenning
 f : korreksjonsfaktor
 C : konstant
 n : konstant

Konstantene C og n er de samme som i Ullidtzs beskrivelse av ikke-linearitet.

3 Relevante modeller

I dette kapitlet presenteres modellene som har blitt funnet gjennom litteraturrevisjonen og som er aktuelle for videre testing. Modellene som ikke har navn fra før har blitt oppkalt etter første forfatter av artikkelen der modellen blir presentert. Hvis en forfatter har korreksjonsmodeller for både nedbøyninger og E-moduler blir de skilt ved å legge til henholdsvis $_n$ og $_e$. Til slutt presenteres formelen som Statens Vegvesen bruker til temperaturkalibrering av bæreevne i dag.

3.1 Modeller for estimering av dekketemperatur

3.1.1 BELLS

BELLS-modellen er oppkalt etter de 4 forfatterne som var med på å utvikle modellen, Baltzer, Ertman-Larsen, Lukanen og Stubstad (Stubstad *et al.*, 1994). Modellen ble utviklet i 1994 i forbindelse med LTPP-programmet i Amerika (Long Term Pavement Performance). BELLS er en ikke-lineær regresjonsmodell som bruker en sinuskurve for å ta hensyn til temperaturvariasjoner i løpet av en dag. Input i modellen er overflatetemperatur ved måling, klokkeslett og gjennomsnittlig lufttemperatur for de foregående 5 dagene før målingen. Kravet til lufttemperatur 5 dager i forveien gjør at man er avhengig enten av at det er en klimastasjon i området eller av å gjøre egne målinger i forkant.

$$T_d = 2,8 + 0,894 \cdot t_o + (\log_{10}(d) - 1,5) \cdot (-0,54 \cdot t_o + 0,77 \cdot t_{5d} + 3,763 \cdot \sin(2\pi \cdot (kl - 18)/24)) + (\sin(2\pi \cdot (kl - 14)/24)) \cdot (0,474 + 0,031 \cdot t_o)$$

(Lukanen *et al.*, 2000)

| | |
|------------|--|
| T_d : | temperatur ved dybde d [°C] |
| t_o : | overflatetemperatur [°C] |
| d : | dybde [mm] |
| t_{5d} : | gjennomsnittlig lufttemperatur foregående 5 dager [°C] |
| kl : | klokkeslett på desimalform |

3.1.2 BELLS2

BELLS2 er en videreutvikling av BELLS-modellen (Lukanen *et al.*, 2000). Den største forbedringen sammenlignet med den første versjonen er at nå brukes gjennomsnittlig lufttemperatur for én dag i forveien i stedet for 5 dager i forveien. Sinuskurven er også endret slik at den ikke lenger varierer over 24 timer, men over 18 timer, og med en flat periode på 6 timer. Det ble også oppdaget at under målingene som ligger til grunn for modellen, ble veioverflaten skygget for av målebilen i 6 minutter før registrering av overflatetemperatur. Dette ble kompensert for ved et tillegg i den målte

overflatetemperaturen, avhengig av været ved måling. Totalt sett ble resultatet en ny modell på samme form som den opprinnelige modellen, men med nye koeffisienter (og litt nytt system for håndtering av tid). Modellen er ment for å brukes i sammenheng med LTPP-målinger, der prosedyren fører til at målebilen blir stående stille lenger enn vanlig på hvert målepunkt.

$$T_d = 2,78 + 0,912 \cdot t_o + (\log_{10}(d) - 1,25) \cdot (-0,428 \cdot t_o + 0,553 \cdot t_{1d} + 2,63 \cdot \sin(2\pi \cdot (kl_{18} - 15,5)/18)) + 0,027 \cdot t_o \cdot \sin(2\pi \cdot (kl_{18} - 13,5)/18)$$

(Lukanen *et al.*, 2000)

T_d : temperatur ved dybde d [°C]
 t_o : overflatetemperatur [°C]
 d : dybde [mm]
 t_{1d} : gjennomsnittlig lufttemperatur foregående dag [°C]
 kl_{18} : klokkeslett på desimalform, i 18-timerssystem

Systemet for håndtering av tid i modellen er ganske komplisert. Dette er grundig forklart av forfatterne i kilden (Lukanen *et al.*, 2000).

3.1.3 BELLS3

BELLS3 er veldig lik BELLS2, men er ment for å brukes ved vanlig rutinetesting (Lukanen *et al.*, 2000). Forskjellen kommer fra hvordan det kompenseres for skyggingen av overflaten før måling av overflatetemperatur. Resultatet er nye koeffisienter i modellen, utover dette er BELLS3 lik BELLS2.

$$T_d = 0,95 + 0,892 \cdot t_o + (\log_{10}(d) - 1,25) \cdot (-0,448 \cdot t_o + 0,621 \cdot t_{1d} + 1,83 \cdot \sin(2\pi \cdot (kl_{18} - 15,5)/18)) + 0,042 \cdot t_o \cdot \sin(2\pi \cdot (kl_{18} - 13,5)/18)$$

(Lukanen *et al.*, 2000)

T_d : temperatur ved dybde d [°C]
 t_o : overflatetemperatur [°C]
 d : dybde [mm]
 t_{1d} : gjennomsnittlig lufttemperatur foregående dag [°C]
 kl_{18} : klokkeslett på desimalform, i 18-timerssystem

3.1.4 Zheng

Zheng er en lineær regresjonsmodell som er utviklet basert på testdata fra Kina (Zheng, Zhang og Liu, 2017). Under forsøkene ble det samlet inn temperaturdata i dybde 20 mm, 35 mm, 70 mm og 250 mm, i tillegg til lufttemperatur, kontinuerlig over ett år. Det ble utarbeidet regresjonslikninger for hver enkelt dybde, som så igjen ble satt sammen til en likning som kan estimere temperatur ved en valgfri dybde i dekket. Maks dekketykkelse

for modellen er satt til 250 mm. Den eneste inputen som brukes er lufttemperatur ved måling. I tillegg til dette trenger modellen også å vite om dekket er under oppvarming, avkjøling eller nøytralt når målingen finner sted, ettersom den bruker forskjellige funksjonsuttrykk ved disse situasjonene for å ta hensyn til variasjoner gjennom dagen.

$$T_{heating} = 1,1703 \cdot t_l - 0,5053 \cdot d + 3,5514$$

$$T_{cooling} = 1,0852 \cdot t_l - 0,0684 \cdot d + 4,2900$$

$$T = 1,1181 \cdot t_l - 0,2258 \cdot d + 4,1076$$

(Zheng, Zhang og Liu, 2017)

T: temperatur ved dybde d [°C]
 t_l: lufttemperatur [°C]
 d: dybde [mm]

3.1.5 Lai

Lai er en ikke-lineær regresjonsmodell som er utviklet basert på testdata fra Taiwan (Lai, Liu og Huang, 2020). Det ble bygget egne teststrekninger til forsøkene hvor temperaturen har blitt nøye overvåket over en periode på ett år. Høyeste og laveste registrerte temperatur i perioden er henholdsvis 6°C og 37 °C (lufttemperatur). Det ble deretter gjennomført regresjon på testdataene som ga koeffisienter til en modell basert på en sinuskurve som svinger med en periode på ca. 24 timer. Input i modellen er klokkeslett og lufttemperatur én time før målingen. Grunnen til at de benyttes lufttemperatur én time før målingen er for å ta hensyn til forsinkelsen i varmestrømmen ned gjennom asfalten.

$$T_d = (-0,11 \cdot \ln(d) + 1,6) \cdot t_{1t} - (2,65 \cdot \ln(d) - 6,12) \cdot \sin\left(6,564 \cdot \frac{kl}{24}\right) + 2,02 \cdot \ln(d) - 4,14$$

(Lai, Liu og Huang, 2020)

T_d: temperatur ved dybde d [°C]
 d: dybde [cm]
 t_{1t}: lufttemperatur én time før måling [°C]
 kl: klokkeslett på desimalform

3.1.6 D_Park

Park er en ikke-lineær regresjonsmodell som er utviklet basert på testdata fra Michigan, USA (Park, Buch og Chatti, 2001). Dataene som ble brukt til å utvikle modellen hadde et temperaturspenn fra 19°C til 43°C (overflatetemperatur), men modellen har blitt validert med målinger i temperaturspennet -28,4°C til 53,7°C. Under utviklingen av modellen ble det lagt vekt på at den skulle være enkel å bruke og ikke kreve input som er vanskelig å skaffe. Input som kreves er klokkeslett for testing og overflatetemperatur.

$$T_d = t_o + (-0,3451 \cdot d - 0,0432 \cdot d^2 + 0,00196 \cdot d^3) \cdot \sin\left(-6,3252 \cdot \frac{kl}{24} + 5,0967\right)$$

(Park, Buch og Chatti, 2001)

T_d : temperatur ved dybde d [°C]
 d : dybde [cm]
 t_o : overflatetemperatur [°C]
 kl : klokkeslett på desimalform

3.1.7 Huber

Huber er en lineær regresjonsmodell utviklet i USA. Forsøk på å få tak i den originale artikkelen fra 1994 som presenterer modellen har ikke lyktes, men det er funnet en annen, nyere artikkel som viser bruk av modellen (Gedafa, Hossain og Romanoschi, 2013). Input i modellen er kun overflatetemperatur. Modellen er utviklet for amerikanske enheter, så det må gjøres en konvertering for å bruke standard SI-enheter.

$$T_d = t_o \cdot (1 - 0,063 \cdot d + 0,007 \cdot d^2 - 0,0004 \cdot d^3)$$

(Gedafa, Hossain og Romanoschi, 2013)

T_d : temperatur ved dybde d [°F]
 d : dybde [inches]
 t_o : overflatetemperatur [°F]

3.1.8 Idaho 7-term

Idaho 7-term er en ikke-lineær regresjonsmodell som er utviklet basert på testdata fra Idaho, USA (Kassem *et al.*, 2020). Modellen har mange likhetstrekk med BELLS2, blant annet bruk av gjennomsnittstemperaturen fra dagen før og hvordan tidspunkt håndteres i sinusfunksjonene. Datasettet som har blitt brukt til utvikling av modellen har et temperaturspenn på ca. 0°C til 55 °C. Input i modellen er overflatetemperatur, klokkeslett og gjennomsnittlig lufttemperatur dagen før måling.

$$T_d = 1,7569 + 2,6607 \cdot t_o - 1,1392 \cdot t_{1d} - 3,9043 \cdot \sin(2\pi \cdot (kl_{18} - 13,5)/18) + 3,6932 \cdot \sin(2\pi \cdot (kl_{18} - 15,5)/18) - 0,9829 \cdot t_o \cdot \log_{10}(d) + 0,0901 \cdot t_o \cdot \sin(2\pi \cdot (kl_{18} - 13,5)/18) + 0,7303 \cdot t_{1d} \cdot \log_{10}(d)$$

(Kassem *et al.*, 2020)

T_d : temperatur ved dybde d [°C]
 t_o : overflatetemperatur [°C]
 d : dybde [mm]
 t_{1d} : gjennomsnittlig lufttemperatur foregående dag [°C]
 kl_{18} : klokkeslett på desimalform, i 18-timerssystem

3.1.9 BELLS2 kalibrert

BELLS2 kalibrert er helt lik som BELLS2, bortsett fra at koeffisientene i modellen har blitt kalibrert med ny data fra Idaho, USA (Kassem *et al.*, 2020). Temperaturspennet på disse nye dataene er ca. 0°C til 55 °C.

$$T_d = 1,5008 + 1,2919 \cdot t_o + (\log_{10}(d) - 1,25) \cdot (-0,875 \cdot t_o + 0,53 \cdot t_{1d} + 1,4128 \cdot \sin(2\pi \cdot (kl_{18} - 15,5)/18)) + 0,0447 \cdot t_o \cdot \sin(2\pi \cdot (kl_{18} - 13,5)/18)$$

(Kassem *et al.*, 2020)

T_d : temperatur ved dybde d [°C]
 t_o : overflatetemperatur [°C]
 d : dybde [mm]
 t_{1d} : gjennomsnittlig lufttemperatur foregående dag [°C]
 kl_{18} : klokkeslett på desimalform, i 18-timerssystem

3.1.10 Fernando

Fernando er en ikke-lineær regresjonsmodell som er utviklet basert på testdata fra Texas, USA (Fernando, Liu og Ryu, 2001). Dette er også en variant som har mye til felles med BELLS2, blant annet bruk av gjennomsnittstemperaturen fra dagen før og hvordan tidspunkt håndteres i sinusfunksjonene. Her er imidlertid sinusfunksjonene opphøyd i 2, i motsetning til BELLS2. Temperaturspennet på datasettet som er brukt er ca. 0°C til 55 °C. Input i modellen er overflatetemperatur, klokkeslett og gjennomsnittlig lufttemperatur dagen før måling.

$$T_d = 6,46 + 0,199 \cdot (t_o + 2)^{1,5} + \log_{10}(d) \cdot (-0,083 \cdot (t_o + 2)^{1,5} - 0,692 \cdot \sin^2(2\pi \cdot (kl_{18} - 15,5)/18) + 1,875 \cdot \sin^2(2\pi \cdot (kl_{18} - 13,5)/18) + 0,059 \cdot (t_{1d} + 6)^{1,5}) - 6,784 \cdot \sin^2(2\pi \cdot (kl_{18} - 15,5)/18) \cdot \sin^2(2\pi \cdot (kl_{18} - 13,5)/18)$$

(Fernando, Liu og Ryu, 2001)

T_d : temperatur ved dybde d [°C]
 t_o : overflatetemperatur [°C]
 d : dybde [mm]
 t_{1d} : gjennomsnittlig lufttemperatur foregående dag [°C]
 kl_{18} : klokkeslett på desimalform, i 18-timerssystem

3.2 Modeller for korreksjon av nedbøyninger

3.2.1 Brezina_n

Brezina_n er en empirisk korreksjonsmodell som er utviklet i Tsjekkia (Březina, Machel og Zavřel, 2022). Modellen har blitt utviklet med fallodds- og temperaturdata fra 10 teststrekninger, med et temperaturspenn på 1°C til 35°C. Falloddet som ble brukt i innsamlingen av data har geofoner i posisjonene 0, 300, 600, 900, 1200 og 1500 mm fra lastsenter. Det har blitt laget en regresjonslikning, og dermed en korreksjonsfaktor, for hver enkelt geofon. Referansetemperaturen er satt til 20°C. Input i modellen er dekketemperatur ved dybde 40 mm.

$$d_{0,20,korr} = d_{0,T} \cdot (1 + 0,017817 \cdot (20 - T))$$

$$d_{300,20,korr} = d_{300,T} \cdot (1 + 0,012116 \cdot (20 - T))$$

(Březina, Machel og Zavřel, 2022)

$d_{i,20,korr}$: korrigert nedbøyning med avstand i fra lastsenter [μm]
 $d_{i,T}$: opprinnelig nedbøyning med avstand i fra lastsenter [μm]
T: dekketemperatur i dybde 40 mm [$^{\circ}\text{C}$]

3.2.2 Pais

Pais er en mekanistisk-empirisk modell for korreksjon av nedbøyninger (Pais *et al.*, 2020). Modellen har blitt utviklet ved hjelp av både labtester og feltmålinger med fallodd. Modellen bygger på å etablere en «deflection ratio» DR, som er forholdet mellom en teoretisk nedbøyning ved 20°C og en teoretisk nedbøyning ved temperatur T. DR kan deretter multipliseres med målte nedbøyninger for å korrigere de til referansetemperaturen 20°C. Input i modellen er dekketemperatur, avstand fra lastsenter, asfalttykkelse og E-modulen til undergrunnen. Siden avstand fra lastsenter inngår i uttrykket, får man forskjellige korreksjonsfaktorer for nedbøyninger målt med forskjellig avstand til lastsenter.

$$DR = (-0,346 - 0,003957 \cdot (T - 20) \cdot r) \cdot (-0,2112 + 0,002318 \cdot (T - 20) \cdot \log_{10}(H)) \cdot (49,37 + 0,002006 \cdot (T - 20) \cdot E) \cdot (0,00008021 \cdot T^2 - 0,01342 \cdot T + 0,5136)$$

$$d_{r,20,korr} = d_{r,T} \cdot DR$$

(Pais *et al.*, 2020)

$d_{r,20,korr}$: korrigert nedbøyning med avstand r fra lastsenter [μm]
 $d_{r,T}$: opprinnelig nedbøyning med avstand r fra lastsenter [μm]
DR: Deflection Ratio (korreksjonsfaktor)
T: dekketemperatur [$^{\circ}\text{C}$]
r: avstand fra lastsenter [m]
H: asfalttykkelse [m]
E: E-modul for undergrunnen [MPa]

3.2.3 Xiao

Xiao er en empirisk modell utviklet med testdata fra Kina (Xiao *et al.*, 2020). I motsetning til de fleste andre modeller bruker denne kun overflatetemperatur som temperaturinput, og ikke noen estimert gjennomsnittstemperatur. Dette er et forenklet ledd ved bruk av modellen. Referansetemperaturen for modellen er 20°C.

$$d_{r,20,korr} = d_{r,T} \cdot \frac{4,348 - 9,307}{1 + e^{\frac{t_o - 25,281}{9,310}}} + 9,307$$

(Xiao *et al.*, 2020)

$d_{20,korr}$: korrigert nedbøyning [μm]
 d_T : opprinnelig nedbøyning [μm]
 t_o : overflatetemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

3.2.4 Zheng_n

Zheng er en empirisk modell utviklet med testdata fra Kina (Zheng, Zhang og Liu, 2017). Modellen opererer med tre forskjellige uttrykk for korreksjonsfaktor, for henholdsvis asfalttykkelse 70 mm, 150 mm og 250 mm. Korreksjonsfaktorene er kun ment å brukes på den maksimale nedbøyningen i lastsenter. Referansetemperaturen er 20°C. Input i modellen er dekketemperatur.

70 mm asfalttykkelse:

$$d_{20,korr} = d_T \cdot (-1 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,003 \cdot T + 1,11)$$

150 mm asfalttykkelse:

$$d_{20,korr} = d_T \cdot (-1 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,0086 \cdot T + 1,22)$$

250 mm asfalttykkelse:

$$d_{20,korr} = d_T \cdot (-1 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,0123 \cdot T + 1,29)$$

(Zheng, Zhang og Liu, 2017)

$d_{20,korr}$: korrigert nedbøyning [μm]
 d_T : opprinnelig nedbøyning [μm]
 T : representativ dekketemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

3.2.5 Dawson

Dawson er en empirisk korreksjonsmodell utviklet i USA (Dawson *et al.*, 2016). Dataene som er brukt er hentet fra LTPP-databasen. Modellen gir forskjellige korreksjonsfaktorer avhengig av avstanden fra lastsenter. Det er gitt regresjonskoeffisienter for avstander som tilsvarer standardplassering av geofoner på et fallodd. Referansetemperaturen til modellen er 21°C, som tilsvarer ca. 70°F. Input i modellen er kun overflatetemperatur ved måling.

$$d_{0,20,korr} = d_{0,T} \cdot (22,96 \cdot 10^{-5} \cdot t_o^2 - 0,02467 \cdot t_o + 1,419)$$

$$d_{200,20,korr} = d_{200,T} \cdot (12,04 \cdot 10^{-5} \cdot t_o^2 - 0,01483 \cdot t_o + 1,26)$$

(Dawson *et al.*, 2016)

$d_{i,20,korr}$: korrigert nedbøyning med avstand i fra lastsenter [μm]

$d_{i,T}$: opprinnelig nedbøyning med avstand i fra lastsenter [μm]

t_o : overflatetemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

3.2.6 Chen_n

Chen er en empirisk korreksjonsmodell som er utviklet med data fra Texas, USA (Chen *et al.*, 2000). Dataene som er brukt er hentet inn ved falloddsmålinger på tre forskjellige teststrekninger. Modellen gir kun én korreksjonsfaktor, som er ment å brukes på den maksimale nedbøyningen i lastsenter. Referansetemperaturen er valgfri og kan bestemmes av brukeren. Input i modellen er asfalttykkelse, ønsket referansetemperatur og dekketemperatur ved måling.

$$d_{Tref,korr} = d_T \cdot \left(\frac{1,0823^{-0,0098 \cdot H}}{0,8631} \cdot T_{ref}^{0,8316} \cdot T^{0,8419} \right)$$

(Chen *et al.*, 2000)

$d_{Tref,korr}$: korrigert nedbøyning [μm]

d_T : opprinnelig nedbøyning [μm]

H : asfalttykkelse [mm]

T_{ref} : referansetemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

T : representativ dekketemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

3.2.7 Zhang

Zhang er en empirisk korreksjonsmodell som er utviklet for bruk i New Mexico, USA (Zhang, Sonyok og Zhang, 2008). Dataene som er brukt er hentet fra LTPP-databasen og består av målinger som er gjort i New Mexico. Etersom New Mexico er stort og har varierende klima er det laget separate modeller for nord og sør i staten. Det er valgt å bruke modellen for nord, ettersom klimaet der sannsynligvis er nærmest det norske klimaet. Referansetemperaturen i modellen er 25°C . Input i modellen er asfalttykkelse, kontakttrykk ved måling, dekketemperatur og dybde ned til hvor dekketemperaturen er estimert (som regel halvparten av asfalttykkelsen).

$$d_{25,korr} = d_T \cdot \left(-0,8772 - 0,0986 \cdot \frac{T}{25} + 0,3188 \cdot \log_{10}(H) - 0,6456 \cdot \log_{10}(h) + 2,4369 \cdot \frac{p}{780} \right)$$

(Zhang, Sonyok og Zhang, 2008)

$d_{25,korr}$: korrigert nedbøyning [μm]
 d_T : opprinnelig nedbøyning [μm]
 T : representativ dekketemperatur [$^{\circ}\text{C}$]
 H : asfalttykkelse [mm]
 h : dybde til estimert dekketemperatur [mm]
 p : kontaktrykk [kPa]

3.2.8 Park_n

Park er en korreksjonsmodell som er utviklet med testdata fra North Carolina, USA (Mun Park, Kim og Park, 2002). Denne modellen opererer med en effektiv radius D_{eff} , der det antas at nedbøyninger ved større avstand enn D_{eff} fra lastsenter ikke påvirkes av temperatur. D_{eff} er en funksjon av asfalttykkelse. Selve korreksjonsmodellen gir korreksjonsfaktorer som varierer med avstand fra lastsenter, slik at man får forskjellige korreksjonsfaktorer for nedbøyninger ved forskjellige geofoner på fallodd. Referansetemperaturen til modellen er valgfri. Input i modellen er asfalttykkelse, avstand til lastsenter, referansetemperatur og dekketemperatur ved måling.

$$D_{eff} = 4,75 \cdot H - 413$$

$$d_{r,Tref,korr} = d_{r,T} \cdot 10^{-(5,47 \cdot 10^{-8} \cdot r + 4,65 \cdot 10^{-5}) \cdot H \cdot (T - T_{ref})}$$

(Mun Park, Kim og Park, 2002)

$d_{r,Tref,korr}$: korrigert nedbøyning [μm]
 $d_{r,T}$: opprinnelig nedbøyning [μm]
 r : avstand fra lastsenter [mm]
 H : asfalttykkelse [mm]
 T : representativ dekketemperatur [$^{\circ}\text{C}$]
 T_{ref} : referansetemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

3.3 Modeller for korreksjon av E-moduler

3.3.1 Brezina_e

Denne modellen ble utviklet gjennom det samme studiet som korreksjonsmodellen for nedbøyninger av samme forfatter (Březina, Machel og Zavřel, 2022). Det vil si at modellen er basert på et datagrunnlag hentet inn fra 10 teststrekninger, med et temperaturspenn på 1°C til 35°C . Referansetemperaturen til modellen er 20°C . Input i modellen er dekketemperatur ved dybde 40 mm.

$$E_{20,korr} = E_T \cdot e^{-0,0387 \cdot (20-T)}$$

(Březina, Machel og Zavřel, 2022)

$E_{20,korr}$: korrigert E-modul [MPa]
 E_T : opprinnelig E-modul [MPa]
 T : dekketemperatur i dybde 40 mm [°C]

3.3.2 Lukanen

Lukanen er en empirisk korreksjonsmodell som er utviklet i USA, basert på data fra LTPP-databasen (Lukanen *et al.*, 2000). Data fra over 26 000 nedbøyningsmålinger ble brukt under utviklingen av modellen. Modellen inneholder en koeffisient som varierer avhengig av om det blir målt i hjulspor eller midt i kjørefeltet. I denne oppgaven er det valgt å bruke verdien for hjulspor. Modellen har valgfri referansetemperatur. Input i modellen er referansetemperatur og dekketemperatur ved måling.

$$E_{T_{ref},korr} = E_T \cdot 10^{-0,0195 \cdot (T_{ref}-T)}$$

(Lukanen *et al.*, 2000)

$E_{T_{ref},korr}$: korrigert E-modul [MPa]
 E_T : opprinnelig E-modul [MPa]
 T_{ref} : referansetemperatur [°C]
 T : representativ dekketemperatur [°C]

3.3.3 Wei

Wei er en empirisk korreksjonsmodell utviklet med testdata fra Kina (Wei, Wang og Xie, 2011). Det ble gjennomført tester på 5 strekninger og regnet ut en regresjonslikning som gir sammenhengen mellom temperatur og E-modul. Modellen har valgfri referansetemperatur. Input i modellen er referansetemperatur og dekketemperatur.

$$E_{T_{ref},korr} = E_T \cdot e^{-0,0708 \cdot (T_{ref}-T)}$$

(Wei, Wang og Xie, 2011)

$E_{T_{ref},korr}$: korrigert E-modul [MPa]
 E_T : opprinnelig E-modul [MPa]
 T_{ref} : referansetemperatur [°C]
 T : representativ dekketemperatur [°C]

3.3.4 Zhou

Zhou er en empirisk korreksjonsmodell utviklet med testdata fra Kina (Zhou, 2014). Dataene er samlet inn fra 4 ulike teststrekninger i Shanghai, og har et temperaturspenn fra 11,3°C til 46,9°C. På bakgrunn av dette har gyldighetsområdet for korreksjonsmodellen

blitt satt til 10°C - 50°C. Referansetemperaturen til modellen er 20°C. Input i modellen er kun dekketemperatur.

$$E_{20,korr} = E_T \cdot e^{-0,0673 \cdot (20-T)}$$

(Zhou, 2014)

$E_{20,korr}$: korrigert E-modul [MPa]
 E_T : opprinnelig E-modul [MPa]
 T : representativ dekketemperatur [°C]

3.3.5 D_Park_e

Park er en empirisk korreksjonsmodell som er utviklet med testdata fra Michigan, USA (Park, Buch og Chatti, 2001). Modellen er utviklet gjennom den samme studien som temperaturestimeringsmodellen av forfatteren med samme navn. Artikkelen oppgir regresjonskoeffisienter for hver av de 6 teststrekningene som inngår i utviklingen av modellen. I denne oppgaven brukes gjennomsnittet av alle koeffisientene. Modellen har valgfri referansetemperatur. Input i modellen er referansetemperatur og dekketemperatur.

$$E_{T_{ref},korr} = E_T \cdot e^{-0,02008 \cdot (T_{ref}-T)}$$

(Park, Buch og Chatti, 2001)

$E_{T_{ref},korr}$: korrigert E-modul [MPa]
 E_T : opprinnelig E-modul [MPa]
 T_{ref} : referansetemperatur [°C]
 T : representativ dekketemperatur [°C]

3.3.6 Chen_e

Chen er en empirisk korreksjonsmodell utviklet med data fra Texas, USA (Chen *et al.*, 2000). Modellen er utviklet gjennom den samme studien som nedbøyningskorreksjonsmodellen av forfatteren med samme navn. Referansetemperaturen til modellen er valgfri. Input i modellen er referansetemperatur og dekketemperatur.

$$E_{T_{ref},korr} = \frac{E_T}{\left((1,8 \cdot T_{ref} + 32)^{2,4462} \cdot (1,8 \cdot T + 32)^{-2,4462} \right)}$$

(Chen *et al.*, 2000)

$E_{T_{ref},korr}$: korrigert E-modul [MPa]
 E_T : opprinnelig E-modul [MPa]
 T_{ref} : referansetemperatur [°C]
 T : representativ dekketemperatur [°C]

3.3.7 Ali

Ali er en empirisk korreksjonsmodell utviklet i USA (Ali og Lopez, 1996). Dataene som er brukt er hentet fra en utvalgt strekning fra LTPP-databasen. Modellen har valgfri referansetemperatur. Input i modellen er referansetemperatur og dekketemperat 25 mm under overflaten.

$$E_{T_{ref},korr} = E_T \cdot e^{-0,03608145 \cdot (T_{ref} - T_{25})}$$

(Ali og Lopez, 1996)

| | |
|----------------------|----------------------------------|
| $E_{T_{ref},korr}$: | korrigert E-modul [MPa] |
| E_T : | opprinnelig E-modul [MPa] |
| T_{ref} : | referansetemperatur [°C] |
| T_{25} : | dekketemperat i dybde 25 mm [°C] |

3.3.8 Paliukaite

Paliukaite er en empirisk korreksjonsmodell som er utviklet med data fra Litauen (Paliukaite og Vaitkus, 2011). Dataene har et temperaturspenn fra -11,51°C til 38,67°C. Det er satt et gyldighetsområde for modellen på dekketemperat 5°C til 30°C. Referansetemperaturen til modellen er 20°C. Input i modellen er asfalttykkelse og dekketemperat.

$$E_{20,korr} = E_T \cdot 10^{-0,000221 \cdot H^{1,0229} \cdot (20 - T)}$$

(Paliukaite og Vaitkus, 2011)

| | |
|-----------------|----------------------------------|
| $E_{20,korr}$: | korrigert E-modul [MPa] |
| E_T : | opprinnelig E-modul [MPa] |
| H: | asfalttykkelse [cm] |
| T: | representativ dekketemperat [°C] |

3.3.9 Johnson

Johnson er en korreksjonsmodell som er utledet fra teoretiske likninger (Johnson og Baus, 1992). Under utledningen er det brukt noen forenklinger som er hentet fra Asphalt Institute i USA. Den ferdige modellen er på en nokså lik form som de fleste empiriske modellene. Referansetemperaturen til modellen er valgfri. Input i modellen er referansetemperat og dekketemperat.

$$E_{T_{ref},korr} = E_T \cdot 10^{-0,0002175 \cdot (T_{ref}^{1,886} - T^{1,886})}$$

(Johnson og Baus, 1992)

| | |
|----------------------|----------------------------------|
| $E_{T_{ref},korr}$: | korrigert E-modul [MPa] |
| E_T : | opprinnelig E-modul [MPa] |
| T_{ref} : | referansetemperat [°F] |
| T: | representativ dekketemperat [°F] |

3.3.10 Chang

Chang er en empirisk korreksjonsmodell utviklet med testdata fra Taiwan (Chang *et al.*, 2002). Dataene består av 1176 falloddsmålinger fra to teststrekninger og har et temperaturspenn fra 20°C til 45°C. Referansetemperaturen til modellen er valgfri. Input i modellen er referansetemperatur og dekketemperatur.

$$E_{T_{ref},korr} = E_T \cdot 10^{-0,02822 \cdot (T_{ref} - T)}$$

(Chang *et al.*, 2002)

| | |
|----------------------|------------------------------------|
| $E_{T_{ref},korr}$: | korrigert E-modul [MPa] |
| E_T : | opprinnelig E-modul [MPa] |
| T_{ref} : | referansetemperatur [°C] |
| T: | representativ dekketemperatur [°C] |

3.3.11 Appea

Appea er en empirisk korreksjonsmodell som har blitt utviklet gjennom arbeidet med en doktorgrad ved Virginia Polytechnic Institute and State University i USA (Appea, 2003). Dataene som er brukt kommer fra prosjektet Virginia Smart Road. Referansetemperaturen til modellen er valgfri. Input i modellen er referansetemperatur og dekketemperatur.

$$E_{T_{ref},korr} = E_T \cdot e^{-0,031 \cdot (T_{ref} - T)}$$

(Appea, 2003)

| | |
|----------------------|------------------------------------|
| $E_{T_{ref},korr}$: | korrigert E-modul [MPa] |
| E_T : | opprinnelig E-modul [MPa] |
| T_{ref} : | referansetemperatur [°C] |
| T: | representativ dekketemperatur [°C] |

3.3.12 Trafikverket

Det svenske Trafikverket har en metode for temperaturkorreksjon av E-moduler som er beskrevet i dokumentet *TRVMB 114 Bearbetning av defleksjonsmåtdata, erhållna vid provbelastning av väg med FWD-apparat* (Trafikverket, 2012). Det oppgis ingen informasjon om hvordan modellen er utledet eller hva slags data som ligger til grunn. Modellen skiller seg fra andre modeller ved at den ikke gir noen korreksjonskoeffisient som multipliseres med den opprinnelige nedbøyningen, men heller bruker differansen mellom målt verdi og en teoretisk verdi for samme temperatur. Dette kan potensielt gi urealistiske resultater dersom det er stort avvik mellom målt og teoretisk verdi. Referansetemperaturen til modellen er i utgangspunktet 10°C, men denne kan velges fritt. Input i modellen er referansetemperatur og dekketemperatur.

$$E_{Tref,korr} = E_{Tref,teo} - (E_{T,teo} - E_{T,m\grave{a}lt})$$

(Trafikverket, 2012)

$E_{Tref,teo}$ og $E_{T,teo}$ beregnes med følgende formel:

$$E_{teo} = 1,79 \cdot 10^4 \cdot e^{-0,071 \cdot t}$$

| | |
|------------------------|---|
| $E_{Tref,korr}$: | korrigert E-modul [MPa] |
| $E_{Tref,teo}$: | teoretisk E-modul ved referansetemperatur [MPa] |
| $E_{T,teo}$: | teoretisk E-modul ved dekketemperatur [MPa] |
| $E_{T,m\grave{a}lt}$: | opprinnelig E-modul [MPa] |
| T_{ref} : | referansetemperatur [°C] |
| T: | representativ dekketemperatur [°C] |
| t: | temperatur [°C] |

3.3.13 Rambøll

Rambøll bruker, ifølge Stine Skov Madsen, seniorkonsulent i Rambøll (epost, 8. desember 2021), en modifisert versjon av metoden til Trafikverket til å temperaturkorrigere målinger som blir gjort med Raptor. Modifiseringen er at de har byttet ut konstanten $1,79 \cdot 10^4$ med den målte E-modulen $E_{T,m\grave{a}lt}$ i formelen for E_{teo} .

$$E_{Tref,korr} = E_{Tref,teo} - (E_{T,teo} - E_{T,m\grave{a}lt})$$

$E_{Tref,teo}$ og $E_{T,teo}$ beregnes med følgende formel:

$$E_{teo} = E_{T,m\grave{a}lt} \cdot e^{-0,071 \cdot t}$$

| | |
|------------------------|---|
| $E_{Tref,korr}$: | korrigert E-modul [MPa] |
| $E_{Tref,teo}$: | teoretisk E-modul ved referansetemperatur [MPa] |
| $E_{T,teo}$: | teoretisk E-modul ved dekketemperatur [MPa] |
| $E_{T,m\grave{a}lt}$: | opprinnelig E-modul [MPa] |
| T_{ref} : | referansetemperatur [°C] |
| T: | representativ dekketemperatur [°C] |
| t: | temperatur [°C] |

3.4 Statens Vegvesens korreksjonsformel

Statens Vegvesen har en formel som kan brukes til å temperaturkalibrere bæreevne målinger. Denne er presentert i håndbok V230 (Statens Vegvesen, 2022, s. 21) som ble utgitt i mars 2022. Formelen korrigerer den ferdig beregnede bæreevnen i tonn til en referansetemperatur på 20°C. Håndboken påpeker imidlertid at formelen gir en enkel korreksjon og at den ikke bør benyttes til å beregne en absolutt bæreevne, men heller til sammenligning av målinger gjort ved forskjellige temperaturer. Temperaturen som benyttes i formelen skal være temperaturen midt i dekket, men i praksis blir ofte overflatetemperaturen brukt, i mangel på målinger og/eller estimeringsmodeller.

$$B_{korr} = \frac{B}{1,3 - 0,015 \cdot T}$$

B_{korr} : korrigert bæreevne [tonn]
B: opprinnelig bæreevne [tonn]
T: temperatur midt i dekket [°C]

4 Metode

Dette kapitlet beskriver metoden som er brukt for å svare på problemstillingen og forskningsspørsmålene. Først er fremgangsmåten presentert i form av en punktliste, og deretter er de viktigste punktene utdypet i egne delkapitler.

4.1 Fremgangsmåte

Fremgangsmåten som er brukt for å besvare problemstillingen kan oppsummeres i følgende punktliste:

1. Litteratursøk

Det første som ble gjort var å gjennomføre et strukturert litteratursøk for å kartlegge eksisterende modeller og relevant litteratur på feltet. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 4.2. Kriteriene som ble satt for om en modell skulle inkluderes i oppgaven var:

- Gyldighet for et tilstrekkelig temperaturspekter – må være passende for norske (sommer)forhold
- Kompatibilitet med dataene som er tilgjengelige
- Mulig å implementere
- Eventuell programvare/lisens må være tilgjengelig

2. Programmere modeller

Alle de relevante modellene som ble funnet gjennom litteratursøket har blitt programmert i Python for å effektivisere databehandlingen. Dette er omtalt i kapittel 4.3.1.

3. Hente inn data fra målinger

Det har blitt samlet inn måledata fra 3 forskjellige områder og til sammen 9 forskjellige delstrekninger. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 4.4.

4. Bestemme beste temperaturestimeringsmodell

Alle modellene for estimering av dekketemperatur som ble funnet gjennom litteratursøket har blitt testet på strekninger der det er samlet inn data på både lufttemperatur, overflatetemperatur og gjennomsnittlig dekketemperatur. Modellene ble brukt til å estimere en dekketemperatur med utgangspunkt i temperaturdata innsamlet fra falloddsmålinger. Den estimerte temperaturen ble deretter sammenlignet med den målte dekketemperaturen. Avviket mellom målt og estimert temperatur beskrives ved hjelp av RMSE (beskrevet i kapittel 4.5). Modellen med lavest total RMSE-verdi blir ansett som best og denne ble brukt i videre beregninger.

5. Utføre korreksjon til referansetemperatur

Korreksjon til referansetemperatur ble gjort ved hjelp av modellene som ble funnet gjennom litteratursøket. For alle modellene med valgfri referansetemperatur ble det brukt referansetemperatur 20°C. For nedbøyninger korrigeres d_0 og d_{200} , da det er disse som inngår i bæreevneformelen. For å korrigere E-moduler ble først E-modulene etterregnet fra de målte nedbøyningene. Dette ble gjort ved hjelp av dataprogrammet ELMOD6 (omtalt i kapittel 4.3.2). Deretter ble det utført korreksjon av E1 (E-modul for bitumenstabilisert materiale), da det kun er dette laget som er temperaturavhengig. Det har blitt korrigert med alle de relevante korreksjonsmodellene på alle målingene på alle delstrekninger. På alle strekningene har representativ dekketemperatur blitt estimert ved hjelp av modellen fra punkt 4.

6. Analyse av resultater

Analysen går ut på å bestemme hvilken korreksjonsmodell som gir de beste resultatene. En optimal korreksjon under ideelle forhold vil gi den samme bæreevnen (og nedbøyninger og E-moduler) ved referansetemperatur for to målinger gjort på den samme strekningen ved forskjellige temperaturer. For hver delstrekning har det blitt sett på verdier fra to målinger som begge er korrigert til referansetemperatur med den samme korreksjonsmodellen. Fra disse korrigerede datasettene har det blitt regnet ut RMSE for å kvantifisere avviket mellom dem (beskrevet i kapittel 4.5). Jo lavere RMSE, jo bedre, ettersom datasettene optimalt sett skal være like. Dette har blitt gjentatt for alle korreksjonsmodeller og alle målinger på alle delstrekninger. Resultatet er oppsummert i tabeller og figurer der man kan se hvilken modell som har scoret best. Det er også gjort en sammenligning mot SVVs metode for temperaturkalibrering.

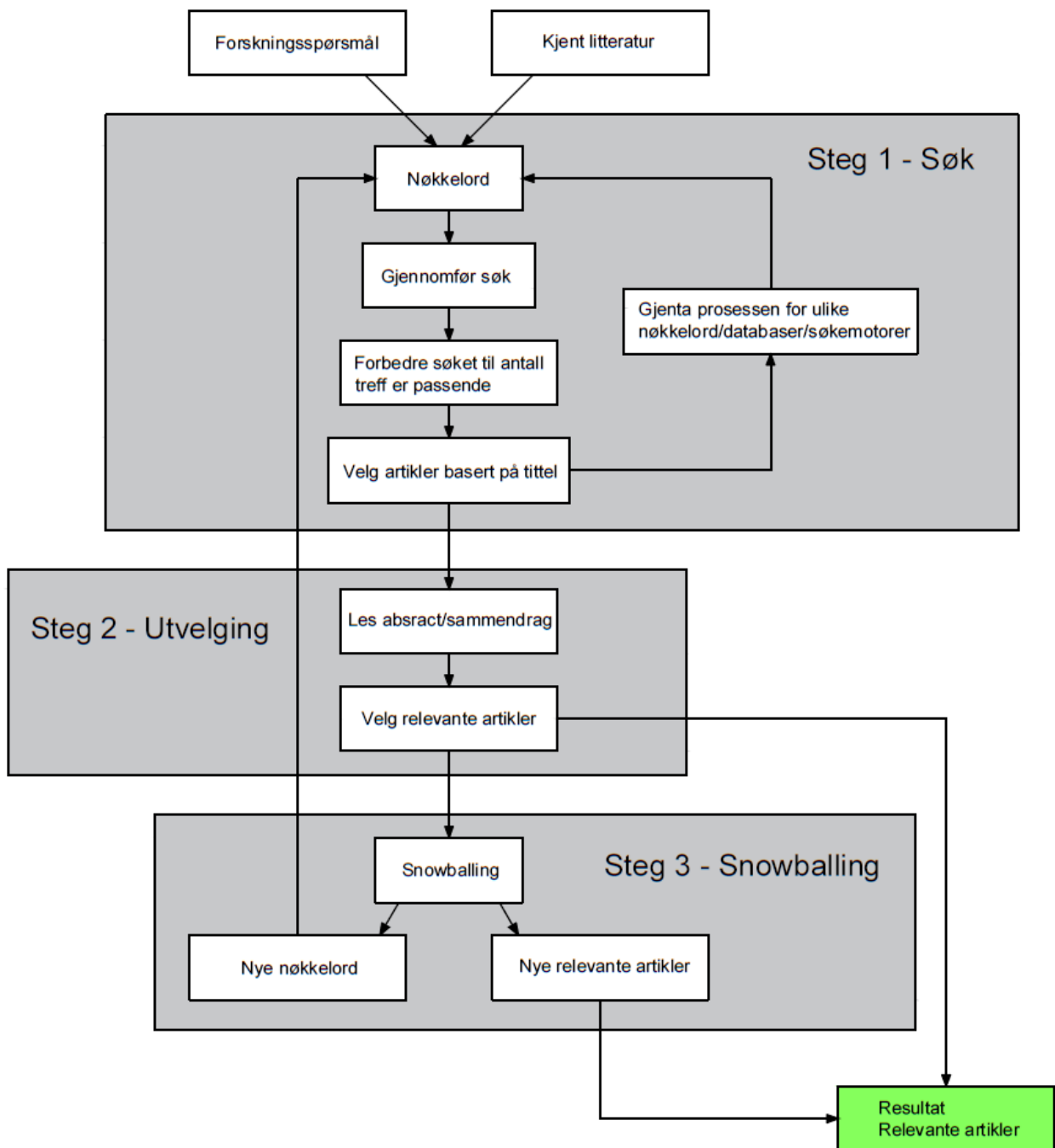
7. Konklusjon

Når det er beregnet total RMSE for hver av korreksjonsmodellene kan disse verdiene brukes til å vurdere hvilken modell som er best og dermed er bør anbefales til videre bruk. Konklusjonen består av en oversikt over temperaturestimeringsmodell, beste modell for korreksjon av nedbøyninger og beste modell for korreksjon av E-moduler. I tillegg er det antydnet hva slags videre arbeid som anbefales for å validere og bygge videre på resultatene fra denne oppgaven.

4.2 Litteratursøk

Metoden for litteratursøk tar utgangspunkt i en guide til strukturert litteraturgjennomgang for masterstudenter, utarbeidet av det Karolinska Institutet (KI) i Sverige (Karolinska Institutet, u.å.). KI er et medisinsk universitet, men metoden for litteraturgjennomgang er generell og vil også være gyldig for tekniske studier. I tillegg til litteratursøk har også teknikken «snowballing» blitt benyttet for å identifisere ytterligere relevante artikler. Snowballing går ut på at man ser igjennom referanselista til artiklene man har funnet gjennom litteratursøket og vurderer om kildene de har brukt også kan være relevante å ta med som litteratur (Wohlin, 2014). Det er også mulig å gjennomføre «forwards snowballing», som går ut på at man ser på artikler som har sitert artiklene man har funnet gjennom litteratursøket. Fremgangsmåten for litteraturinnhenting er illustrert med et flytskjema i Figur 8. Resultatet av litteraturinnhenting er dokumentert i Vedlegg 1.

Vedlegget viser alle artiklene som ble funnet og antatt relevante, men ikke alle ble brukt i oppgaven.



Figur 8 Metode for identifisering av relevant litteratur

Steg 1 av litteraturinnhenting er en iterativ prosess der man søker etter relevante artikler. Prosessen starter med å plukke ut nøkkelord fra forskningsspørsmålene og allerede kjent litteratur. Nøkkelordene kombineres deretter til søkefraser ved hjelp av boolske operatører. Disse brukes så til å søke og antall treff bestemmer neste steg. Dersom

antall treff er veldig høyt og for mye til å gå igjennom alle (> ~50), må søket avgrenses. Dette gjøres enten ved å legge til flere søkeord, avgrense hvor man ser etter søkeord (tittel/abstract/fulltekst) eller ved avgrensninger på for eksempel språk og årstall. Søket forbedres frem til det gir et passende antall treff. Deretter går man igjennom treffene og velger ut artikler som virker relevante basert på tittel. Denne prosessen gjentas for ulike kombinasjoner av nøkkelord og i forskjellige databaser og søkemotorer.

Søkemotorene som har blitt brukt er Scopus, Compendex, Oria og Google Scholar. Disse har litt forskjellige muligheter for bruk av søkestrenger og avgrensninger av søket, og vil derfor gi et godt utvalg av artikler. Google Scholar stiller høyest krav til leseren fordi det er der det er størst variasjon i kvaliteten på treffene. Felles for alle er at de gir tilgang til mange gode artikler dersom man søker på en god måte.

Steg 2 handler om å velge ut de relevante artiklene blant de som er identifisert i steg 1. Dette gjøres ved å lese abstract og eventuelt konklusjon og vurdere artikkelen opp mot satte seleksjonskriterier. Seleksjonskriteriene som benyttes er:

- Relevant tema/innhold
- Fagfellevurdert
- Språk
- Tilgjengelighet av fulltekst

Steg 3 er snowballing, der man forsøker å innhente ytterligere relevante artikler ved å gå igjennom referansene til artiklene som allerede er funnet. I Scopus, Compendex og Oria finnes det verktøy som viser alle referansene til en artikkel og alle andre artikler som har referert til den aktuelle artikkelen, noe som gjør det veldig enkelt å gjennomføre både backwards og forwards snowballing. Ved å gå igjennom alle referansene fra alle de allerede identifiserte artiklene vil man potensielt få en eksponentiell økning i antall relevante artikler. Dette blir fort et veldig stort antall som kan være vanskelig å håndtere. Erfaringen i denne sammenhengen derimot var at det ble oppdaget relativt få nye artikler gjennom snowballingen og at de fleste relevante artiklene allerede var identifisert gjennom litteratursøket.

At det oppdages få nye relevante artikler gjennom snowballingen kan sees på som et tegn på at litteratursøket har vært vellykket og fanget opp mesteparten av den relevante litteraturen. Likevel burde man optimalt sett benyttet en systematisk litteraturgjennomgang, der man fanger opp all relevant litteratur på området. Dette er en svært omfattende prosess som er mer passende for forskere og doktorkandidater (Karolinska Institutet, u.å.). For å gjennomføre en systematisk litteraturgjennomgang trenger man minst to personer og mye tilgjengelig tid. Ved å gjennomføre en strukturert litteraturgjennomgang kan man potensielt gå glipp av relevant litteratur, men med tidsrammen som er gitt for masteroppgaven er dette den mest passende tilnærmingen som reelt sett er gjennomførbar.

4.3 Dataverktøy

4.3.1 Python

Python er et programmeringsspråk som kan brukes til å løse et bredt spekter av problemer. I forbindelse med denne masteroppgaven har Python blitt brukt til å automatisere store deler av beregningene som gjøres for å kunne analysere store datamengder på kort tid. Dette gir muligheten til å raskt og enkelt kunne teste mange ulike kombinasjoner av modeller og inputdata. Programmene som har blitt laget leser inn rådata fra Excel-filer og gjør all beregning og korreksjon, før de returnerer resultatene i form av grafer og nye Excel-ark med prosessert data.

En fordel med å bruke Python til beregninger er at man skriver koden bare én gang, og dermed er sikker på å unngå skrivefeil eller tastefeil ved flere repetisjoner av de samme beregningene. Men dette fører også med seg en risiko for systematiske feil. Store feil vil gi feilkoder og fanges opp, men dersom det er en liten skrivefeil i koden vil denne feilen gjentas hver gang koden kjøres. Derfor er det lagt stor vekt på å dobbeltsjekke at alt er skrevet riktig.

4.3.2 ELMOD6

ELMOD6 er et dataprogram utviklet av Dynatest og har som hovedfunksjon å etterregne E-moduler for lagene i veikonstruksjonen med utgangspunkt i falloddsdata. Programmet har også funksjoner som kan beregne blant annet levetidskostnader, optimalt vedlikehold/rehabilitering og prosjektering av nye veioverbygninger. Teorien programmet bruker for etterregningen er beskrevet i kapittel 2.5.

I denne oppgaven har Elmod blitt brukt til etterregning av E-moduler med utgangspunkt i nedbøyningsdata fra både fallodd og Raptor. Vanligvis må det legges inn temperaturdata i Elmod slik at programmet kan gjøre en temperaturkorrigering, men det har ikke blitt gjort i dette tilfellet, ettersom poenget med oppgaven er å teste ut forskjellige modeller for nettopp temperaturkorrigering. E-modulene har derfor blitt etterregnet direkte fra rådataen, uten noen form for korreksjon. Dette fører til at den eneste informasjonen som må fylles inn i Elmod, i tillegg til filene med rådata, er lagtykkelser for veioverbygningen.

For å bruke Elmod til etterregning trenger man å ha rådata i filtypen .fwd. Alle falloddene som er brukt til datainnhenting i denne oppgaven er produsert av Dynatest og disse lager .fwd filer automatisk. Det gjør derimot ikke Raptor. Det har heller ikke lyktes å få tak i E-moduler fra Raptor gjennom Rambøll. For å etterregne E-moduler for Raptor har det derfor blitt manuelt laget egne .fwd filer. En .fwd fil kan skrives og redigeres som en vanlig tekstfil, og det har derfor vært mulig å lage et program i Python som skriver .fwd-filer. Programmet tar utgangspunkt i oppsettet fra en eksisterende .fwd-fil fra fallodd og fyller inn all relevant data fra Raptormålinger.

4.4 Datainnhenting

I denne oppgaven har det blitt brukt data fra både tidligere gjennomførte målinger og fra målinger som har blitt utført spesielt for denne oppgaven. Alle datasettene har blitt produsert av enten fallodd eller Raptor og består av blant annet nedbøyning i typiske avstander fra lastsenter, påført kraft, lufttemperatur, overflatetemperatur, klokkeslett, og posisjon. Det har etter avtale med Kim Rune Bragstad Grannes i SVV blitt gjort falloddsmålinger på Fv 704 og Fv 6612 i Trondheimsområdet våren 2022. Det har også blitt brukt data fra fallodds- og Raptormålinger gjort på Rv 36 i Telemark i 2021, som har blitt tilgjengeliggjort gjennom medveileder i SVV, Per Otto Aursand. I tillegg har det blitt brukt data fra Raptormålinger på NCAT test track i Alabama, USA i 2019. Alle dataene fra målingene er mottatt i Excel-format, i tillegg til .fwd filer som blir produsert av falloddet.

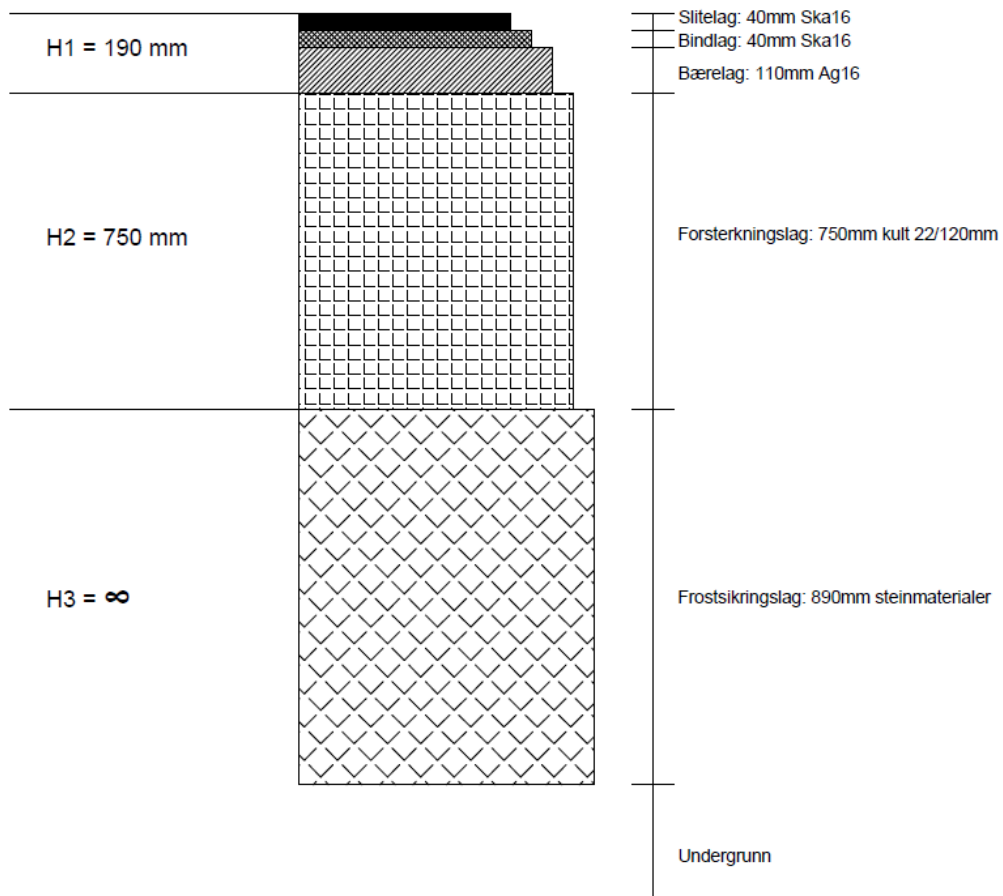
I tillegg til selve måledataene har det også blitt hentet inn noe klimadata. Noen av temperaturestimeringsmodellene trenger input i form av lufttemperaturer i en periode før måling. Disse dataene er for alle strekningene i Norge hentet fra Meteorologisk institutts klimastasjoner gjennom seklima.met.no. For strekningene i USA er klimadata hentet fra nettsiden almanac.com/weather/history/. I forbindelse med falloddsmålingene som ble gjort i Trondheimsområdet ble det også utført målinger av dekketemperatur. Det ble gjort ved at det ble boret et hull i asfalten som ble fylt med vann. Etter at temperaturen i vannet hadde fått tid til å stabilisere seg ble vanntemperaturen målt med et termometer fra målebilen. Denne målingen gir ikke dekketemperaturen i en spesiell dybde, men det antas at den gir en representativ gjennomsnittstemperatur for dekket.

4.4.1 Fv 704

På denne veien er det gjennomført to sett med falloddsmålinger, henholdsvis 22. april og 2. mai 2022. Det er målt med 20 meters intervaller på strekningen S2D1 m1200-1500. I tillegg er også gang- og sykkelveien på den samme strekningen målt. Dette gir 16 datapunkter på hver delstrekning. Klimadata for denne strekningen er hentet fra klimastasjonen Klæbu II.

S2D1 m1200-1500

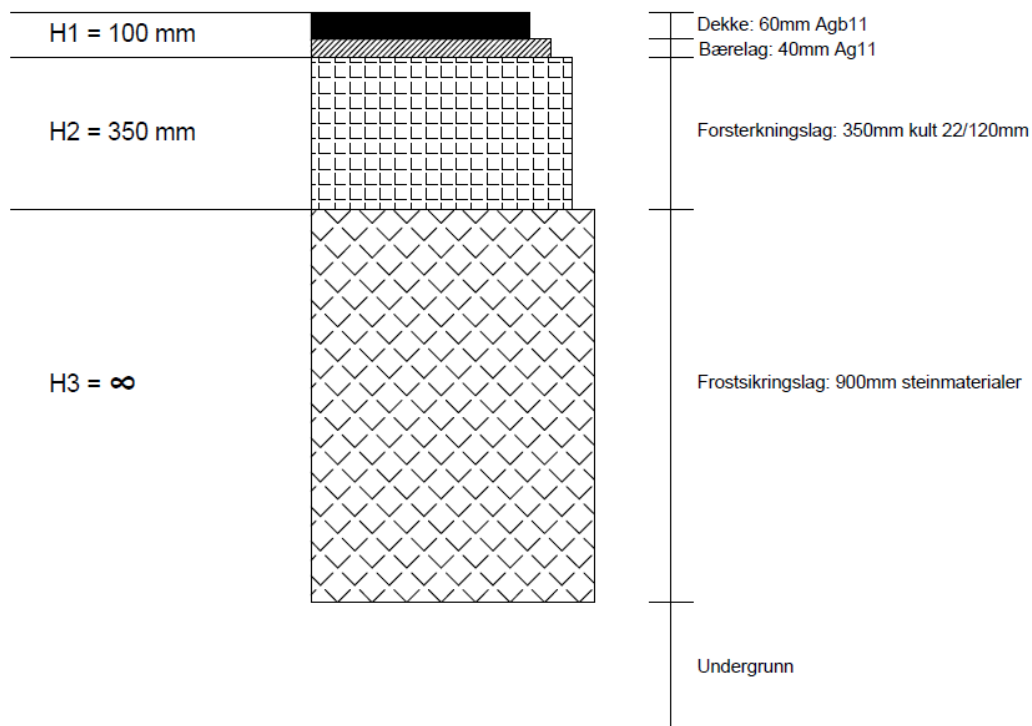
ÅDT_T på denne strekningen er 1640. Det har blitt gjennomført 3 målinger av dekketemperatur på strekningen, 2 den første måledagen og 1 den andre måledagen. Figur 9 viser et tverrprofil av veioverbygningen og inndelingen i H1, H2 og H3 som er lagtykkelsene som brukes til etterregning av E-moduler.



Figur 9 Tverrprofil for Fv 704 S2D1 m1200-1500

S2D1 m1200-1500 GS-vei

ÅDT_T på denne gang- og sykkelveien er satt til 30, som er minimumsverdien gitt i Håndbok V230 (Statens Vegvesen, 2022). Figur 10 viser et tverrprofil av veioverbygningen og inndelingen av lagtykkelsene som brukes til etterregning av E-moduler.



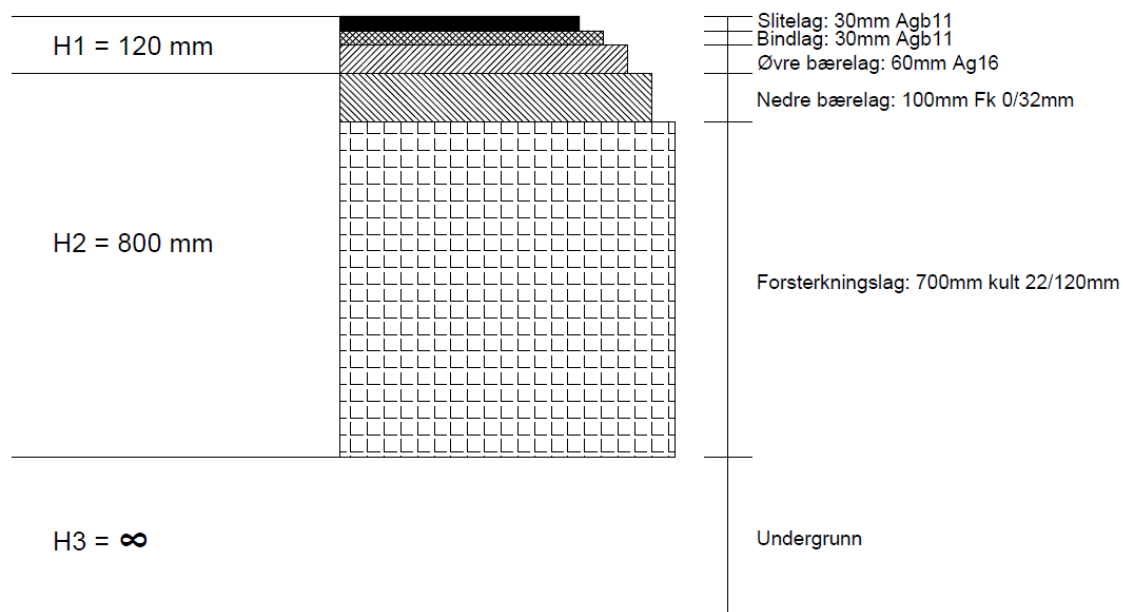
Figur 10 Tverrprofil for Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei

4.4.2 Fv 6612

På denne veien er det gjennomført to sett med falloddsmålinger, henholdsvis 22. april og 2. mai 2022. Det er målt med 20 meters intervaller på både felt 1 og felt 2 på strekningen S1D1 m7800-8100. Dette gir 16 datapunkter på hver måling. Klimadata for denne strekningen er hentet fra klimastasjonene Øysand for måling 1 og Saupstad for måling 2. Grunnen til at det er benyttet to forskjellige stasjoner er at det ikke var tilgjengelig data fra Øysand for de aktuelle datoene for måling 2.

S1D1 Felt 1 m7800-8100

λ_{DT} på strekningen er 400. Det har blitt gjennomført 2 målinger av dekketemperatur på strekningen, én hver måledag. Figur 11 viser et tverrprofil av veioverbygningen og inndelingen av lagtykkelsene som brukes til etterregning av E-moduler.



Figur 11 Tverrprofil for Fv 6612 S1D1 m7800-8100

S1D1 Felt 2 m7800-8100

ÅDT_T og tverrprofil for felt 2 er likt som for felt 1, vist i forrige avsnitt.

4.4.3 Rv 36

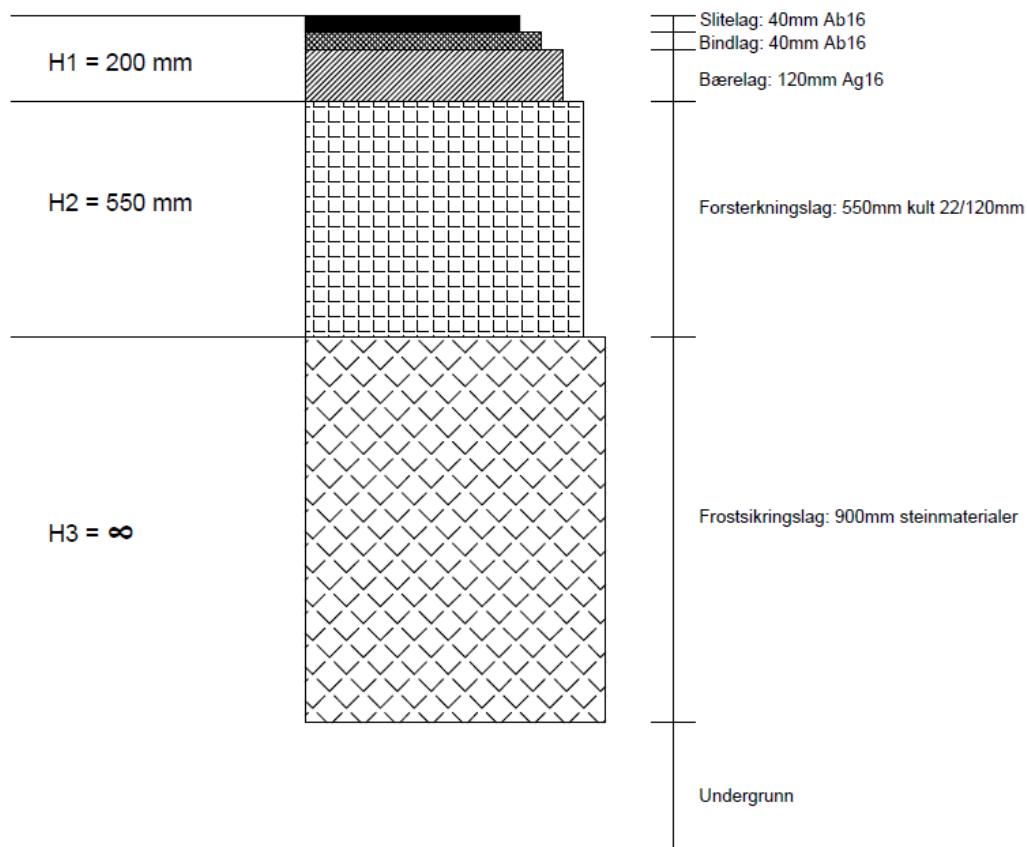
På denne veien ble det gjennomført sammenligningsmålinger mellom fallodd og Raptor den 9. september 2021. Det ble gjort målinger på 3 delstrekninger, med så lite tidsavvik som mulig mellom fallodd og Raptor for å kunne sammenligne målingene direkte mot hverandre. Dette er ugunstig med tanke på temperaturkorreksjon, ettersom målingene gjøres ved omtrent samme temperatur. De samme delstrekningene ble også målt av Raptor den 12. august 2021, men også denne dagen var temperaturene omtrent de samme som den 9. september. Det er knyttet noe usikkerhet til nøyaktigheten av temperaturdataen som er samlet inn grunnet manglende kalibrering av temperatursensoren.

En viktig forskjell mellom fallodd og Raptor er at fallodd måler punktvis hver 50. meter, mens Raptor måler kontinuerlig og leverer gjennomsnittsdata for 10-meters strekninger. Dette gjør det litt vanskelig å sammenligne målingene direkte. For å få mest mulig sammenlignbart datagrunnlag er hver 5. Raptor-verdi plukket ut, slik at man får en sammenligning mellom en punktverdi fra fallodd og en 10-meters gjennomsnittsverdi for Raptor (fremfor å bruke en gjennomsnittsverdi over 50 meter for Raptor).

S3D1 m2800-6000

Klimadata for denne delstrekningen er hentet fra stasjonen Fjærekilen og ÅDT_T på strekningen er 780. På strekningen er det to bruer, som gir mye mindre nedbøyningsverdier enn resten av veioverbygningen. Falloddet gjør ikke målinger på bruene, men Raptor måler kontinuerlig, også over bruene. Dette er løst ved at det i analysen kun er brukt Raptormålinger fra meterverdier der også falloddet har målt. Totalt er det brukt 57 datapunkter fra denne delstrekningen.

Figur 12 viser et tverrprofil av veioverbygningen og inndelingen av lagtykkelsene som brukes til etterregning av E-moduler.

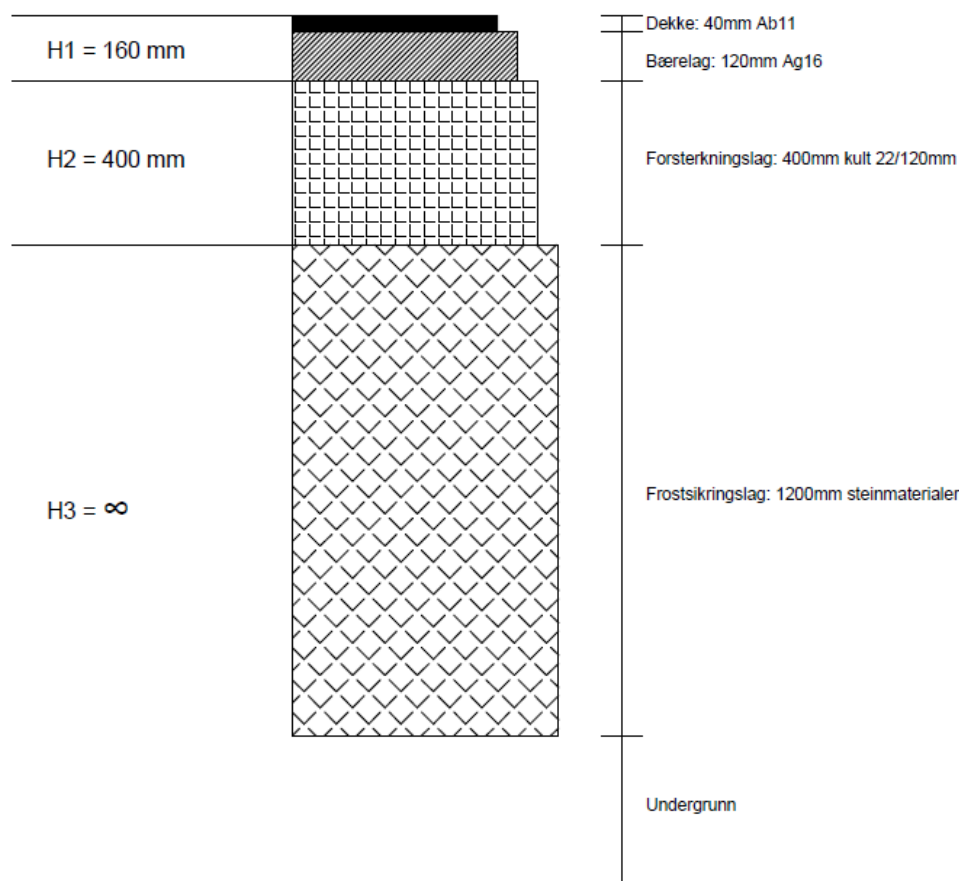


Figur 12 Tverrprofil for Rv 36 S3D1 m2800-6000

S11D1 m850-5750

Klimadata for denne delstrekningen er hentet fra stasjonen Seljord. ÅDT_T på delstrekningen er 360 og antall datapunkter er 99.

Figur 13 viser et tverrprofil av veioverbygningen og inndelingen av lagtykkelsene som brukes til etterregning av E-moduler.



Figur 13 Tverrprofil for Rv 36 S11D1 m850-5750

S12D1 m0-1850

Klimadata, ΔT_T og tverrprofil for S12D1 m0-1850 er likt som for S11D1 m850-5750, vist i forrige avsnitt.

På denne strekningen er det i tillegg til sammenligningen mellom fallodd og Raptor, også gjort en sammenligning mellom Raptormålinger fra de to forskjellige måledagene. Grunnen til at det kun er sammenlignet Raptor mot Raptor på denne delstrekningen er at temperaturforskjellen mellom målingene er svært liten på de andre delstrekningene. I denne sammenligningen er det mulig å bruke alle 10-metersverdiene fra Raptor, men også her har hver femte verdi blitt plukket ut. Dette for å redusere datamengden noe, for å få litt mindre kaos i plottene og for å unngå at resultatet vektet uforholdsmessig tungt inn i sluttresultatet, ettersom dette vektet etter antall datapunkter. Dermed blir antall datapunkter på denne delstrekningen 38 for begge sammenligningene.

4.4.4 NCAT test track

National Center for Asphalt Technology (NCAT) ved Auburn University i Alabama i USA har en oval testbane bestående av 46 seksjoner på 60 meter hver som brukes til testing av ulike typer asfalt. Hver seksjon har forskjellig overbygning med forskjellig asfalttykkelse. Dynatest gjorde målinger med Raptor på denne banen den 25. februar 2019. Dataene fra

disse målingene fulgte med i oppkjøpet til Rambøll i 2020 og Rambøll har delt dataene for bruk i denne oppgaven. Det ble gjort to målinger, den første ca. kl 09:00 og den andre ca. kl 13:00.

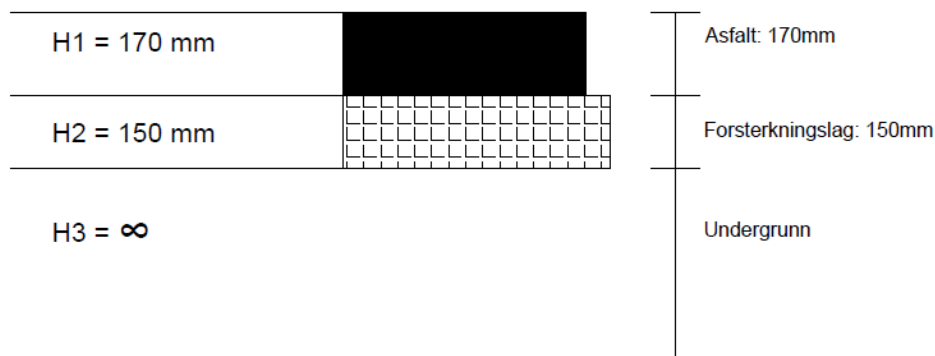
Ettersom hver seksjon av banen har forskjellig overbygning, må analysen gjøres individuelt for hver seksjon. For denne oppgaven har det blitt plukket to seksjoner for analyse, seksjon N2 og N10, begge på den nordre delen av testbanen. Disse har asfalttykkelser som er vanlige i Norge. Ettersom seksjonene bare er 60 meter lange, gir Raptor kun 6 datapunkter per seksjon.

Når målingene ble gjennomført ble det målt kontinuerlig rundt hele banen, uten at det i datasettet er spesifisert hvilke målepunkter som ligger på hvilken seksjon. Skillet mellom de ulike seksjonene har blitt funnet i etterkant ved hjelp flyfoto og koordinater i Google Maps, som har blitt sammenlignet mot GPS-koordinater fra målingene. Nedbøyningsverdiene for de ulike seksjonene har blitt vurdert opp mot overbygningene for å kontrollere at inndelingen av seksjoner er korrekt.

Ettersom målingene er gjort på en testbane uten normal trafikk finnes det ikke noe tall for ÅDT_T . Derfor har det blitt satt $\text{ÅDT}_T = 500$, for bruk i beregning av bæreevne. Klimadata for området er hentet for byen Auburn gjennom linken: www.almanac.com/weather/history/AL/Auburn/

N2

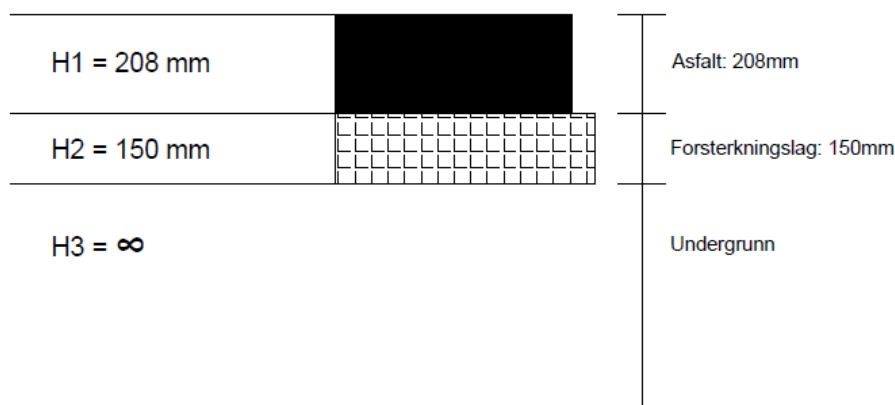
Figur 14 viser et tverrprofil av veioverbygningen og inndelingen av lagtykkelsene som brukes til etterregning av E-moduler.



Figur 14 Tverrprofil for seksjon N2 på NCAT test track

N10

Figur 15 viser et tverrprofil av veioverbygningen og inndelingen av lagtykkelsene som brukes til etterregning av E-moduler.



Figur 15 Tverrprofil for seksjon N10 på NCAT test track

4.5 Statistisk analyse

Store deler av analysen i denne oppgaven handler om å sammenligne to sett med data og beskrive avviket mellom dem. Dette har blitt gjort ved hjelp av den statistiske størrelsen Root Mean Square Error (RMSE), som beskriver standardavviket mellom verdiene. Normalt brukes RMSE for å finne avviket mellom observerte og estimerte verdier, men i dette tilfellet brukes den også for å finne differansen mellom to sett med korrigerede verdier.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{1,i} - y_{2,i})^2}$$

$y_{1,i}$: korrigert verdi fra måling 1
 $y_{2,i}$: korrigert verdi fra måling 2
 n : antall datapunkter

Det kan argumenteres for at det er mer korrekt å bruke et korrigert standardavvik med faktoren $\frac{1}{n-1}$ i stedet for $\frac{1}{n}$ ettersom datasettene som benyttes kan sees på som et utvalg av en større populasjon (en delstrekning av en lengre vei), men det er valgt å kun bruke det ukorrigerede standardavviket.

RMSE har i denne oppgaven blitt brukt til å beskrive differansen mellom korrigerede verdier av parameterne d_0 , d_{200} , d_0-d_{200} , bæreevne og E-moduler. Det har blitt regnet ut én RMSE-verdi for hver parameter for hver korreksjonsmodell på hver enkelt delstrekning. RMSE-verdiene er presentert både i tabellform og i plott. I tabellene er det brukt en fargeskala fra rødt til grønt der grønt symboliserer en god score og rødt en dårlig score. Skalaen fungerer slik at den dårligste verdien blir helt rød og den beste blir helt grønn, uavhengig av hvor bra eller dårlig korreksjonen er i forhold til de ukorrigerede verdiene. Hensikten med fargeskalaen er å hjelpe leseren til å se hvilken modell som scorer best med et kjapt overblikk. I tabeller med flere kolonner er det en egen skala for hver kolonne. Et eksempel er vist i Tabell 2.

Tabell 2 Eksempel på tabell med RMSE-verdier for flere parametere

| Modell | Eksempel RMSE | | | |
|------------|---------------|-------|------|---------|
| | d0 | d200 | B | d0-d200 |
| brezina_n | 14.85 | 11.12 | 1.3 | 5.26 |
| pais | 20.68 | 17.35 | 1.74 | 4.61 |
| xiao | 16.08 | 16.95 | 0.9 | 3.73 |
| zheng_n | 5.55 | 6.52 | 1.14 | 4.62 |
| dawson | 20.75 | 10.53 | 2.13 | 11.38 |
| zhang | 5.47 | 3.77 | 1.85 | 3.59 |
| park_n | 21.33 | 13.8 | 1.7 | 8.65 |
| ukorrigert | 14.88 | 10.19 | 2.14 | 5.91 |

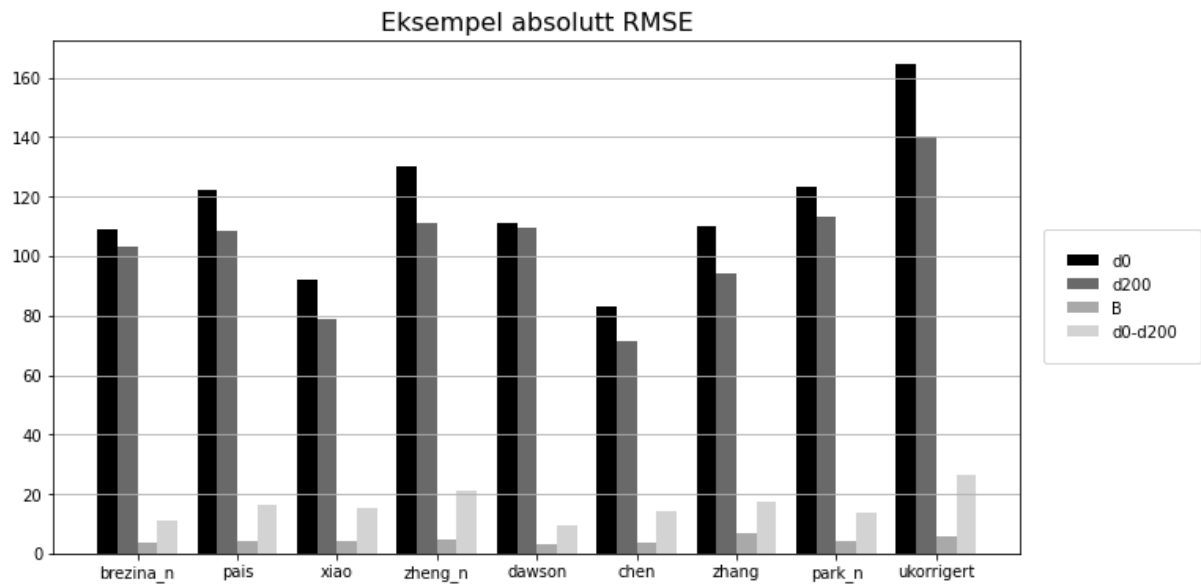
Det er laget to forskjellige typer plott av RMSE; stolpediagram med absolutte verdier og stolpediagram med relative verdier. I det absolutte stolpediagrammet plottes de utregnede RMSE-verdiene direkte. Her vil de forskjellige seriene ha forskjellige enheter på y-aksen, ettersom hva enheten fra de opprinnelige dataene er. Denne typen diagram kan brukes til å sammenligne både forskjellen mellom ulike modeller innad på den samme delstrekningen, men også forskjellen mellom ulike delstrekninger ettersom verdiene er absolutte. Det kan imidlertid være vanskelig å sammenligne ulike modeller opp mot hverandre innad på en delstrekning ettersom det kan være store forskjeller i y-verdien til de forskjellige seriene. Et eksempel på et absolutt RMSE-plott er vist i Figur 16.

I det relative stolpediagrammet plottes ikke de absolutte RMSE-verdiene, men heller avviket fra den gjennomsnittlige RMSE-verdien for den aktuelle delstrekningen. Dermed får alle seriene enheten prosent på y-aksen. Dette fører til at plottet er godt egnet til å sammenligne forskjellige modeller opp mot hverandre innad på den samme delstrekningen, men det kan ikke brukes til å sammenligne ulike delstrekninger ettersom hver delstrekning vil ha forskjellig gjennomsnittsverdi. En negativ relativ RMSE-verdi betyr at den aktuelle modellen gir et bedre resultat enn gjennomsnittet av alle modellene på den aktuelle delstrekningen. Et eksempel på et relativt RMSE-plott er vist i Figur 17.

$$\overline{RMSE} = \frac{1}{m} \sum RMSE_j$$

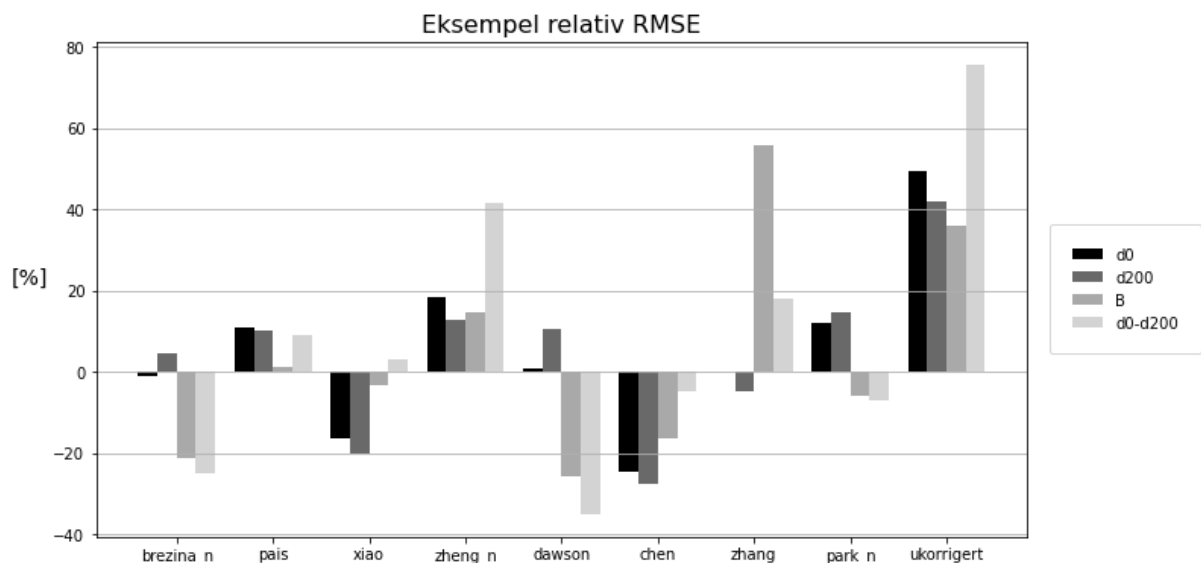
$$RMSE_{rel,j} = 100 \cdot \left(\frac{RMSE_j}{\overline{RMSE}} - 1 \right)$$

- \overline{RMSE} : gjennomsnittlig RMSE-verdi
- $RMSE_j$: RMSE-verdi for modell j
- m: antall modeller
- $RMSE_{rel,j}$: relativ RMSE-verdi for modell j [%]



Figur 16 Eksempel på plott av absolutte RMSE-verdier

RMSE-verdiene for de ukorrigerede dataene som er vist i diagrammet inngår ikke i utregningen av \overline{RMSE} .



Figur 17 Eksempel på plott av relative RMSE-verdier

For å gjøre en helhetlig vurdering av korreksjonsmodellene har det blitt regnet ut en total RMSE-verdi for hver enkelt modell der bidraget fra alle delstrekningene har blitt lagt sammen. Den totale RMSE-verdien har blitt beregnet som det vektete gjennomsnittet av variansen fra hver delstrekning.

$$RMSE_{tot,j} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum n_k \cdot RMSE_{j,k}^2}$$

| | |
|------------------|---|
| $RMSE_{tot,j}$: | sammenlagt RMSE-verdi for modell j med data fra alle delstrekninger |
| n_k : | antall datapunkter på delstrekning k |
| N : | totalt antall datapunkter |
| $RMSE_{j,k}$: | RMSE-verdi for modell j på delstrekning k |

Spesielt for korreksjon av nedbøyninger

Ved korreksjon av nedbøyninger regnes det ut en RMSE-verdi for 4 forskjellige parametere, nemlig d_0 , d_{200} , B og d_0-d_{200} . Selv om det er korreksjon av bæreevne som til slutt er hovedfokuset så er det valgt å også inkludere parameterne d_0 , d_{200} og d_0-d_{200} i analysen. Disse gir til sammen en mer komplett beskrivelse av størrelsen og formen til nedbøyningsbassenget, som er det som faktisk korrigeres når det er snakk om korreksjon av nedbøyninger.

Når det skal bestemmes hvilken korreksjonsmodell som er best, må det tas hensyn til alle disse 4 parameterne. Dette er gjort ved å regne ut gjennomsnittet av $RMSE_{rel,j}$ for hver av parameterne. Dette gir en ny parameter, her kalt A , som kan brukes til sammenligning av de ulike modellene. Jo lavere verdi, jo bedre er korreksjonen.

A kan også regnes ut fra $RMSE_{tot,j}$ på samme måte som fra $RMSE_j$ ved å først regne ut relative verdier for så å ta gjennomsnittet av disse. Denne metoden brukes for å bestemme hvilken korreksjonsmodell som er best totalt sett, når data fra alle delstrekninger inkluderes.

4.6 Modeller som krever spesiell input

Zheng

Temperaturestimeringsmodellen Zheng trenger input på om dekket er under oppvarming, nøytralt eller under avkjøling ved estimeringstidspunktet. Det finnes ingen eksakt metode for å bestemme hva som er riktig å velge, så det vil nødvendigvis bli en kvalitativ vurdering. Vurderingen vil hovedsakelig være basert på klokkeslett, men hvis man har informasjon om sol- og værforhold på det aktuelle tidspunktet så kan dette også inngå i vurderingsgrunnlaget.

Lai

Temperaturestimeringsmodellen Lai krever input om lufttemperaturen én time før måling. I teorien er dette ikke noe problem, men i praksis kan det være utfordrende å få tak i slik data. Én time er lenge nok i forveien til at det er upraktisk å måle direkte i forbindelse med

nedbøyningsmålinger. Dermed er man avhengig av klimastasjoner, og ikke alle klimastasjoner leverer data med timesoppløsning. Det vil også alltid være en viss avstand til nærmeste klimastasjon, og dermed også variasjon i lufttemperatur. Dette reduserer nøyaktigheten i dataen, og man er avhengig av å ha god nøyaktighet for at det skal ha noen nytteverdi. På bakgrunn av dette er det valgt å i denne oppgaven bruke lufttemperatur ved måling som input, i stedet for lufttemperatur én time før måling.

Brezina_n

Nedbøyningskorreksjonsmodellen Brezina_n opererer med en egen likning for korreksjonsfaktor for hver enkelt geofon. En utfordring med dette er at det ikke finnes noen korreksjonsfaktor for d_{200} , kun d_0 og d_{300} . Det er nødvendig å korrigere d_{200} ettersom denne inngår i bæreevneformelen. Dette er løst ved å regne ut en korreksjonsfaktor for d_{200} som et vektet gjennomsnitt av korreksjonsfaktorene for d_0 og d_{300} , med 1/3 vekt på faktoren for d_0 og 2/3 vekt på faktoren for d_{300} .

Pais

Nedbøyningskorreksjonsmodellen Pais krever E-modulen til undergrunnen på strekningen som input. Denne blir hentet fra resultatet av etterregningen med Elmod, ved å ta gjennomsnittet av E3 fra de to (eller 3) målingene på hver strekning.

Zheng_n

Nedbøyningskorreksjonsmodellen Zheng_n opererer med tre forskjellige likninger for korreksjonsfaktor, der hver er gyldig for en viss asfalttykkelse. I korreksjonen har det blitt brukt den som gjelder for asfalttykkelsen som er nærmest asfalttykkelsen på den aktuelle delstrekningen.

5 Resultat

Dette kapittelet presenterer resultatet av alle beregningene som er gjort. Først presenteres estimering av dekketemperaturer og hvilken estimeringsmodell som er best. Deretter presenteres korreksjon av henholdsvis nedbøyninger og E-moduler. Til slutt gjøres en sammenligning mot SVVs metode for temperaturkalibrering.

Grunnet mistanke om unøyaktige måledata er det i tillegg regnet ut et sammenlagt resultat som ekskluderer data fra Rv 36. Dette er vist i Vedlegg 4 og diskutert i kapittel 6.3 og kapittel 6.4.

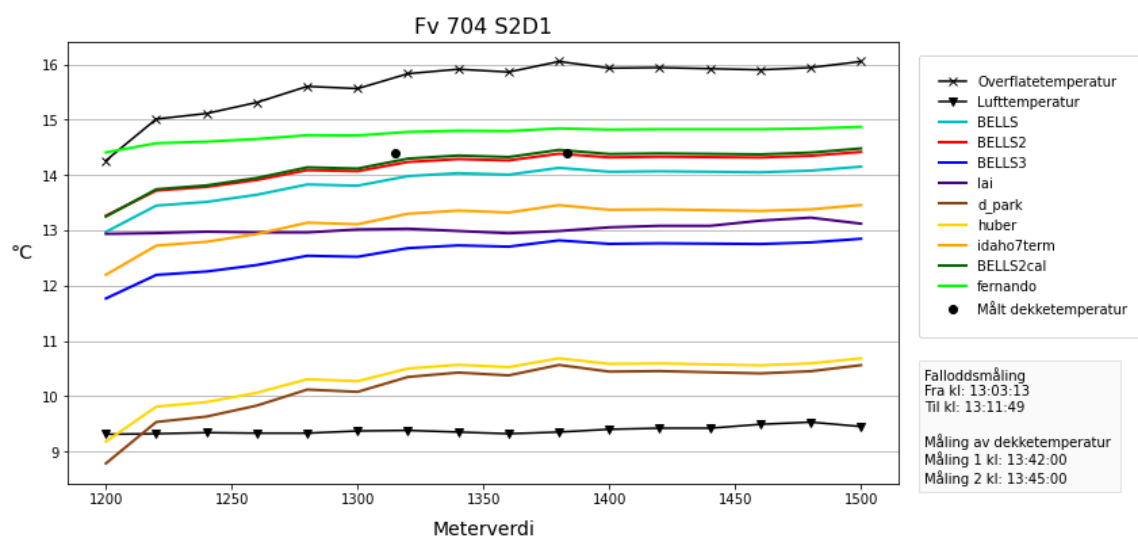
5.1 Estimering av dekketemperatur

Resultatene i dette delkapittelet er basert på temperaturmålingene som ble gjort i forbindelse med falloddsmålingene som ble utført i Trondheimsområdet våren 2022. Beregningene er basert på sammenligning av den målte dekketemperaturen og estimert dekketemperatur i det punktet med meterverdi nærmest punktet hvor dekketemperaturen ble målt. Den estimerte temperaturen er estimert i en dybde lik halve tykkelsen av asfaltlaget, da det er antatt at dette tilsvarer gjennomsnittlig dekketemperatur. Totalt er det gjort 5 målinger av dekketemperatur, fordelt på 2 ulike delstrekninger og 2 måledager.

Etter litt innledende testing viste det seg at modellen Zheng gir svært urealistiske resultater i veldig mange tilfeller. Ofte ga det best resultat å velge motsatt input av det som er realistisk. På bakgrunn av dette ble det valgt å utelate denne modellen fra videre beregninger og analyser.

Fv 704 måledag 1

Figur 18 viser et plott av målte og estimerte temperaturer på Fv 704 S2D1 den 22. april 2022.



Figur 18 Plott av målte og estimerte temperaturer på Fv 704 S2D1 den 22. april 2022

Luft- og overflatetemperaturerne som ligger til grunn for estimeringen av dekketemperatur blir målt av sensorer på falloddet i forbindelse med nedbøyningsmålingene. Målingene av den faktiske dekketemperaturen blir gjort enten før eller etter at falloddsmålingene er ferdig. Dermed vil det være en tidsdifferanse mellom den målte og den estimerte dekketemperaturen. I dette tilfellet er tidsdifferansen som følger:

Måling 1: 35 min
Måling 2: 36 min

Tabell 3 viser verdier for målte og estimerte temperaturer, i tillegg til RMSE for hver modell fra målingene på Fv 704 S2D1 den 22. april 2022.

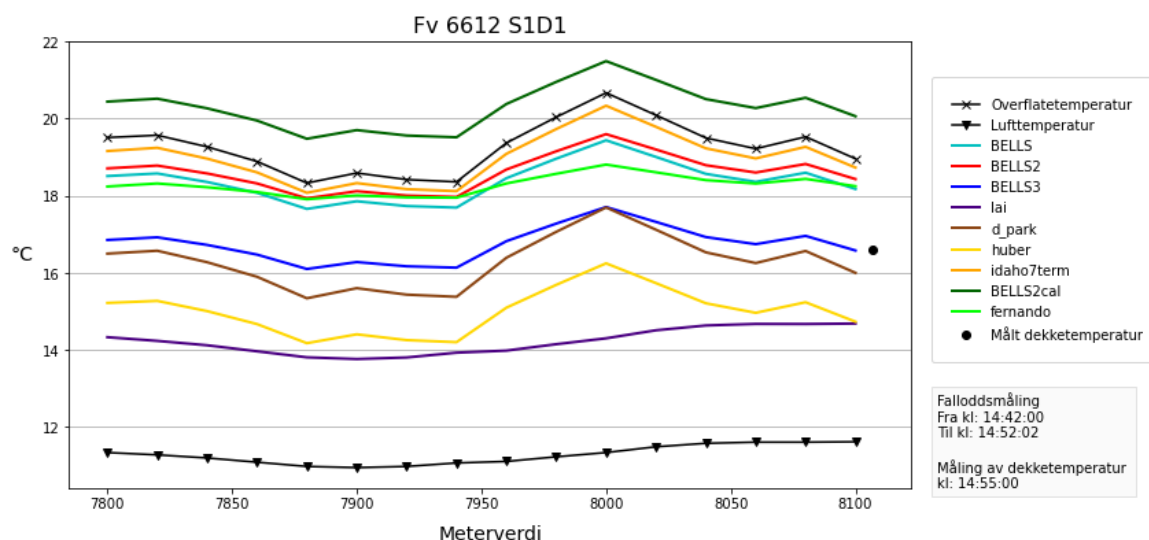
Tabell 3 Resultat av temperaturestimering på Fv 704 S2D1 den 22. april 2022

| Modell | Estimert temp 1 | Målt temp 1 | Estimert temp 2 | Målt temp 2 | RMSE |
|------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|------|
| BELLS | 13.98 | 14.4 | 14.13 | 14.4 | 0.35 |
| BELLS2 | 14.23 | 14.4 | 14.38 | 14.4 | 0.12 |
| BELLS3 | 12.68 | 14.4 | 12.82 | 14.4 | 1.65 |
| lai | 13.03 | 14.4 | 12.98 | 14.4 | 1.40 |
| d_park | 10.35 | 14.4 | 10.56 | 14.4 | 3.95 |
| huber | 10.5 | 14.4 | 10.68 | 14.4 | 3.81 |
| idaho7term | 13.3 | 14.4 | 13.45 | 14.4 | 1.03 |
| BELLS2cal | 14.29 | 14.4 | 14.45 | 14.4 | 0.09 |
| fernando | 14.78 | 14.4 | 14.84 | 14.4 | 0.41 |

På denne delstrekningen gir BELLS2 kalibrert det beste estimatet av dekketemperaturen.

Fv 6612 måledag 1

Figur 19 viser et plott av målte og estimerte temperaturer på Fv 6612 S1D1 den 22. april 2022.



Figur 19 Plott av målte og estimerte temperaturer på Fv 6612 S1D1 den 22. april 2022

Tidsdifferanse mellom målt og estimert temperatur: 3 min

Tabell 4 viser verdier for målte og estimerte temperaturer, i tillegg til RMSE for hver modell fra målingene på Fv 6612 S1D1 den 22. april 2022.

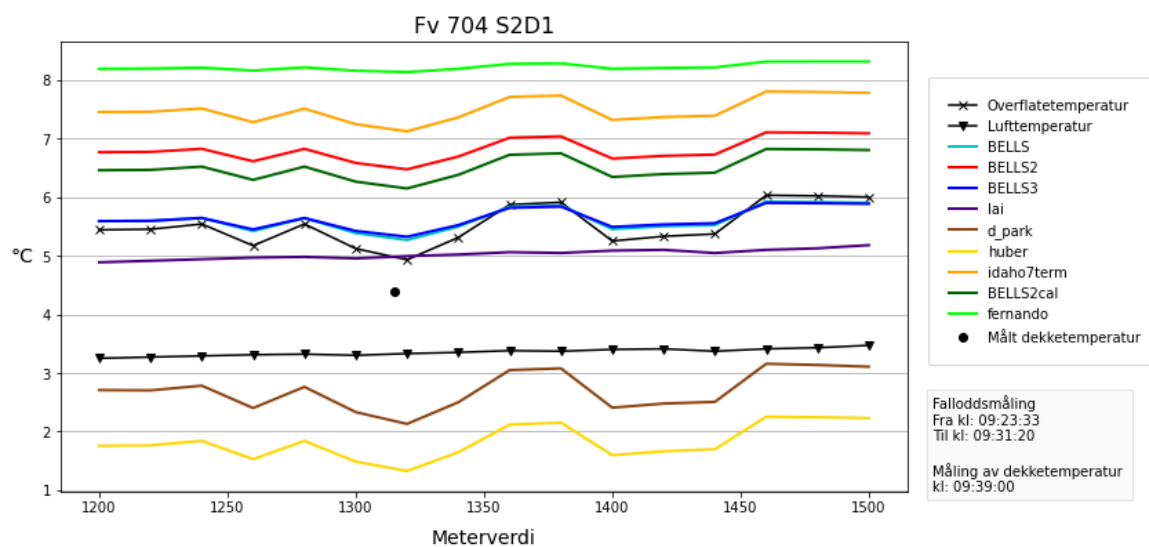
Tabell 4 Resultat av temperaturestimering på Fv 6612 S1D1 den 22. april 2022

| Modell | Estimert temp | Målt temp | RMSE |
|------------|---------------|-----------|------|
| BELLS | 18.18 | 16.6 | 1.58 |
| BELLS2 | 18.43 | 16.6 | 1.83 |
| BELLS3 | 16.58 | 16.6 | 0.02 |
| lai | 14.69 | 16.6 | 1.91 |
| d_park | 16 | 16.6 | 0.6 |
| huber | 14.73 | 16.6 | 1.87 |
| idaho7term | 18.73 | 16.6 | 2.13 |
| BELLS2cal | 20.06 | 16.6 | 3.46 |
| fernando | 18.25 | 16.6 | 1.65 |

På denne delstrekningen gir BELLS3 det beste estimatet av dekketemperaturen.

Fv 704 måledag 2

Figur 20 viser et plott av målte og estimerte temperaturer på Fv 704 S2D1 den 2. mai 2022.



Figur 20 Plott av målte og estimerte temperaturer på Fv 704 S2D1 den 2. mai 2022

Tidsdifferanse mellom målt og estimert temperatur: 12 min

Tabell 5 viser verdier for målte og estimerte temperaturer, i tillegg til RMSE for hver modell fra målingene på Fv 704 S2D1 den 2. mai 2022.

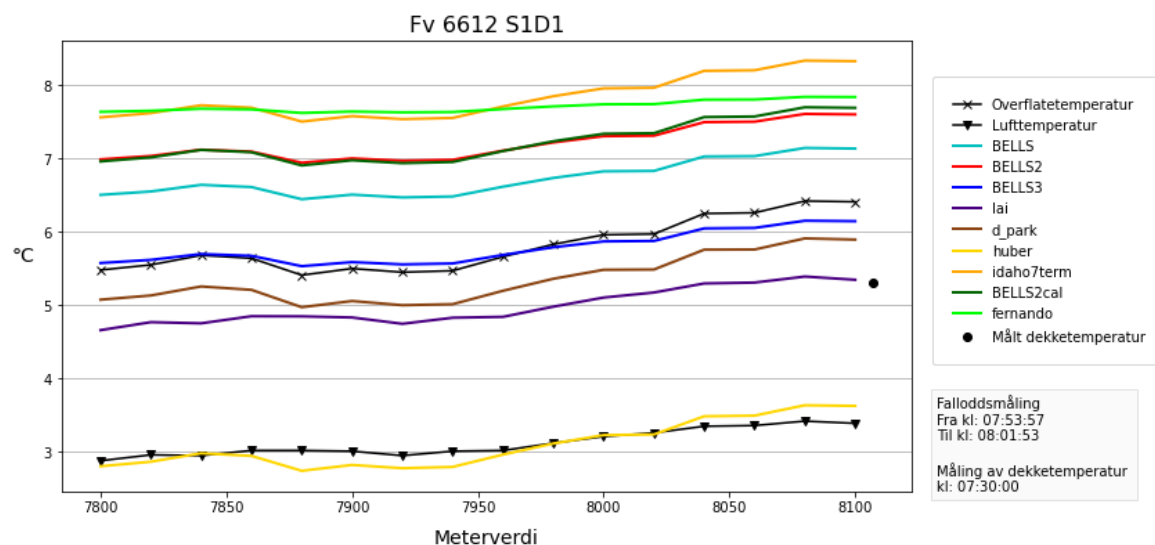
Tabell 5 Resultat av temperaturestimering på Fv 704 S2D1 den 2. mai 2022

| Modell | Estimert temp | Målt temp | RMSE |
|------------|---------------|-----------|------|
| BELLS | 5.27 | 4.4 | 0.87 |
| BELLS2 | 6.47 | 4.4 | 2.07 |
| BELLS3 | 5.32 | 4.4 | 0.92 |
| lai | 4.99 | 4.4 | 0.59 |
| d_park | 2.13 | 4.4 | 2.27 |
| huber | 1.33 | 4.4 | 3.07 |
| idaho7term | 7.12 | 4.4 | 2.72 |
| BELLS2cal | 6.15 | 4.4 | 1.75 |
| fernando | 8.13 | 4.4 | 3.73 |

På denne delstrekningen gir Lai det beste estimatet av dekketemperaturen.

Fv 6612 måledag 2

Figur 21 viser et plott av målte og estimerte temperaturer på Fv 6612 S1D1 den 2. mai 2022.



Figur 21 Plott av målte og estimerte temperaturer på Fv 6612 S1D1 den 2. mai 2022

Tidsdifferanse mellom målt og estimert temperatur: 32 min

Tabell 6 viser verdier for målte og estimerte temperaturer, i tillegg til RMSE for hver modell fra målingene på Fv 6612 S1D1 den 2. mai 2022.

Tabell 6 Resultat av temperaturestimering på Fv 6612 S1D1 den 2. mai 2022

| Modell | Estimert temp | Målt temp | RMSE |
|------------|---------------|-----------|------|
| BELLS | 7.14 | 5.3 | 1.84 |
| BELLS2 | 7.6 | 5.3 | 2.3 |
| BELLS3 | 6.15 | 5.3 | 0.85 |
| lai | 5.35 | 5.3 | 0.05 |
| d_park | 5.89 | 5.3 | 0.59 |
| huber | 3.63 | 5.3 | 1.67 |
| idaho7term | 8.33 | 5.3 | 3.03 |
| BELLS2cal | 7.69 | 5.3 | 2.39 |
| fernando | 7.84 | 5.3 | 2.54 |

På denne delstrekningen gir Lai det beste estimatet av dekketemperaturen.

Sammenlagt

Tabell 7 viser den totale RMSE-verdien for hver modell der bidraget fra alle delstrekningene er regnet sammen. Tabellen viser at det er BELLS som totalt sett gir det beste estimatet av den representative dekketemperaturen, og dermed vil denne modellen brukes videre i alle korreksjonsberegningene.

Tabell 7 Total RMSE-verdi for alle temperaturestimeringsmodeller

| Modell | Total RMSE |
|------------|------------|
| BELLS | 1.17 |
| BELLS2 | 1.61 |
| BELLS3 | 1.19 |
| lai | 1.26 |
| d_park | 2.72 |
| huber | 2.99 |
| idaho7term | 2.16 |
| BELLS2cal | 2.04 |
| fernando | 2.16 |

5.2 Korreksjon av nedbøyninger

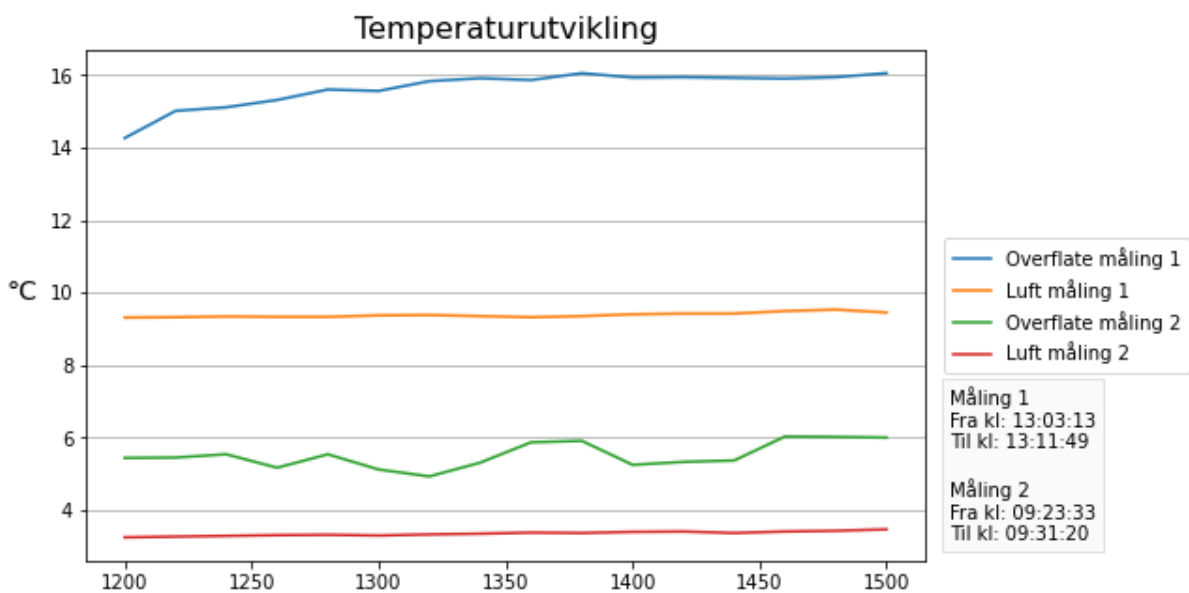
Innledende testing viste at korreksjonsmodellen Chen_n får en RMSE-verdi i størrelsesorden 10x av andre modeller på flere strekninger. På bakgrunn av dette er det åpenbart at den ikke er egnet for de aktuelle forholdene og modellen er derfor utelatt fra videre beregninger og analyser.

I dette delkapittelet vises resultatene av nedbøyningskorreksjon for én delstrekning som et eksempel, i tillegg til de sammenlagte resultatene med data fra alle delstrekningene. De individuelle resultatene for hver enkelt av de resterende delstrekningene finnes i Vedlegg 2.

5.2.1 Fv 704

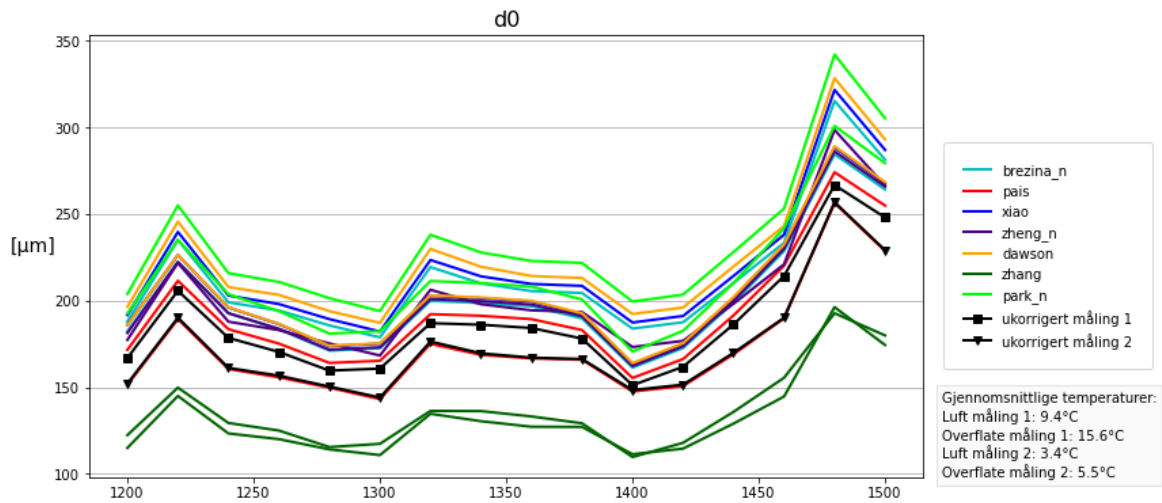
S2D1 m1200-1500

Måling 1 på delstrekningen ble gjennomført med fallodd 22. april 2022, mens måling 2 ble utført med fallodd 2. mai 2022. Figur 22 viser temperaturutviklingen på delstrekningen under målingene. Enheten på x-aksen er meterverdi som angir posisjon på strekningen, mens klokkeslett for de to målingene er gitt i tekstboksen til høyre i figuren. Temperaturdataene kommer fra sensorene på falloddet.

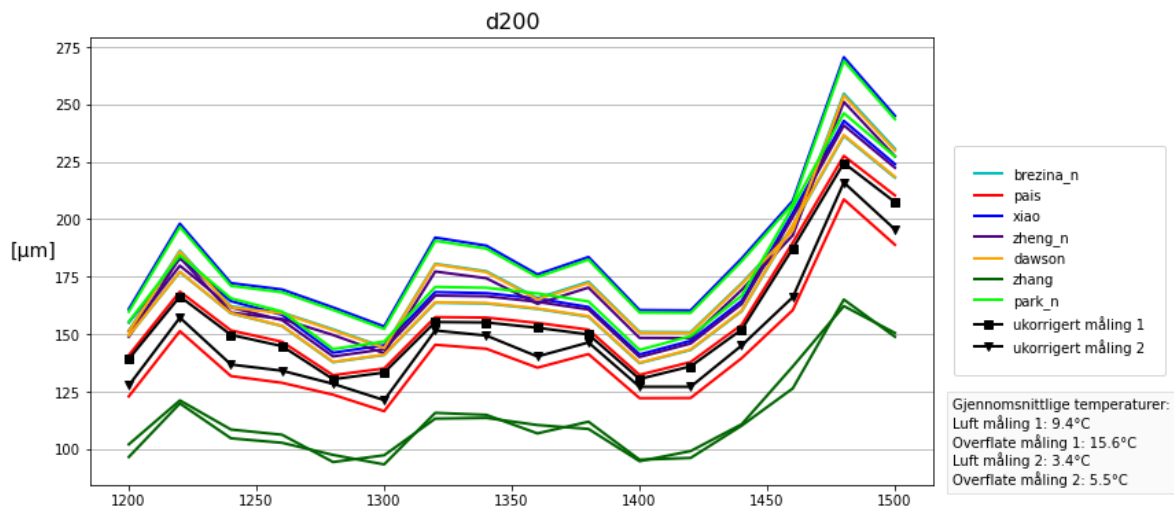


Figur 22 Temperaturutvikling på Fv 704 S2D1 m1200-1500

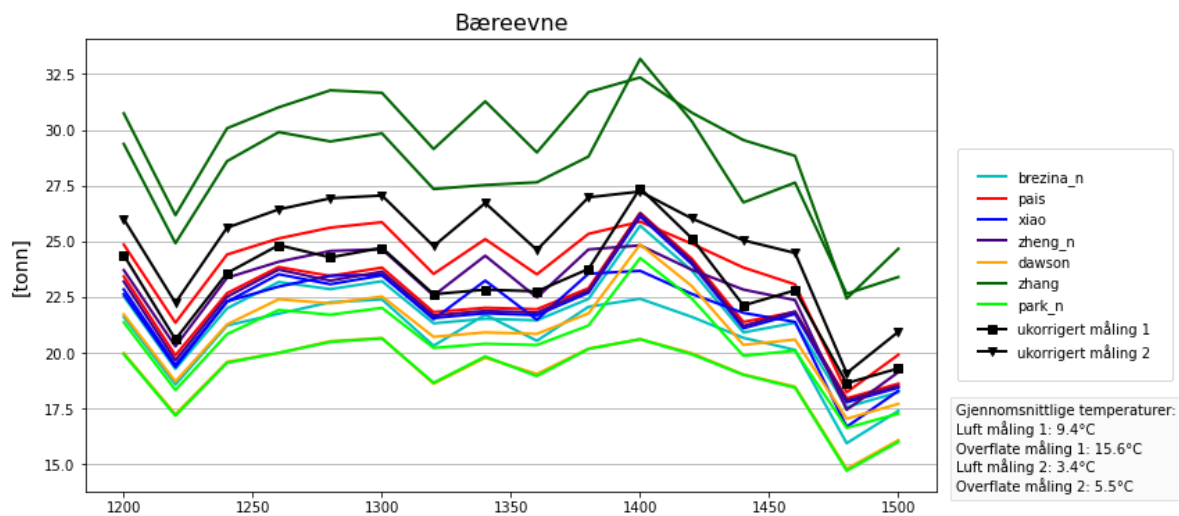
Figur 23, Figur 24, Figur 25 og Figur 26 viser ukorrigerede og korrigerede verdier av henholdsvis d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} for alle korreksjonsmodellene. Gjennomsnittlige temperaturer for luft og overflate er gitt i tekstboksen til høyre i figurene.



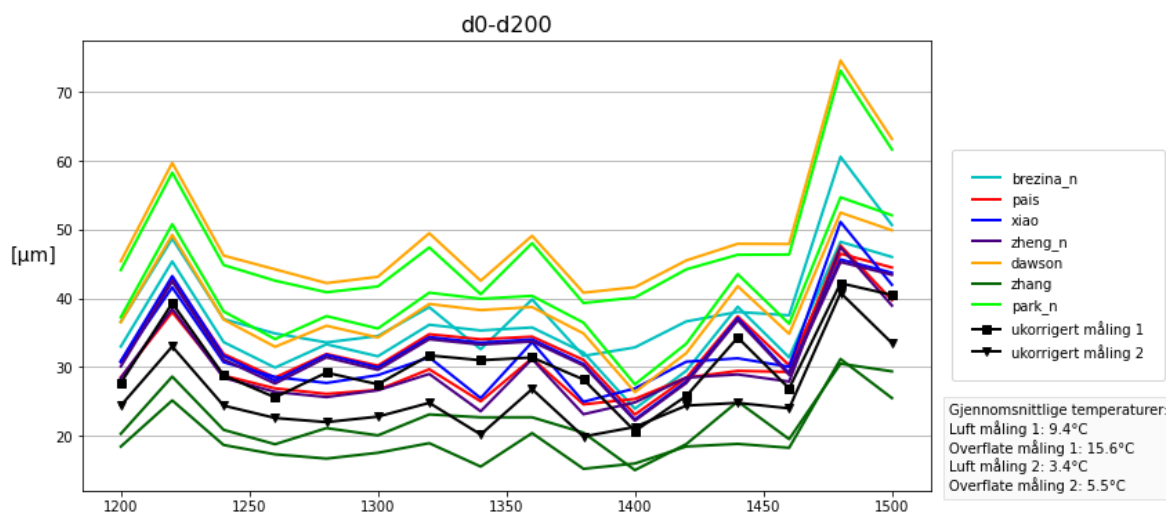
Figur 23 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av d_0 for alle korreksjonsmodeller på Fv 704 S2D1 m1200-1500



Figur 24 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Fv 704 S2D1 m1200-1500



Figur 25 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av bæreevne for alle korreksjonsmodeller på Fv 704 S2D1 m1200-1500



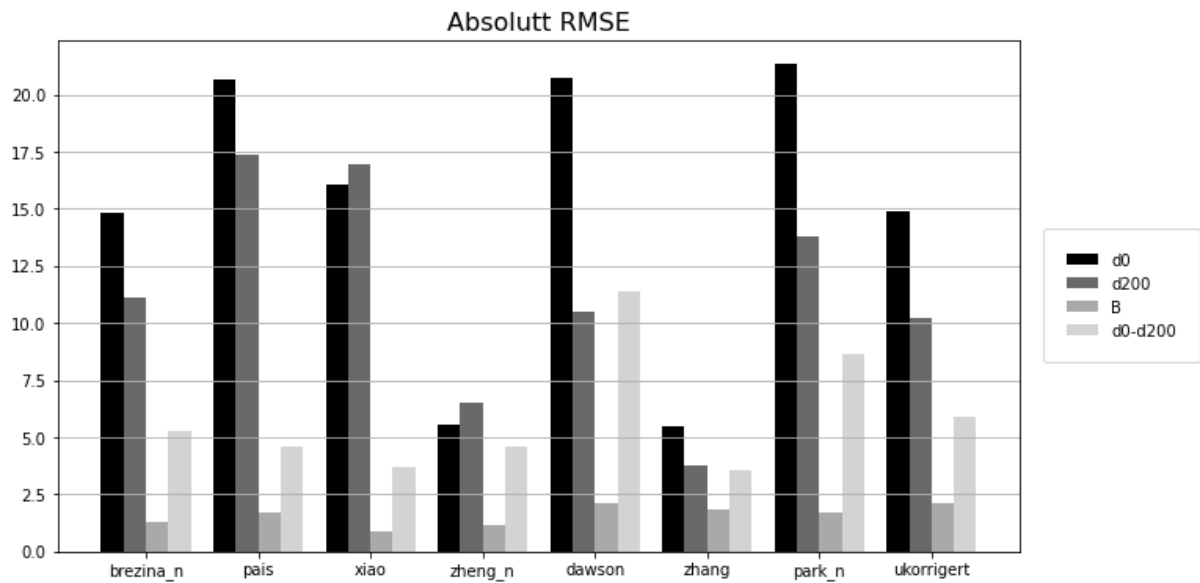
Figur 26 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0-d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Fv 704 S2D1 m1200-1500

Tabell 8 viser RMSE-verdier for hver av parameterne for alle de forskjellige korreksjonsmodellene, i tillegg til sammenligningsparameteren A som viser det sammenlagte resultatet for delstrekningen. RMSE for de ukorrigerede verdiene er inkludert i tabellen som et referansepunkt for å vurdere kvaliteten på korreksjonen. Tabellen viser at det er Zheng_n som gir den beste korreksjonen på denne delstrekningen.

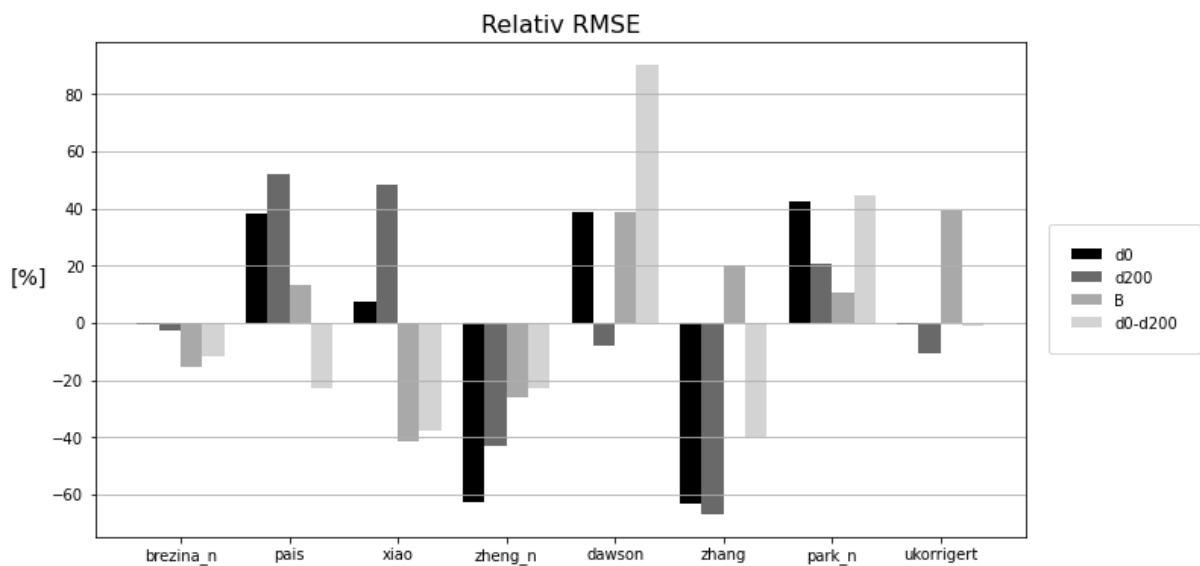
Tabell 8 RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 704 S2D1 m1200-1500

| Modell | RMSE | | | | A |
|------------|-------|-------|------|---------|--------|
| | d0 | d200 | B | d0-d200 | |
| brezina_n | 14.85 | 11.12 | 1.3 | 5.26 | -7.74 |
| pais | 20.68 | 17.35 | 1.74 | 4.61 | 20.06 |
| xiao | 16.08 | 16.95 | 0.9 | 3.73 | -5.8 |
| zheng_n | 5.55 | 6.52 | 1.14 | 4.62 | -38.64 |
| dawson | 20.75 | 10.53 | 2.13 | 11.38 | 39.98 |
| zhang | 5.47 | 3.77 | 1.85 | 3.59 | -37.53 |
| park_n | 21.33 | 13.8 | 1.7 | 8.65 | 29.67 |
| ukorrigert | 14.88 | 10.19 | 2.14 | 5.91 | 6.67 |

Verdiene i Tabell 8 er illustrert i Figur 27, som viser et plott av absolutte RMSE-verdier. Figur 28 viser et plott av relative RMSE-verdier.

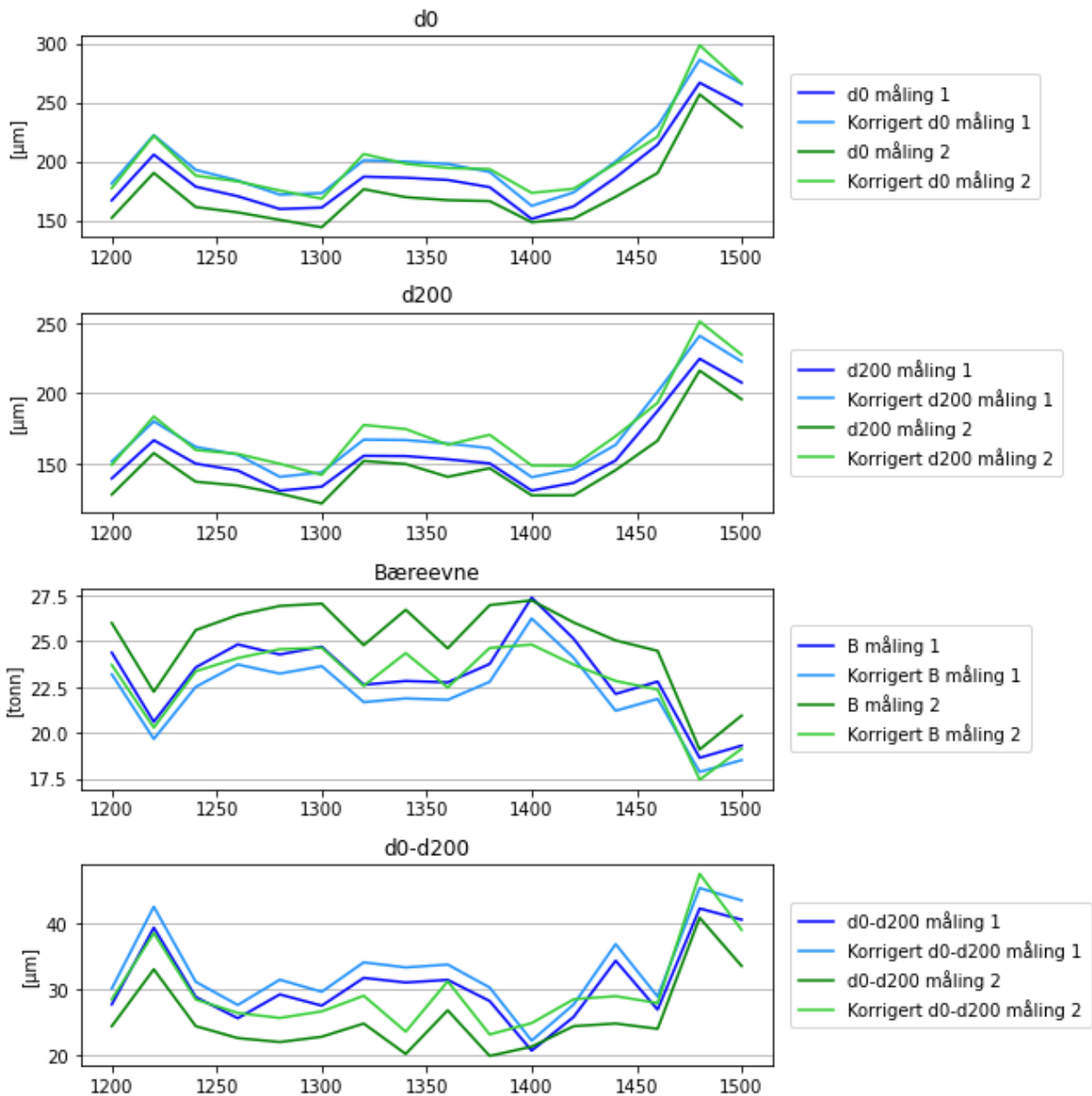


Figur 27 Plott av absolutte RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 704 S2D1 m1200-1500



Figur 28 Plott av relative RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 704 S2D1 m1200-1500

Figur 29 viser et plott av ukorrigerede og korrigerede verdier for d_0 , d_{200} , bæreevne og $d_0 - d_{200}$, for én korreksjonsmodell. Korreksjonsmodellen er den som gir best resultat på delstrekningen, i dette tilfellet Zheng_n.



Figur 29 Plott av ukorrigererte og korrigerte verdier av d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} på Fv 704 S2D1 m1200-1500

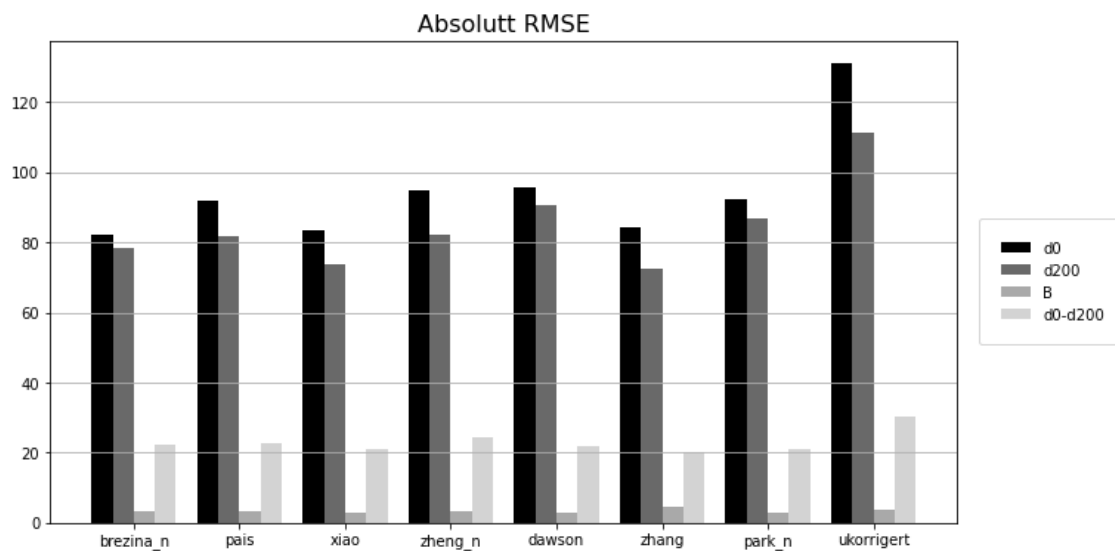
5.2.2 Sammenlagt

Tabell 9 viser de sammenlagte resultatene fra alle delstrekningene med BELLS som temperaturestimeringsmodell. Tabellen viser at det totalt sett er Xiao som scorer best, etterfulgt av Brezina_n og Park_n.

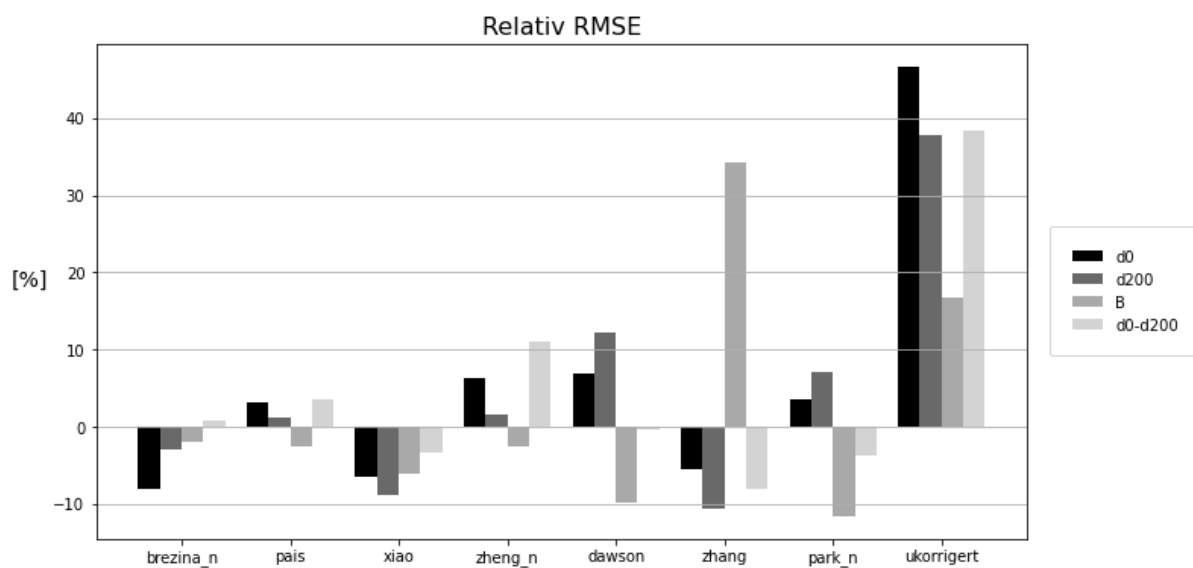
Tabell 9 Sammenlagt resultat av nedbøyningskorreksjon for alle delstrekninger med BELLS som temperaturestimeringsmodell

| Modell | RMSE _{tot,j} | | | | A |
|------------|-----------------------|--------|------|---------|-------|
| | d0 | d200 | B | d0-d200 | |
| brezina_n | 82.09 | 78.58 | 3.23 | 22.15 | -3.04 |
| pais | 92.09 | 81.95 | 3.21 | 22.78 | 1.37 |
| xiao | 83.55 | 73.68 | 3.10 | 21.25 | -6.18 |
| zheng_n | 95.00 | 82.20 | 3.21 | 24.42 | 4.12 |
| dawson | 95.54 | 90.80 | 2.97 | 21.92 | 2.28 |
| zhang | 84.48 | 72.37 | 4.43 | 20.24 | 2.59 |
| park_n | 92.52 | 86.70 | 2.91 | 21.16 | -1.15 |
| ukorrigert | 131.05 | 111.52 | 3.85 | 30.43 | 34.92 |

Resultatene i Tabell 9 er illustrert grafisk i Figur 30 som viser et plott av de absolutte RMSE-verdiene og Figur 31 som viser et plott av de relative RMSE-verdiene.



Figur 30 Plott av absolutte RMSE-verdier for det sammenlagte resultatet av nedbøyningskorreksjon



Figur 31 Plott av relative RMSE-verdier for det sammenlagte resultatet av nedbøyningskorreksjon

De samme beregningene har også blitt gjort med temperaturestimeringsmodellene BELLS3 og Lai, som er henholdsvis nummer 2 og nummer 3 på lista over beste temperaturestimeringsmodeller. De sammenlagte resultatene fra alle delstrekninger for disse modellene er vist i Tabell 10 og Tabell 11.

Tabell 10 Sammenlagt resultat av nedbøyningskorreksjon for alle delstrekninger med BELLS3 som temperaturestimeringsmodell

| Modell | RMSE _{tot,j} | | | | A |
|------------|-----------------------|--------|------|---------|-------|
| | d0 | d200 | B | d0-d200 | |
| brezina_n | 89.45 | 83.86 | 3.03 | 22.36 | -2.99 |
| pais | 99.38 | 87.59 | 3.34 | 23.82 | 4.75 |
| xiao | 83.55 | 73.68 | 3.10 | 21.25 | -8.36 |
| zheng_n | 100.35 | 86.49 | 3.29 | 25.28 | 5.92 |
| dawson | 95.54 | 90.80 | 2.97 | 21.92 | -0.22 |
| zhang | 85.63 | 73.28 | 4.45 | 20.44 | 1.39 |
| park_n | 96.70 | 89.43 | 2.98 | 21.71 | -0.48 |
| ukorrigert | 131.05 | 111.52 | 3.85 | 30.43 | 31.62 |

Tabell 11 Sammenlagt resultat av nedbøyningskorreksjon for alle delstrekninger med Lai som temperaturestimeringsmodell

| Modell | RMSE _{tot,j} | | | | A |
|------------|-----------------------|--------|------|---------|--------|
| | d0 | d200 | B | d0-d200 | |
| brezina_n | 102.60 | 91.69 | 4.94 | 20.83 | 6.56 |
| pais | 102.82 | 88.42 | 4.93 | 21.70 | 6.58 |
| xiao | 83.55 | 73.68 | 3.10 | 21.25 | -14.02 |
| zheng_n | 106.01 | 89.66 | 4.26 | 24.64 | 7.23 |
| dawson | 95.54 | 90.80 | 2.97 | 21.92 | -5.91 |
| zhang | 86.99 | 74.01 | 4.81 | 20.26 | -4.04 |
| park_n | 101.76 | 91.61 | 4.54 | 20.53 | 3.60 |
| ukorrigert | 131.05 | 111.52 | 3.85 | 30.43 | 24.31 |

5.3 Korreksjon av E-moduler

Alle resultatene i dette delkapittelet er basert på de samme rådataene som i delkapittelet om korreksjon av nedbøyninger. Dermed vil alle datoer, klokkeslett og temperaturer være det samme som for målingene på tilsvarende delstrekning i kapittel 5.2.

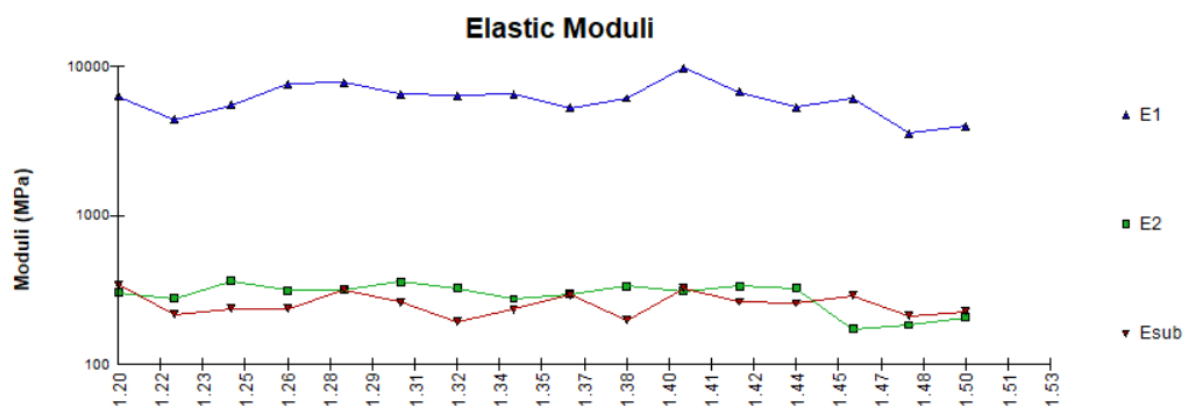
I likhet med forrige delkapittel vises i dette delkapittelet resultatene av E-modulkorreksjon for én delstrekning som et eksempel, i tillegg til de sammenlagte resultatene med data fra alle delstrekningene. De individuelle resultatene for hver enkelt av de resterende delstrekningene finnes i Vedlegg 3.

5.3.1 Fv 704

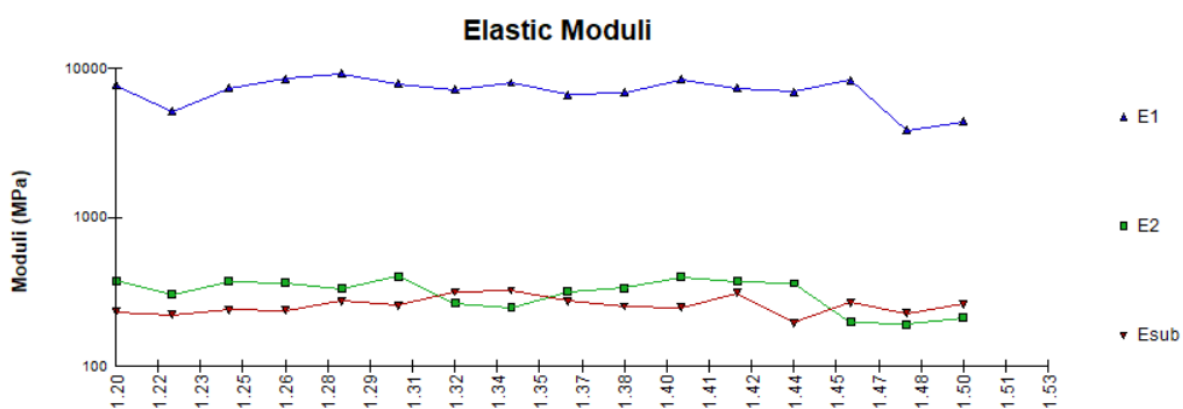
S2D1 m1200-1500

På denne delstrekningen er dekketemperaturen utenfor det definerte gyldighetsområdet til korreksjonsmodellen Zhou ved måling 2 (5,3°C, minimum er 10°C). Modellen er likevel inkludert i de videre beregningene.

Figur 32 og Figur 33 viser et plott av de etterregne E-modulene fra Elmod for henholdsvis måling 1 og måling 2. De gjennomsnittlige E-modulene er gitt i Tabell 12.



Figur 32 Etterregnede E-moduler for måling 1 på Fv 704 S2D1 m1200-1500

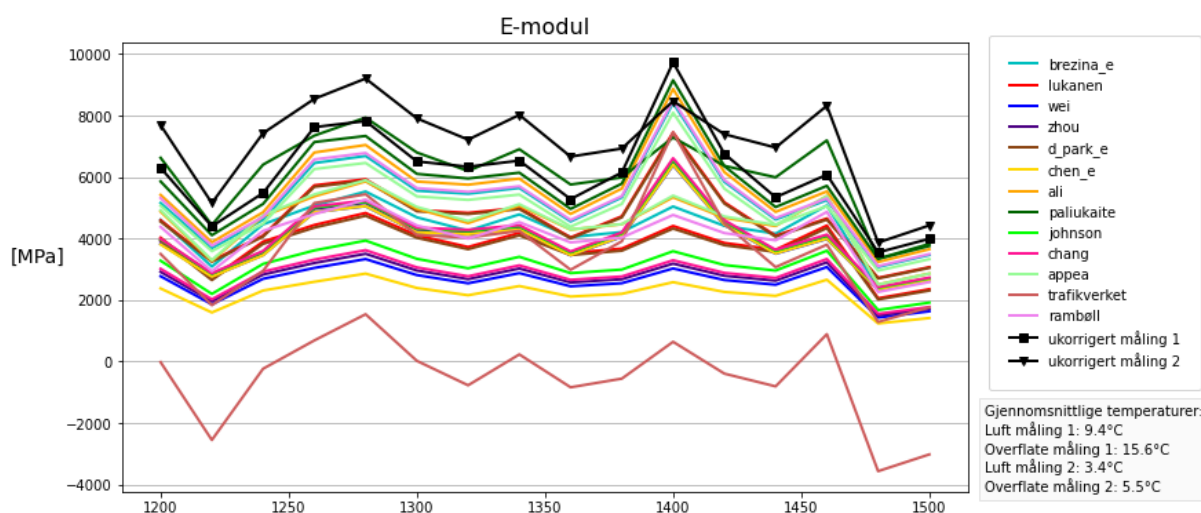


Figur 33 Etterregnede E-moduler for måling 2 på Fv 704 S2D1 m1200-1500

Tabell 12 Gjennomsnittlige etterregnede E-moduler for Fv 704 S2D1 m1200-1500

| Måling 1 | | | Måling 2 | | |
|----------|------|-----|----------|------|-----|
| E1 | 6114 | MPa | E1 | 7134 | MPa |
| E2 | 296 | MPa | E2 | 317 | MPa |
| E3 | 258 | MPa | E3 | 260 | MPa |

Figur 34 viser ukorrigerede og korrigerede verdier av E1 for alle korreksjonsmodellene. Gjennomsnittlige temperaturer for luft og overflate er gitt i tekstboksen til høyre i figuren.



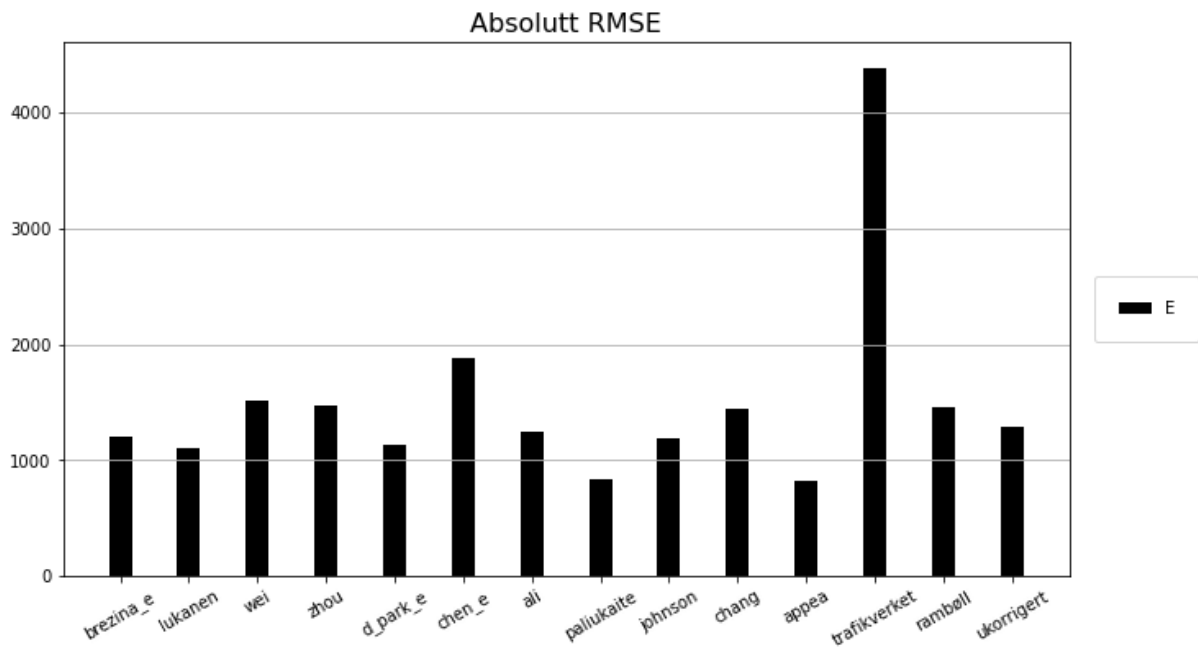
Figur 34 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av E1 for alle korreksjonsmodeller på Fv 704 S2D1 m1200-1500

Tabell 13 viser RMSE-verdier for de korrigererte E-modulene for alle de forskjellige korreksjonsmodellene. Tabellen viser at det er Appea som gir den beste korreksjonen på denne delstrekningen.

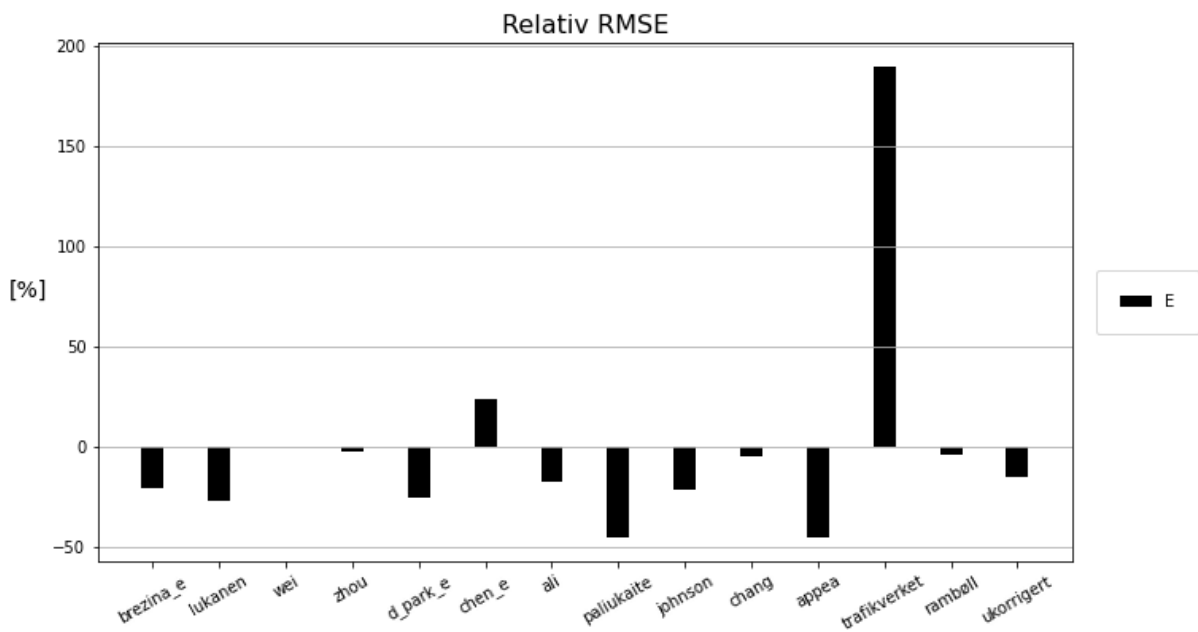
Tabell 13 RMSE-verdier for E-moduler på Fv 704 S2D1 m1200-1500

| | RMSE |
|--------------|------|
| Modell | E |
| brezina_e | 1202 |
| lukanen | 1110 |
| wei | 1515 |
| zhou | 1474 |
| d_park_e | 1136 |
| chen_e | 1877 |
| ali | 1247 |
| paliukaite | 834 |
| johnson | 1185 |
| chang | 1444 |
| appea | 826 |
| trafikverket | 4386 |
| rambøll | 1455 |
| ukorrigert | 1286 |

Verdiene i Tabell 13 er illustrert i Figur 35, som viser et plott av absolutte RMSE-verdier. Figur 36 viser et plott av relative RMSE-verdier.

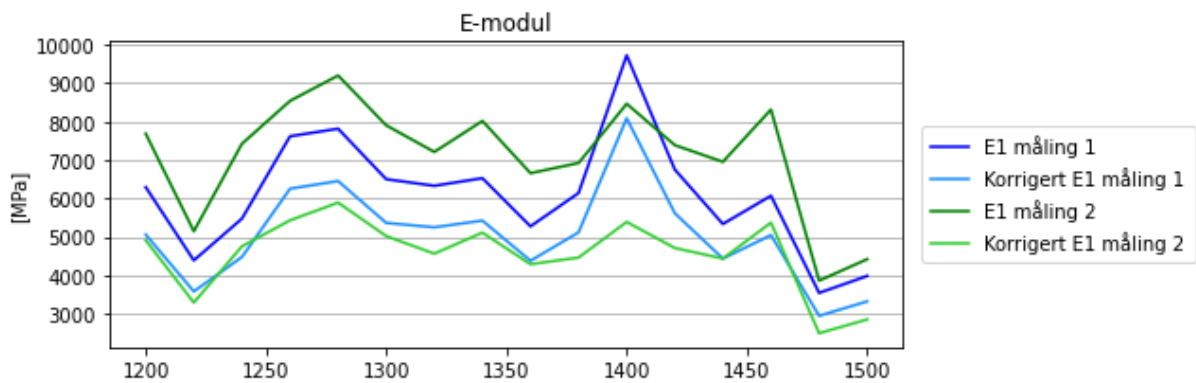


Figur 35 Plott av absolutte RMSE-verdier for E1 på Fv 704 S2D1 m1200-1500



Figur 36 Plott av relative RMSE-verdier for E1 på Fv 704 S2D1 m1200-1500

Figur 37 viser et plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler for én korreksjonsmodell. Korreksjonsmodellen er den som gir best resultat på delstrekningen, i dette tilfellet Appea.



Figur 37 Plott av ukorrigerede og korrigerte E-moduler på Fv 704 S2D1 m1200-1500

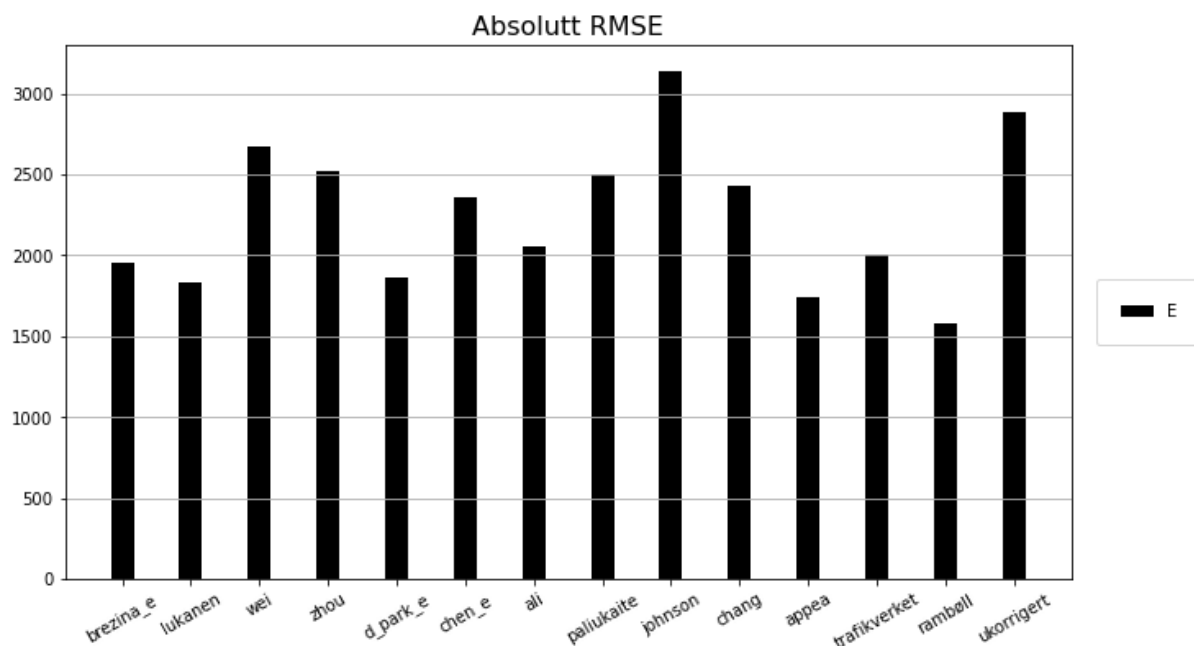
5.3.2 Sammenlagt

Det sammenlagte resultatet med data fra alle delstrekningene er beregnet både med BELLS som temperaturestimeringsmodell, men også med BELLS3 og Lai, som er henholdsvis nummer 2 og 3 på lista over beste temperaturestimeringsmodeller. Resultatene er vist i Tabell 14, og man kan se at med BELLS så er det Rambølls metode som scorer best, foran Appea og Lukanen.

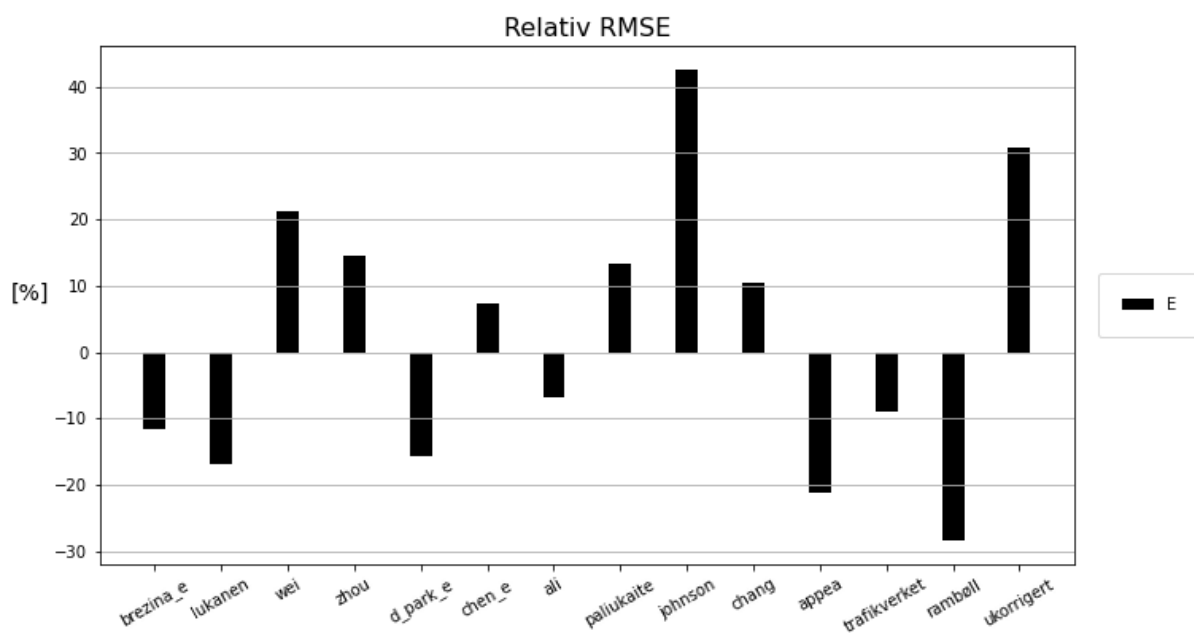
Tabell 14 Sammenlagt resultat av E-modulkorreksjon for alle delstrekninger med BELLS, BELLS3 og Lai som temperaturestimeringsmodell

| Modell | RMSE _{tot,j} | | |
|--------------|-----------------------|--------|------|
| | BELLS | BELLS3 | Lai |
| brezina_e | 1950 | 1779 | 2396 |
| lukanen | 1834 | 1755 | 2459 |
| wei | 2671 | 2433 | 3466 |
| zhou | 2525 | 2309 | 3297 |
| d_park_e | 1860 | 1774 | 2497 |
| chen_e | 2363 | 2174 | 2911 |
| ali | 2054 | 1810 | 2420 |
| paliukaite | 2497 | 2497 | 2604 |
| johnson | 3142 | 2845 | 4208 |
| chang | 2432 | 2232 | 3191 |
| appea | 1738 | 1718 | 2199 |
| trafikverket | 2006 | 1912 | 2255 |
| rambøll | 1576 | 1526 | 1722 |
| ukorrigert | 2883 | 2883 | 2883 |

Resultatene i Tabell 14 med BELLS som temperaturestimeringsmodell er illustrert grafisk i Figur 38 som viser et plott av de absolutte RMSE-verdiene og Figur 39 som viser et plott av de relative RMSE-verdiene.



Figur 38 Plott av absolutte RMSE-verdier for det sammenlagte resultatet av E-modulkorreksjon med BELLS som temperaturestimeringsmodell



Figur 39 Plott av relative RMSE-verdier for det sammenlagte resultatet av E-modulkorreksjon med BELLS som temperaturestimeringsmodell

5.4 SVVs metode

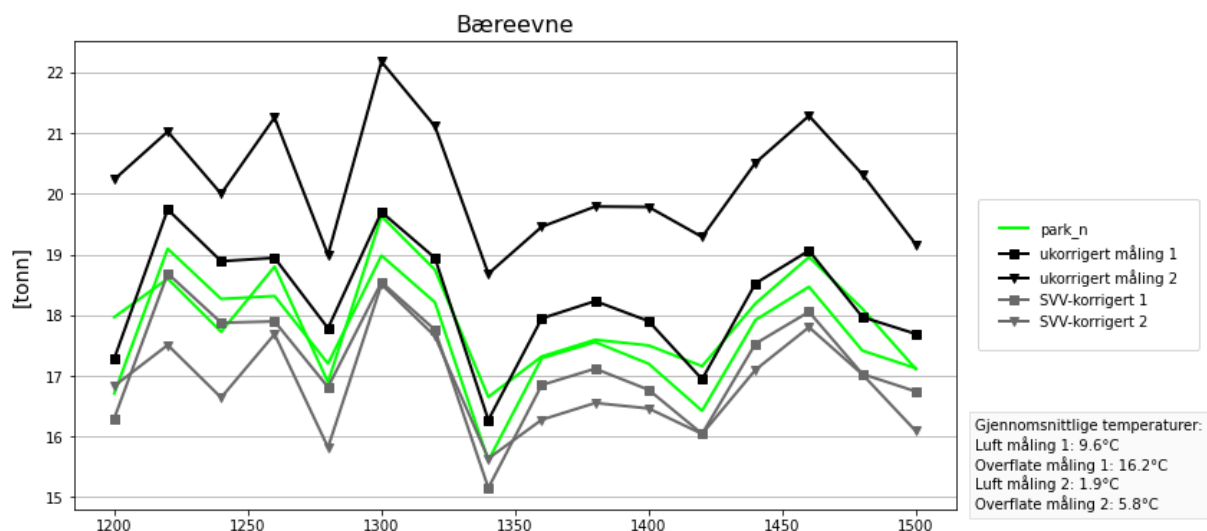
Tabell 15 viser totale RMSE-verdier for bæreevne med data fra alle delstrekningene. RMSE for de ulike korreksjonsmodellene er den samme som er vist i kapittel 5.2 og er beregnet fra korrigerede nedbøyninger. SVVs metode har blitt brukt både med overflatetemperatur

og dekketemperatur estimert av de tre beste temperaturestimeringsmodellene som input. Tabellen viser at SVVs metode med temperatur estimert av BELLS tar en 3. plass på lista, kun slått av Park_n og Dawson. SVVs metode med overflatetemperatur kommer like bak og er i tillegg så vidt slått av Xiao.

Tabell 15 Sammenlagt resultat for korreksjon av bæreevne for alle modeller, inkludert SVVs metode

| Modell | RMSE _{tot,j} | | |
|------------------------|-----------------------|--------|------|
| | BELLS | BELLS3 | Lai |
| brezina_n | 3.23 | 3.03 | 4.94 |
| pais | 3.21 | 3.34 | 4.93 |
| xiao | 3.10 | 3.10 | 3.10 |
| zheng_n | 3.21 | 3.29 | 4.26 |
| dawson | 2.97 | 2.97 | 2.97 |
| zhang | 4.43 | 4.45 | 4.81 |
| park_n | 2.91 | 2.98 | 4.54 |
| SVV overflatetemp | 3.11 | 3.11 | 3.11 |
| SVV estimert dekketemp | 3.02 | 3.11 | 4.75 |
| ukorrigert | 3.85 | 3.85 | 3.85 |

Figur 40 viser et eksempelplott fra Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei, med de to seriene med ukorrigerte verdier, i tillegg til bæreevne som er beregnet fra nedbøyninger som er korrigert med Park_n (som er den beste korreksjonsmodellen på strekningen) og bæreevne som er korrigert med SVVs metode. Korreksjonen som er vist i figuren er gjort med temperaturer som er estimert med BELLS.



Figur 40 Plott av ukorrigert og korrigert bæreevne med Park_n og SVVs metode på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei

6 Diskusjon

I dette kapitlet analyseres og diskuteres resultatene som er presentert i resultatkapitlet. Delkapitlene 6.1, 6.2 og 6.3 tar for seg henholdsvis forskningsspørsmål 1, 2 og 3, mens delkapittel 6.4 diskuterer mer generelt rundt feilkilder og usikkerheter som er med på å påvirke resultatet.

6.1 Identifisering og utvelging av modeller

Gjennom et vellykket litteratursøk ble det identifisert en rekke eksisterende modeller, både for estimering av temperatur i dekket og for korreksjon av både nedbøyninger og E-moduler. Som tidligere nevnt så setter tilgjengelig data en begrensning for hvilke modeller som kan inkluderes videre i studien. Rent vitenskapelig ville det vært veldig interessant å kunne inkludere noen av de mer teoretiske modellene for å se om den forholdsvis store relative kompleksiteten kunne forsvares gjennom bedre resultater. For den overordnede problemstillingen er dette likevel ikke relevant, ettersom målet er å finne en metode for korreksjon av nedbøyningsmålinger som kan brukes generelt og i stor skala, og dermed er man nødt til å holde seg til modeller som ikke bruker inputinformasjon utover den dataen som blir samlet inn i forbindelse med fallodds- og Raptormålinger. Hvis det hadde vært en konkret type data som kunne åpnet døren for flere modeller og som kunne blitt samlet inn uten for stor ulempe, så kunne det vært aktuelt å anbefale SVV å begynne å samle inn slik data i forbindelse med målingene. Erfaringen gjort gjennom denne litteraturstudien er imidlertid at det kreves relativt mye ny data for å ta i bruk mer avanserte modeller og at dette ikke kan gjøres uten mer omfattende datainnhenting.

Når det kommer til modellene som ble valgt ut for testing så er det god variasjon i geografisk opphav og dermed også på dataen som er brukt i utviklingen av modellene. Dette gir større sannsynlighet for at noen av de vil passe godt til norske forhold. Majoriteten av modellene stammer fra USA eller Kina, som begge har et klima som er noe varmere enn Norge, men det er også funnet modeller fra blant annet Sverige, Litauen og Tsjekkia.

6.2 Estimering av dekketemperatur

Sammenligningen av målt og estimert dekketemperatur er basert på en antagelse om at temperaturen i middeldybden i dekket er den samme som gjennomsnittstemperaturen i dekket. Mest sannsynlig er temperaturgradienten gjennom dekket ikke helt lineær, slik at gjennomsnittstemperaturen ikke er helt i midten, men uten mer omfattende undersøkelser er det ikke mulig å bestemme nøyaktig hvor gjennomsnittstemperaturen befinner seg. Det er heller ikke sikkert at den målte dekketemperaturen gir et helt riktig bilde av den faktiske gjennomsnittstemperaturen i dekket. Etter at hullet ble boret og fylt med vann ble vannet rørt om og termometeret ble plassert i hullet frem til temperaturen hadde stabilisert seg. En mulig feilkilde er at hullet ikke ble boret dypt nok til at det representerer hele dekket. Det er også mulig at det var en viss temperaturgradient gjennom vannet i det øyeblikket den avleste temperaturen hadde stabilisert seg. Når det er sagt, så antas det at disse

feilkildene er relativt ubetydelige og at presisjonen i dataen er god nok til å brukes til sammenligning. I tillegg er det også, som tidligere nevnt, et tidsavvik mellom målingen av dekketemperaturen og målingen av luft- og overflatetemperaturen som brukes til å estimere dekketemperatur. Dersom dette avviket blir stort vil dekketemperaturen endre seg i mellomtiden, og det vil ikke lenger være samsvar mellom den målte dekketemperaturen og den dekketemperaturen som modellene prøver å estimere. For målingene som er brukt her er det største tidsavviket mellom målt og estimert dekketemperatur på 36 minutter. Det er antatt at dette er lite nok til at det ikke har rukket å bli noen betydelig endring i dekketemperaturen, spesielt med tanke på at temperaturen endrer seg saktere i kjernen av dekket enn på overflaten og i lufta.

At BELLS-likningene skulle komme godt ut av sammenligningen er ingen overraskelse, da det har inngått store mengder data i utviklingen og valideringen av disse modellene. Det som er overraskende derimot er at det er BELLS som er aller best, knepent foran BELLS3, med tanke på at versjon 2 og 3 er ment å være en videreutvikling og forbedring av denne første versjonen. Men differansen er som sagt knepen, og videre testing viser at både BELLS og BELLS3 gir noenlunde samme rekkefølge på hvilken som er best av de ulike korreksjonsmodellene. Et argument for å foretrekke BELLS3 over BELLS er at BELLS3 trenger klimadata fra kun én dag før måling, kontra fem for BELLS.

Generelt så treffer alle estimeringsmodellene ganske bra (med unntak av Zheng, som ble utelatt fra analysen). Det største enkeltavviket fra målt temperatur er $4,05^{\circ}\text{C}$ (D_park på Fv 704 S2D1, måling 1), og den høyeste totale RMSE-verdien er Huber med 2,99. Dette er selvfølgelig mer enn hva som er ønskelig, men allikevel ikke helt ubrukelig. BELLS, som endte opp som best, har en total RMSE-verdi på 1,17. Dette vurderes å være meget bra. En ting som er interessant å notere er at selv om BELLS var best totalt sett, så var den ikke best på noen enkeltmålinger. Samtidig var den heller aldri langt unna, med et største avvik fra målt temperatur på $1,84^{\circ}\text{C}$. Både BELLS3 og Lai, som var henholdsvis nummer 2 og nummer 3 på lista over beste modeller, er begge best på minst én enkeltmåling, men også relativt sett ganske langt unna på noen enkeltmålinger.

Det hadde vært mulig å gjøre forsøk med alle de forskjellige modellene for temperaturestimering i korreksjonen av nedbøyninger og E-moduler (kapittel 5.2 og 5.3) for å se hvilken som gir lavest absolutte RMSE-verdier i sluttresultatet, men selv om en estimeringsmodell skulle gi et bedre sluttresultat for korreksjonen enn den «beste» estimeringsmodellen er ikke nødvendigvis den estimerte temperaturen mer riktig. Det kan være at estimeringsmodellen estimerer en temperatur som er feil, men som gir en mer gunstig korreksjon av nedbøyninger/E-modul og dermed et tilsynelatende bedre totalresultat, ved at feilene ved en tilfeldighet kansellerer hverandre. Dette må unngås, da det vil være svært forholdsavhengig og ikke vil fungere generelt. Det bør bestemmes separat hvilken temperaturestimeringsmodell og korreksjonsmodell som er best.

Alle de testede modellene er regresjonsmodeller som bruker forenklede sammenhenger mellom overflatetemperatur og/eller lufttemperatur og eventuelt klokkeslett til å estimere hva temperaturen midt i dekket er. Hva sammenhengen mellom disse parameterne faktisk er på et gitt tidspunkt vil avhenge av hvilken form for varmeoverføring som er dominerende for øyeblikket (teori i kapittel 2.4.1). På en fin sommerdag med mye sol vil stråling være dominerende. Temperaturen på overflaten vil bli høy, høyere enn i lufta, og det vil være en stor temperaturgradient nedover i dekket. På en overskyet morgen vil sannsynligvis temperaturen stige i lufta først, og konveksjon vil bidra til å varme opp dekkeoverflaten.

Men dersom sola plutselig dukker fram vil temperaturen raskt stige på overflaten og bli varmere enn både lufta og dekket i dybden. Slike variasjoner er det ingen av modellene i denne oppgaven som tar hensyn til. Det er vanskelig å se for seg en god temperaturestimeringsmodell som ikke tar hensyn til værforhold eller varmeoverføringsform, ettersom dette er helt avgjørende for sammenhengen mellom luft-, overflate- og dekketemperatur.

Når det skal konkluderes med hvilken temperaturestimeringsmodell som er best må det tas hensyn til at datagrunnlaget som ligger til grunn er relativt tynt. 5 datapunkter er ikke tilstrekkelig til å trekke noen klar konklusjon. Med så få målinger er det ikke mulig å få nok variasjon i dataen med tanke på værforhold, dekketykkelser og temperaturspekter til å konkludere med at én estimeringsmodell er bedre enn de andre generelt. Når det er sagt så er det BELLS som kommer best ut av denne sammenligningen med jevnt god prestasjon over alle målingene, tett etterfulgt av BELLS3 som viste noe mer variasjon mellom enkeltmålingene.

6.3 Vurdering av korreksjonsmodeller

Ettersom det er forskjellige parametere som korrigeres, må modeller for korreksjon av nedbøyninger og E-moduler vurderes separat. Det optimale hadde vært å kunne «framoverregne» nedbøyninger fra de korrigerede E-modulene. Da kunne man beregne alle de samme parametere for modeller som korrigerer E-modul som for de som korrigerer nedbøyninger. Dette ville gjort det mulig å se hvilket prinsipp for korreksjon som er best. Å korrigere E-moduler er teoretisk mer korrekt enn å korrigere nedbøyninger, ettersom man kun korrigerer responsen fra det temperatursensitive laget, kontra nedbøyninger der man korrigerer responsen fra hele overbygningen. Samtidig så medfører korreksjon av E-moduler flere beregningssteg i prosessen, og dermed flere ledd hvor det kan oppstå unøyaktighet, noe som fører til at det ikke er sikkert at sluttresultatet blir noe bedre. Korreksjon av E-moduler stiller også krav til kunnskap om lagtykkelser og materialer i overbygningen, og variasjoner, avvik eller mangel på kunnskap om dette fører også til økt unøyaktighet.

Siden noen modeller har en fast referansetemperatur som ikke kan endres, fører det til at noen av modellene har en referansetemperatur som skiller seg ut fra resten (Dawson 21°C og Zhang 25°C). For resultatene sin del så har dette lite å si, ettersom sammenligningen alltid gjøres mellom to sett med data som er korrigert med den samme korreksjonsmodellen. Hvis den absolutte størrelsen på korreksjonen er viktig så har referansetemperaturen mye å si, men i dette tilfellet er det differansen mellom de korrigerede verdiene som blir analysert.

Måten resultatet fra alle delstrekningene slås sammen på gjør at hvert enkelt datapunkt teller like mye i totalen, noe som fører til at strekninger med flere datapunkter får større vekt i sluttresultatet enn strekninger med få datapunkter. Dermed er Rv36 S11D1 absolutt viktigst for sluttresultatet med sine 99 datapunkter, av totalt 308. Målingene fra NCAT blir nesten ubetydelige med 6 datapunkter per seksjon. Falloddsmålingene fra Trondheim blir også lite vektlagt i sluttresultatet med kun 16 punkter per delstrekning.

Det er knyttet noe usikkerhet til kvaliteten på rådataene fra målingene som ble gjort på Rv 36. Målingene som ble gjort den 9. september 2021 ble gjort med et tidsavvik mellom

fallodd og Raptor på 0-1,5 timer. Dermed burde både de målte nedbøyningene og temperaturene bli veldig like. Faktum er derimot at målt d_0 i gjennomsnitt er over 30% større for Raptor enn fallodd, og at overflatetemperaturen i gjennomsnitt er over 8°C høyere for Raptor enn fallodd. Nedbøyningene som er målt med Raptor den 12. august 2021 er enda større, tett opptil dobbelt så store i gjennomsnitt som d_0 for fallodd fra 9. september, selv om temperaturen var relativt lik også denne dagen. Dette er såpass store avvik mellom verdier som skal være tilnærmet like at det reduserer troverdigheten til rådataene. Denne usikkerheten rundt rådataene fører til at det også blir usikkerhet rundt resultatene, både for korreksjon av nedbøyninger og korreksjon av E-moduler. Dette er bakgrunnen for at det er regnet ut et sammenlagt resultat for alle delstrekningene ekskludert de på Rv 36. Dette resultatet er vist i Vedlegg 4.

6.3.1 Korreksjon av nedbøyninger

For nedbøyninger der det vurderes flere ulike parametere finnes det mange måter å regne ut et samlet resultat på. Det er mulig å legge mer eller mindre vekt på enkelte parametere. Her har det blitt lagt like stor vekt på alle de fire parameterne som har blitt analysert ved å bruke et uvektet gjennomsnitt av de relative RMSE-verdiene. Grunnen til at de relative verdiene har blitt brukt fremfor de absolutte er at det er stor forskjell i størrelsen på de absolutte verdiene mellom forskjellige parametere, for eksempel d_0 og bæreevne. Bruken av de relative verdiene sikrer at prestasjonen i forhold til resten av modellene blir tatt hensyn til, uavhengig av størrelsesforholdet mellom absoluttverdiene til de forskjellige parameterne.

Resultatene viser at det totalt sett er Xiao som scorer best, etterfulgt av Brezina_n og Park_n, men det er stor variasjon mellom de ulike delstrekningene. Xiao er kun best på én delstrekning, men dette er til gjengjeld S11D1 på Rv 36, som gir det klart største bidraget til sammenlagtresultatet. Brezina_n er best på 3 delstrekninger, der en av de er S3D1 på Rv 36, som er strekningen med nest flest datapunkter. De andre er de to seksjonene på NCAT, som er tilnærmet ubetydelige i sammenlagtresultatet. Park_n er også best på 3 delstrekninger, men alle disse er blant falloddsmålingene som ble gjort på Fv 704 og Fv 6612, og blir dermed relativt lite vektlagt i sluttresultatet. Ut ifra dette er det helt tydelig at antall datapunkter som er målt på de ulike delstrekningene er avgjørende for hva sluttresultatet blir.

En interessant detalj å legge merke til ved modellen Xiao som ender på toppen av lista er at denne ikke bruker noen estimert dekketemperatur, men heller bare overflatetemperaturen. Dette gjør at man kan stille spørsmål ved hvor nødvendig det er å bruke modeller for å estimere dekketemperaturer. For å få en god korreksjon er man avhengig av å bruke en temperatur som er representativ for hele dekket, og det vil alltid være en korrelasjon mellom overflatetemperatur og temperaturen videre nedover i dekket. Gitt at korreksjonsmodellen er kalibrert for å bruke overflatetemperatur som input så er det ikke usannsynlig at dette kan fungere godt. Samtidig så er det, som tidligere diskutert, aldri noen konstant sammenheng mellom overflatetemperaturen og kjernetemperaturen i dekket. Forholdet mellom disse vil variere avhengig av lufttemperatur, solstråling og utvikling i været. Derfor virker det lite sannsynlig at en modell der eneste input er overflatetemperatur kan fungere godt generelt for alle slags ulike vær- og temperaturforhold. Dette bekreftes også delvis av resultatene i denne oppgaven. Foruten den ene delstrekningen der den er best, havner Xiao som regel midt på treet på

resultatlista. Dersom delstrekningen S11D1 på Rv 36 utelates fra beregningene, faller Xiao ned på en 3. plass, bak Brezina_n og Park_n. Dette kan tyde på at forholdene under målingene på denne delstrekningen var spesielt gunstige for modellen og at den generelt ikke fungerer like bra som flere av de andre modellene.

Korreksjonsmodellen Park_n opererer med en effektiv radius for korreksjon der det antas at nedbøyninger lenger vekk fra lastsenter enn denne radiusen ikke påvirkes av temperaturendringer. På tre av delstrekningene som er analysert her er den effektive radiusen teoretisk sett for lav til at nedbøyningene i avstand 200 mm fra lastsenter skal korrigeres. I beregningene har denne advarselen blitt ignorert, og korreksjonen har blitt utført uavhengig av den effektive radiusen. Resultatet av dette er at samtlige av de tre delstrekningene der den effektive radiusen er for liten, samsvarer med de tre delstrekningene der Park_n gir en korreksjon som er suverent bedre enn alle de andre korreksjonsmodellene. I utgangspunktet virker ideen om en effektiv radius fornuftig, ettersom det er asfaltlaget som er dominerende for nedbøyningen nærme lastsenter og undergrunnen som er dominerende for nedbøyningen langt unna lastsenter, som omtalt i kapittel 2.4. Likevel fungerer det helt tydelig ikke som ønsket i denne modellen. Den effektive radiusen er en funksjon av asfalttykkelse, og det kan tenkes at denne funksjonen burde blitt kalibrert til å gi en større effektiv radius og at dette kunne gitt et mer riktig resultat.

Når resultatene analyseres så er det viktig å ikke kun se på RMSE-verdiene, men også kontrollere at resultatet er realistisk. RMSE beskriver bare avviket mellom de korrigerede verdiene og ikke størrelsen på korreksjonen i forhold til de opprinnelige verdiene eller hvilken vei det korrigeres. Et eksempel på et urealistisk resultat er korreksjonen av Zhang på Fv 704 S2D1. Ifølge sammenligningsparameteren A gir Zhang en veldig god korreksjon, nære på å være best på delstrekningen, men hvis man ser på grafene (Figur 23, Figur 24 og Figur 25) så ser man at nedbøyningene er korrigert til å bli mindre og bæreevnen har blitt større, selv om temperaturen er lavere enn referansetemperaturen. Dette er motsatt av hva som skal skje, og åpenbart helt urealistisk. I sluttresultatet ender Zhang opp som den nest dårligste modellen så da har det lite å si, men dersom denne modellen hadde endt opp høyt på lista måtte resultatet blitt forkastet.

Rekkefølgen på de beste modellene endrer seg lite ved bruk av BELLS3 som temperaturestimeringsmodell kontra BELLS. Topp 3 er akkurat likt. Med Lai som temperaturestimeringsmodell er det fortsatt Xiao som kommer best ut, men nå etterfulgt av Dawson og Zhang. For resultatet som er beregnet uten delstrekningene på Rv 36 er det fortsatt de samme modellene som innehar topp 3 plasseringene, men rekkefølgen er endret. Med BELLS og BELLS3 er det Brezina_n som er klart best, med Park_n på en andreplass foran Xiao. Alle modellene på topp 3 gjør det generelt bra og et er vanskelig å velge noen klar vinner blant dem, men ved å legge mindre vekt på de usikre dataene fra Rv 36 er det Brezina_n som er den beste korreksjonsmodellen. Brezina_n fungerer ikke så godt i kombinasjon med Lai som temperaturestimeringsmodell, men med både BELLS og BELLS3 gir den gode resultater både inkludert og ekskludert Rv 36.

6.3.2 Korreksjon av E-moduler

Det er lettere å regne ut et sluttresultat ved korreksjon av E-moduler enn ved korreksjon av nedbøyninger, ettersom det kun er én parameter som analyseres. Dermed er det modellen med lavest RMSE mellom korrigerede E-moduler som er best. Modellen som scorer

best er Rambølls metode, etterfulgt av Appea og Lukanen, men også her er det store variasjoner mellom de ulike delstrekningene. Rambølls metode er best på kun én delstrekning, og nest dårligst på hele tre delstrekninger. Blant strekningene der den gjør det dårlig er begge seksjonene fra NCAT, som teller lite i sluttresultatet. Metoden gjør det relativt bra på den viktige Rv 36, med blant annet nest beste resultat på S11D1. Appea gjør det også relativt bra på Rv 36, i tillegg til å være aller best på S2D1 på Fv 704. Lukanen presterer generelt veldig godt på alle fallodsmålingene i Trondheimsområdet, og har en mer middels score på Rv 36. Felles for alle modellene på topp 3 er at de treffer dårlig på målingene på NCAT.

Det er interessant å legge merke til de absolutte RMSE-verdiene på de forskjellige delstrekningene. På halvparten av delstrekningene gir minst én korreksjonsmodell en høyere RMSE-verdi enn de ukorrigerede målingene. De verste resultatene finnes på Rv 36 S11D1 og S12D1 (både for fallodd mot Raptor og Raptor mot Raptor) der samtlige korreksjonsmodeller gir høyere RMSE-verdier enn de ukorrigerede målingene. Dette bygger videre opp under mistanken om at det er betydelige feil i disse måledataene. Den mest vellykkede korrigeringen skjer på Fv 704 og Fv 6612. Det er generelt disse målingene som gir de «peneste» resultatene som oppfører seg mest teoretisk riktig. Målingene ble gjort med en betydelig temperaturforskjell, noe som fører til en ganske høy RMSE-verdi for de ukorrigerede målingene. Korreksjonen her fungerer godt og gir en solid reduksjon i RMSE.

I likhet med korreksjon av nedbøyninger så er det også her viktig i analysen og ikke kun se på RMSE-verdier, men også vurdere om resultatene er realistiske. På begge delstrekningene på Fv 704 gir Trafikverkets metode en negativ E-modul på deler av strekningen. Dette er åpenbart ikke realistisk. De aller fleste korreksjonsmodellene for E-moduler går ut på at E-modulene multipliseres med en korreksjonsfaktor fra en eksponentiell funksjon, og dette produktet kan aldri bli negativt. Trafikverkets metode derimot bruker heller differansen mellom en teoretisk kurve og den målte verdien. For at dette systemet skal fungere er man avhengig av at den målte E-modulen til asfaltlaget er relativt lik som den teoretiske verdien. Dersom dette avviket blir for stort er det stor sannsynlighet for å ende opp med svært lave eller negative verdier, dersom temperaturen ved måling er lavere enn referansetemperaturen. Rambølls metode er en forbedring av Trafikverkets metode ved at den teoretiske kurven baseres på de målte verdiene i stedet for å være helt konstant. Dette fører til at den korrigerede E-modulen aldri kan bli negativ (gitt at målingen gjennomføres ved en temperatur større enn 0°C, og dette er uansett en forutsetning grunnet frost).

Resultatene med BELLS3 som temperaturestimeringsmodell er veldig like som med BELLS, og topp 3 er helt like. Resultatet for Lai er heller ikke helt ulikt, med Rambølls metode på topp, foran Appea og Trafikverkets metode. Resultatet som er beregnet uten delstrekningene fra Rv 36 derimot gir en ganske annen rekkefølge for beste modeller. Rambølls metode gjør det ikke lenger like bra, og Lukanen tar over som beste modell. Både D_park_e og Brezina_e gjør det bra, mens Appea har falt ned til en helt middels plassering. Med såpass spredning i resultatene er det vanskelig å trekke noen klar konklusjon på hvilken modell som er best totalt sett. Hvis det legges størst vekt på resultatene som ekskluderer de usikre dataene fra Rv 36 så er det Lukanen som er den beste modellen. Lukanen presterer jevnt over godt for alle kombinasjoner av data og temperaturestimeringsmodeller, og vil derfor være et trygt valg.

6.3.3 SVVs metode

Resultatene viser at den enkle metoden som SVV bruker i dag er helt på nivå med de andre modellene som er testet i denne oppgaven. Med BELLS som temperaturestimeringsmodell havner SVVs metode på en tredjeplass bak Park_n og Dawson, men foran Brezina_n, som endte opp som den totalt beste korreksjonsmodellen for nedbøyninger. Også SVVs metode med overflatetemperatur gjør det bra og legger seg inn rett bak Xiao, men fortsatt foran Brezina_n.

Det er overraskende at det kun er med BELLS at det gir bedre resultat å bruke estimert dekketemperatur enn overflatetemperatur. Med BELLS3 gir det akkurat samme resultat som ved bruk av overflatetemperatur, og estimert temperatur fra Lai gir vesentlig dårligere resultat enn ved bruk av overflatetemperatur. Disse resultatene inkluderer all dataen fra Rv 36 så det er noe usikkerhet knyttet til både temperaturer og beregnet bæreevne. I det sammenlagte resultatet uten data fra Rv 36 er SVVs metode bedre med overflatetemperatur enn med estimert dekketemperatur for alle temperaturestimeringsmodellene. Med BELLS og BELLS3 er Brezina_n så vidt bedre, men SVVs metode med overflatetemperatur havner på en klar andreplass. Dette tyder på at metoden SVV bruker i dag gjør det veldig godt sammenlignet med alle de andre modellene som er testet her. Dersom hensikten kun er å skaffe sammenlignbare verdier for bæreevne gir denne modellen tilfredsstillende resultater, spesielt med tanke på hvor enkel den er i bruk.

Igjen må det presiseres at lav RMSE ikke nødvendigvis gir et korrekt resultat, men det har blitt utført en visuell kontroll av resultatene og det virker som at korreksjonen fungerer som forventet.

6.4 Feilkilder og usikkerheter

Sammenligning av fallodd og Raptor

Fallodd gjør stillestående punktmålinger, noe som gjør det enkelt å forholde seg til posisjonen til målepunktet, ettersom det er oppgitt både GPS-koordinater og meterverdi på den aktuelle strekningen. Når det gjøres flere målinger på den samme strekningen er man sikker på at målingene gjøres på nøyaktig det samme punktet, innenfor nøyaktigheten til posisjoneringssystemet. Raptor derimot er verre, ettersom den måler kontinuerlig og leverer utdata som gjennomsnitt over 10-meters strekninger. For hver 10-meters strekning er det kun oppgitt ett GPS-punkt og én meterverdi, og det er ikke kjent om dette punktet er i starten, midten eller slutten av 10-meters strekningen.

Selv om man hadde hatt full kontroll på posisjonen blir det en utfordring når en 10-meters gjennomsnittsverdi fra Raptor skal sammenlignes med en punktmåling fra fallodd. I teorien vil en nybygd vei ha helt konstante lagtykkelser og dermed gi den samme responsen over en hel strekning, og i så fall ville det ikke vært noe problem. I virkeligheten derimot, vil det alltid være variasjoner i lagtykkelser og undergrunn som gjør at responsen til den påførte lasten vil variere over strekningen. Dermed er det ikke sikkert at en gjennomsnittsverdi over 10 meter er direkte sammenlignbar med en punktmåling. Likevel er det antatt at dette er det nærmeste sammenlignbart man kan komme ved

sammenligning av fallodd og Raptor og at det er bedre å sammenligne hver femte 10-metersverdi fra Raptor mot en punktmåling fra fallodd enn å ta gjennomsnittet av fem 10-metersverdier og dermed sammenligne en punktmåling mot et gjennomsnitt over 50 meter.

Raptor på NCAT

At Raptor leverer 10-metersverdier er også en utfordring for målingene på NCAT test track. Ettersom seksjonene kun er 60 meter lange og det er brå overganger i overbygning mellom hver seksjon får man maksimalt 6 datapunkter per seksjon. Det er også store muligheter for at den første og siste 10-metersverdien overlapper mellom to seksjoner, og dermed gir en gjennomsnittsverdi for to ulike overbygninger. Usikkerheten i posisjoneringen av 10-meters strekningene gjør at det er umulig å vite om det overlappes eller ikke. Ved utvelgning av seksjoner for bruk i oppgaven ble det kontrollert at nedbøyningsverdiene i hver ende av seksjonene ikke avvike stort fra de resterende punktene. Likevel er det litt antydning til overlapp i begge ender av seksjon N2.

Rådata Rv 36

Som tidligere nevnt så virker det som at rådataen fra målingene på Rv 36 ikke er helt troverdig. Det har blitt antydning fra SVV at det sannsynligvis er målt en overflatetemperatur som er ca. 7°C for høy med Raptor, uten at det har vært mulig å sikkert fastslå dette. Ved sammenligning av temperaturer fra målingene med temperaturer fra nærliggende klimastasjoner styrkes mistanken om at det er overflatetemperaturen målt med Raptor som har det største avviket fra reell verdi.

Når det kommer til forskjellen i nedbøyningsverdier så er det naturlig at det blir noe avvik mellom fallodd og Raptor ettersom disse belaster veien på en veldig forskjellig måte, men i teorien skal denne ulikheten håndteres av etterregningen og modelleringen som gjøres av Rambøll når de prosesserer måledataen og produserer utdataen. Utdataen fra Raptor er jo nettopp falloddsekvivalente nedbøyninger. En feilkilde som potensielt kan forklare noe av avviket er lagtykkelsene som brukes i etterregningen og modelleringen. Det er ikke kjent hvor lagtykkelsene som brukes i denne prosessen hentes fra, men etter dialog med Rambøll er inntrykket at disse lagtykkelsene ikke nødvendigvis er reelle. Dette kan føre til unøyaktighet i de modellerte nedbøyningene. En annen mulighet er at hvis det i realiteten er fjell i undergrunnen relativt nærme overbygningen og det modelleres med løsmasser i uendelig dybde, vil dette gi unøyaktige modellerte nedbøyninger. Grunnforholdene på strekningen er ikke kjent, men det er sannsynlig at det er fjell på i hvert fall deler av strekningen. Det kan heller ikke vites med sikkerhet om differansen mellom fallodd og Raptor skyldes at fallodden måler for små nedbøyninger eller om Raptor måler for store nedbøyninger, men det antas at fallodd gir de mest korrekte verdiene ettersom dette er velutprøvd måleutstyr som er brukt i mange generasjoner, kontra Raptor som er relativt nyutviklet.

Fordelen med at Raptor måler tilsynelatende både for store nedbøyninger og for høye temperaturer er at dette er feil som motvirker hverandre i korreksjonen. Siden det er snakk om temperaturer som er over referansetemperaturen vil en høyere temperatur gi en større korreksjon, noe som reduserer feilen i nedbøyningene. Dermed vil sluttresultatet sannsynligvis bli bedre ved å bruke rådataene sånn som de er, fremfor å for eksempel justere overflatetemperaturen ned til et nivå nærmere det som er målt med fallodden.

Akkumulert feil

Som resultatene har vist så er det store variasjoner i hvor godt korreksjonen har virket mellom ulike overbygninger og temperaturer. Det er ingen modeller som har prestert utmerket gjennom alle slags forhold. Dette kan delvis forklares med at modellene blir for enkle, og at de ikke bruker nok inputparametere til å klare å tilpasse seg enhver situasjon. Det kan også delvis forklares med at det bygges opp feil gjennom hvert steg i beregningsprosessen som til slutt blir utslagsgivende. Prosessen fra måling til ferdig beregnet resultat er lang og omfattende for nedbøyningsmålinger og en liten unøyaktighet i hvert ledd akkumuleres fort til en betydelig unøyaktighet i sluttresultatet. For en falloddsmåling med korreksjon av nedbøyninger har man følgende prosess-steg med mulighet for unøyaktighet:

- Måling av nedbøyninger
- Måling av luft- og overflatetemperatur
- Innhenting av klimadata
- Estimering av representativ dekketemperatur
- Korreksjon av nedbøyninger
- Bæreevneformelen

Dette er den korteste mulige veien fra måling til korrigeret bæreevne. Dersom det i stedet skal korrigeres E-moduler øker listen, og punktet for korreksjon av nedbøyninger erstattes av følgende punkter:

- Inndeling i H1, H2, H3, variasjoner i overbygningen
- Etterregning av E-moduler
- Korreksjon av E-moduler
- Framoverregning av nedbøyninger

Ved måling med Raptor i stedet for fallodd kommer i tillegg prosessen med å regne om Raptor-nedbøyninger til falloddsekvivalente nedbøyninger. Her kan imidlertid korreksjon av E-moduler inkluderes, for å slippe enda en etterregning og framoverregning. Dette krever samarbeid med Rambøll om korreksjonen skal gjøres på en annen måte enn det de for øyeblikket tilbyr. Det krever også at det benyttes reelle lagtykkelser i etterregningen, slik at korreksjonen blir korrekt.

Det er tydelig at man med en såpass lang beregningsprosess er avhengig av å ha rådata av god kvalitet for å unngå at unøyaktigheten blir stor i sluttresultatet. Korreksjonsmodellene korrigerer ikke feil i rådata og kvaliteten på resultatet blir aldri bedre enn kvaliteten på dataen man starter med.

7 Konklusjon

Gjennom arbeidet med denne oppgaven har det blitt gjort en kartlegging av eksisterende modeller for estimering av dekketemperatur og korreksjon av nedbøyningsmålinger. 10 modeller for estimering av dekketemperatur, 8 modeller for korreksjon av nedbøyninger og 13 modeller for korreksjon av E-moduler ble valgt ut for testing. Majoriteten av modellene er utviklet i enten USA eller Kina, men det er også inkludert modeller fra blant annet Sverige, Litauen og Tsjekkia, noe som sikrer god variasjon i geografisk og klimatisk opphav.

Modellene for estimering av representativ dekketemperatur er testet opp mot målinger av gjennomsnittlig dekketemperatur. Én modell ble utelatt fra testingen på grunn av svært urealistiske resultater, men resten av modellene ga generelt sett relativt bra resultater. Datagrunnlaget som analysen er basert på har begrenset variasjon i værforhold, dekketykkelser og temperaturspekter, og det er derfor vanskelig å trekke noen klar konklusjon på hvilken modell som er best. Resultatene viser imidlertid at det er BELLS som gjør det best, hårfint foran BELLS3 og deretter Lai. I praksis kan det være fordelaktig å bruke BELLS3 ettersom denne kun trenger klimadata fra én dag i forveien, i motsetning til fem for BELLS.

Korreksjonsmodellene for nedbøyninger og E-moduler har blitt testet og analysert separat, ettersom det er ulike parametere som korrigeres. Modellene er testet på fallodds- og Raptormålinger fra 3 ulike områder og totalt 9 ulike delstrekninger. For korreksjon av nedbøyninger er parameterne d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0 - d_{200} analysert. Én av modellene for korreksjon av nedbøyninger ble utelatt fra analysen fordi det viste seg at denne ga svært urealistiske resultater. Det er til dels store variasjoner i resultatet mellom de ulike delstrekningene, men etter en helhetsvurdering er det Brezina_n som vurderes som best. Park_n og Xiao er også sterke kandidater.

For korreksjon av E-moduler har det først blitt etterregnet E-moduler fra nedbøyningsdataen ved hjelp av dataprogrammet ELMOD6. Deretter er de ulike korreksjonsmodellene brukt til å korrigere E-modulen til asfaltlaget. Også her er det en del variasjon i resultatet mellom de ulike delstrekningene, men etter en helhetsvurdering er det Lukanen som generelt gir best resultater. Rambølls metode og D_park_e gir også gode resultater.

Formelen som Statens Vegvesen bruker til temperaturkalibrering i dag har blitt sammenlignet med korreksjonsmodellene for nedbøyninger, og gir gode resultater. Dersom hensikten med korreksjonen er å få sammenlignbare verdier for målinger som er utført ved forskjellige temperaturer er dette en god måte å gjøre det på, spesielt tatt i betraktning hvor enkel metoden er i bruk.

7.1 Videre arbeid

Fra før har det vært relativt lite fokus på temaet temperaturkorleksjon i forbindelse med nedbøyningsmålinger i Norge. Arbeidet som er gjort i denne masteroppgaven vil være et godt bidrag, men det er mye som kan gjøres for å bygge videre på og forbedre resultatene. De viktigste punktene er oppsummert her:

- Gjøre flere målinger av dekketemperatur for å skaffe mer data som kan validere temperaturestimeringsmodeller. Hvis det for eksempel gjøres en måling av dekketemperaturen før og etter hver nedbøyningsmåling vil det over tid bygges opp en database med data som kan brukes til testing og validering av temperaturestimeringsmodeller.
- Framoverregne nedbøyninger fra korrigerede E-moduler. Dette gjør det mulig å sammenligne nedbøyninger og bæreevne som er korrigeret med to forskjellige prinsipper. Dermed er det mulig å få en indikasjon på om det er best å korrigere nedbøyninger direkte eller å gå via E-moduler.
- Forbedre/utvikle nye temperaturestimeringsmodeller med data fra målinger i Norge. Hvis det på et tidspunkt i framtida er samlet inn tilstrekkelig med temperaturdata er det mulig å enten forbedre eksisterende eller lage en ny temperaturestimeringsmodell, spesielt tilpasset til norske forhold. Det er for eksempel mulig å kalibrere koeffisientene i BELLS-modellene med egen data, slik som det er gjort med BELLS2 kalibrert.
- Teste korleksjonsmodellene på større mengder data. For å validere resultatene i denne oppgaven bør korleksjonsmodellene testes på mer data. Dataene bør hentes fra strekninger der man er helt sikker på lagtykkelser og materialer i overbygningen og det bør være tilstrekkelige temperaturforskjeller mellom målingene.

Litteraturliste

- Akbarzadeh, H., Bayat, A. og R Soleymani, H. (2012) Analytical Review of the HMA Temperature Correction Factors from Laboratory and Falling Weight Deflectometer Tests, *International Journal of Pavement Research & Technology*, 5(1). Tilgjengelig fra: <http://www.ijprt.org.tw/files/sample/V5N1%2830-39%29.pdf> (Hentet: 19.1.2022).
- Ali, H. A. og Lopez, A. (1996) Statistical Analyses of Temperature and Moisture Effects on Pavement Structural Properties Based on Seasonal Monitoring Data, *Transportation Research Record*, 1540(1). <https://doi.org/10.1177/0361198196154000107>
- Appea, A. K. (2003) *Validation of FWD testing results at the Virginia Smart Road: Theoretically and by instrument responses*, Virginia Tech. Tilgjengelig fra: <http://hdl.handle.net/10919/26715> (Hentet: 22.3.2022).
- Březina, I., Machel, O. og Zavřel, T. (2022) Temperature Correction of Deflections and Backcalculated Elasticity Moduli Determined from Falling Weight Deflectometer Measurements on Asphalt Pavements, *Communications - Scientific letters of the University of Zilina*, 24(1). <https://doi.org/10.26552/com.C.2022.1.D1-D8>
- Chang, J.-R. et al. (2002) Evaluating the Structural Strength of Flexible Pavements in Taiwan Using the Falling Weight Deflectometer, *International Journal of Pavement Engineering*, 3(3). <https://doi.org/10.1080/1029843021000067854>
- Chen, D.-H. et al. (2000) Temperature Correction on Falling Weight Deflectometer Measurements, *Transportation Research Record*, 1716(1). <https://doi.org/10.3141/1716-04>
- Chen, J., Wang, H. og Xie, P. (2019) Pavement temperature prediction: Theoretical models and critical affecting factors, *Applied Thermal Engineering*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.113755>
- Dahlen, J. (2015) *Lærebok Drift og vedlikehold av veger*. Nr. 365. Statens Vegvesen.
- Dawson, T. et al. (2016) Global Procedure for Temperature Adjustment of Measured Pavement Deflection Data: Based on the Long-Term Pavement Performance Seasonal Monitoring Program, *Transportation Research Record*, 2589(1). <https://doi.org/10.3141/2589-16>
- Diefenderfer, B. K., Al-Qadi, I. L. og Diefenderfer, S. D. (2006) Model to Predict Pavement Temperature Profile: Development and Validation, *Journal of Transportation Engineering*, 132(2). Tilgjengelig fra: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-947X%282006%29132%3A2%28162%29> (Hentet: 26.1.2022).
- Dynatest (2019) Presentasjon av Raptor under besøk hos SVV Region midt 25.09.2019.
- Dynatest (u.å.-a) Theory of elasticity, fra dokumentasjon i ELMOD6.
- Dynatest (u.å.-b) Non-linearity, fra dokumentasjon i ELMOD6.
- Fernando, E. G., Liu, W. og Ryu, D. (2001) *Development of a procedure for temperature correction of backcalculated AC modulus*. Texas Transportation Institute, Texas A & M University System. Tilgjengelig fra: <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/1863-1.pdf> (Hentet: 22.3.2022).

Gedafa, D. S., Hossain, M. og Romanoschi, S. A. (2013) Prediction of Asphalt Pavement Temperature, *Airfield and Highway Pavement 2013*.
<https://doi.org/10.1061/9780784413005.029>

Hermansson, Å. (2000) Simulation Model for Calculating Pavement Temperatures Including Maximum Temperature, *Transportation Research Record*, 1699(1).
<https://doi.org/10.3141/1699-19>

Johnson, A. M. og Baus, R. L. (1992) Alternative method for temperature correction of backcalculated equivalent pavement moduli, *Transportation Research Record*, (1355).
Tilgjengelig fra: <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1992/1355/1355-009.pdf>
(Hentet: 22.3.2022).

Karolinska Institutet (u.å.) *Structured literature reviews – A guide for students*.
Tilgjengelig fra: <https://kib.ki.se/en/search-evaluate/systematic-reviews/structured-literature-reviews-guide-students> (Hentet: 12.11.2021).

Kassem, E. et al. (2020) *Development of Pavement Temperature Prediction Model*. Idaho. Transportation Department. Tilgjengelig fra:
<https://apps.itd.idaho.gov/apps/research/Completed/RP279.pdf> (Hentet: 9.2.2022).

Lai, J.-C., Liu, J. og Huang, C.-W. (2020) The Application of Frequency-Temperature Superposition Principle for Back-Calculation of Falling Weight Deflectometer, *Applied Sciences*, 10(1). Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.3390/app10010132>.

Lukanen, E. O. et al. (2000) *Temperature predictions and adjustment factors for asphalt pavement*. Turner-Fairbank Highway Research Center. Tilgjengelig fra:
<https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/15368> (Hentet: 10.2.2022).

Madsen, S. S. (2016) *Dynamic Modeling of Pavements with Application to Deflection Measurements*. PhD, Technical University of Denmark. Tilgjengelig fra:
<https://orbit.dtu.dk/en/publications/dynamic-modeling-of-pavements-with-application-to-deflection-meas> (Hentet: 11.10.2021).

Madsen, S. S. og Pedersen, N. L. (2019) Backcalculation of Raptor (RWD) Measurements and Forward Prediction of FWD Deflections Compared with FWD Measurements, *Airfield and Highway Pavements 2019*. <https://doi.org/10.1061/9780784482452.038>

Mork, H. (2021) *Bereevne for eksisterande veg*. Notat 991. Institutt for bygg- og miljøteknikk.

Mun Park, H., Kim, Y. R. og Park, S. (2002) Temperature Correction of Multiload-Level Falling Weight Deflectometer Deflections, *Transportation Research Record*, 1806(1).
<https://doi.org/10.3141/1806-01>

Odemark, N. (1949) Undersökning av elasticitetsegenskaparna hos olika jordarter samt teori för beräkning av beläggningar enligt elasticitetsteorin. Tilgjengelig fra:
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:867287/FULLTEXT01.pdf> (Hentet: 31.3.2022).

Pais, J. et al. (2020) The adjustment of pavement deflections due to temperature variations, *International Journal of Pavement Engineering*, 21(13).
<https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1557334>

Paliukaite, M. og Vaitkus, A. (2011) ANALYSIS OF TEMPERATURE AND MOISTURE INFLUENCE ON ASPHALT PAVEMENT STRENGTH (b. 8). Vilnius: Vilnius Gediminas

Technical University, Department of Construction Economics & Property. Tilgjengelig fra: <https://www.proquest.com/docview/1462757467?pg-origsite=gscholar&fromopenview=true> (Hentet: 2.2.2022).

Park, D.-Y., Buch, N. og Chatti, K. (2001) Effective Layer Temperature Prediction Model and Temperature Correction via Falling Weight Deflectometer Deflections, *Transportation Research Record*, 1764(1). <https://doi.org/10.3141/1764-11>

Rambøll (2021) *Ramboll's Raptor® Technology Is Rolling out on the Road*. Tilgjengelig fra: <https://ramboll.com/media/rgr/ramboll-raptor-technology-rolling-out> (Hentet: 1.12.2021).

Statens Vegvesen (2018) N200 Vegbygging. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-n200-vegbygging-juli-2018.pdf> (Hentet: 16.11.2021).

Statens Vegvesen (2021a) *Bæreevne*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/vegteknologi/tilstandsregistrering-pa-veg/bareevne/> (Hentet: 7.11.2021).

Statens Vegvesen (2021b) *Håndbok R211 Feltundersøkelser*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/r211-feltundersokelser-2021.pdf> (Hentet: 9.11.2021).

Statens Vegvesen (2021c) Full fart når Statens vegvesen måler riksveggenes bæreevne med laser, *NTB*. Tilgjengelig fra: <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/full-fart-nar-statens-vegvesen-maler-riksveggenes-baareevne-med-laser?publisherId=17847490&releaseId=17916944> (Hentet: 1.12.2021).

Statens Vegvesen (2022) *Håndbok V230 Forsterkning av veger*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/v230.pdf> (Hentet: 3.5.2022).

Stubstad, R. et al. (1994) Prediction of AC mat temperatures for routine load/deflection measurements, *4th International Conference, Bearing Capacity of Roads and Airfields* FHWA, U of Minnesota, Army Corps of Engineers, NRC Canada, FAA, 1. Tilgjengelig fra: <https://trid.trb.org/view/469214> (Hentet: 3.2.2022).

Trafikverket (2012) TRVMB 114 Bearbeiting av defleksjonsmåtdata, erhållna vid provbelastning av väg med FWD-apparat, s. 17-18. Tilgjengelig fra: <http://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1542361/FULLTEXT01.pdf> (Hentet: 8.12.2021).

Wei, J., Wang, L. og Xie, G. (2011) Correction Factor of In Situ Back-Calculated Modulus and Laboratory Dynamic Modulus for Pavement Asphalt Layer, *Pavements and Materials*. [https://doi.org/10.1061/47623\(402\)19](https://doi.org/10.1061/47623(402)19)

Wohlin, C. (2014) Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering, *Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*. <https://doi.org/10.1145/2601248.2601268>

Xiao, Q. et al. (2020) Temperature Correction Method of Deflection Basin and Stress/Strain Response of Asphalt Pavement. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55236-7_62

Zhang, B., Sonyok, D. R. og Zhang, J. (2008) Temperature Effects on Falling Weight Deflectometer Measurement, *GeoCongress 2008*. [https://doi.org/10.1061/40972\(311\)50](https://doi.org/10.1061/40972(311)50)

Zheng, Y., Zhang, P. og Liu, H. (2017) Correlation between pavement temperature and deflection basin form factors of asphalt pavement, *International Journal of Pavement Engineering*, 20(8). <https://doi.org/10.1080/10298436.2017.1356172>

Zhou, L. (2014) Temperature Correction Factor for Pavement Moduli Back-Calculated from Falling Weight Deflectometer Test *CICTP 2014*.
<https://doi.org/10.1061/9780784413623.105>

Vedlegg

Vedlegg 1 – Dokumentasjon av litteratursøk

Vedlegg 2 – Resultat for korreksjon av nedbøyninger

Vedlegg 3 – Resultat for korreksjon av E-moduler

Vedlegg 4 – Sammenlagt resultat ekskludert data fra Rv 36

Figurer i vedlegg

| | |
|--|----|
| Figur 1 Temperaturutvikling på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei | 22 |
| Figur 2 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av d_0 for alle korreksjonsmodeller på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei..... | 23 |
| Figur 3 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei | 23 |
| Figur 4 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av bæreevne for alle korreksjonsmodeller på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei..... | 24 |
| Figur 5 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av d_0 - d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei | 24 |
| Figur 6 Plott av absolutte RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei | 25 |
| Figur 7 Plott av relative RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei | 26 |
| Figur 8 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0 - d_{200} på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei..... | 27 |
| Figur 9 Temperaturutvikling på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100 | 28 |
| Figur 10 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av d_0 for alle korreksjonsmodeller på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100 | 28 |
| Figur 11 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100 | 29 |
| Figur 12 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av bæreevne for alle korreksjonsmodeller på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100 | 29 |
| Figur 13 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av d_0 - d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100..... | 30 |
| Figur 14 Plott av absolutte RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100 | 31 |
| Figur 15 Plott av relative RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100 | 31 |
| Figur 16 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0 - d_{200} på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100 | 32 |
| Figur 17 Temperaturutvikling på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100 | 33 |
| Figur 18 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av d_0 for alle korreksjonsmodeller på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100 | 33 |
| Figur 19 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100 | 34 |
| Figur 20 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av bæreevne for alle korreksjonsmodeller på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100 | 34 |
| Figur 21 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av d_0 - d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100..... | 35 |
| Figur 22 Plott av absolutte RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100 | 36 |
| Figur 23 Plott av relative RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100 | 36 |
| Figur 24 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0 - d_{200} på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100 | 37 |
| Figur 25 Temperaturutvikling på Rv 36 S3D1 m2800-6000 | 38 |
| Figur 26 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av d_0 for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S3D1 m2800-6000 | 38 |

| | |
|---|----|
| Figur 27 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S3D1 m2800-6000 | 39 |
| Figur 28 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av bæreevne for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S3D1 m2800-6000 | 39 |
| Figur 29 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 - d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S3D1 m2800-6000 | 40 |
| Figur 30 Plott av absolutte RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S3D1 m2800-6000 | 41 |
| Figur 31 Plott av relative RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S3D1 m2800-6000 | 41 |
| Figur 32 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0 - d_{200} på Rv 36 S3D1 m2800-6000 | 42 |
| Figur 33 Temperaturutvikling på Rv 36 S11D1 m850-5750 | 43 |
| Figur 34 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S11D1 m850-5750 | 43 |
| Figur 35 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S11D1 m850-5750 | 44 |
| Figur 36 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av bæreevne for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S11D1 m850-5750 | 44 |
| Figur 37 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 - d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S11D1 m850-5750 | 45 |
| Figur 38 Plott av absolutte RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S11D1 m850-5750 | 46 |
| Figur 39 Plott av relative RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S11D1 m850-5750 | 46 |
| Figur 40 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0 - d_{200} på Rv 36 S11D1 m850-5750 | 47 |
| Figur 41 Temperaturutvikling på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor) | 48 |
| Figur 42 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor) | 48 |
| Figur 43 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor) | 49 |
| Figur 44 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av bæreevne for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor) | 49 |
| Figur 45 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 - d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor) | 50 |
| Figur 46 Plott av absolutte RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor) | 51 |
| Figur 47 Plott av relative RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor) | 51 |
| Figur 48 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0 - d_{200} på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor) | 52 |
| Figur 49 Temperaturutvikling på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor) | 53 |
| Figur 50 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor) | 53 |
| Figur 51 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor) | 54 |
| Figur 52 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av bæreevne for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor) | 54 |
| Figur 53 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 - d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor) | 55 |
| Figur 54 Plott av absolutte RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor) | 56 |

| | |
|--|----|
| Figur 55 Plott av relative RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor)..... | 56 |
| Figur 56 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor) | 57 |
| Figur 57 Temperaturutvikling på NCAT test track seksjon N2 | 58 |
| Figur 58 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 for alle korreksjonsmodeller på NCAT test track seksjon N2..... | 58 |
| Figur 59 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_{200} for alle korreksjonsmodeller på NCAT test track seksjon N2..... | 59 |
| Figur 60 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av bæreevne for alle korreksjonsmodeller på NCAT test track seksjon N2..... | 59 |
| Figur 61 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0-d_{200} for alle korreksjonsmodeller på NCAT test track seksjon N2 | 60 |
| Figur 62 Plott av absolutte RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på NCAT test track seksjon N2 | 61 |
| Figur 63 Plott av relative RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på NCAT test track seksjon N2 | 61 |
| Figur 64 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} på NCAT test track seksjon N2..... | 62 |
| Figur 65 Temperaturutvikling på NCAT test track seksjon N10..... | 63 |
| Figur 66 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 for alle korreksjonsmodeller på NCAT test track seksjon N10..... | 63 |
| Figur 67 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_{200} for alle korreksjonsmodeller på NCAT test track seksjon N10..... | 64 |
| Figur 68 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av bæreevne for alle korreksjonsmodeller på NCAT test track seksjon N10 | 64 |
| Figur 69 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0-d_{200} for alle korreksjonsmodeller på NCAT test track seksjon N10 | 65 |
| Figur 70 Plott av absolutte RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på NCAT test track seksjon N10..... | 66 |
| Figur 71 Plott av relative RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på NCAT test track seksjon N10..... | 66 |
| Figur 72 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} på NCAT test track seksjon N10..... | 67 |
| Figur 73 Etterregnedede E-moduler for måling 1 på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei | 68 |
| Figur 74 Etterregnedede E-moduler for måling 2 på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei | 68 |
| Figur 75 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av E1 for alle korreksjonsmodeller på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei | 69 |
| Figur 76 Plott av absolutte RMSE-verdier for E1 på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei...70 | |
| Figur 77 Plott av relative RMSE-verdier for E1 på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei | 71 |
| Figur 78 Plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei..... | 71 |
| Figur 79 Etterregnedede E-moduler for måling 1 på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100.....72 | |
| Figur 80 Etterregnedede E-moduler for måling 2 på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100.....72 | |
| Figur 81 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av E1 for alle korreksjonsmodeller på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100 | 73 |
| Figur 82 Plott av absolutte RMSE-verdier for E1 på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100 ..74 | |
| Figur 83 Plott av relative RMSE-verdier for E1 på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100 | 74 |
| Figur 84 Plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100..... | 75 |
| Figur 85 Etterregnedede E-moduler for måling 1 på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100.....75 | |
| Figur 86 Etterregnedede E-moduler for måling 2 på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100.....76 | |

| | |
|---|----|
| Figur 87 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av E1 for alle korreksjonsmodeller på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100 | 76 |
| Figur 88 Plott av absolutte RMSE-verdier for E1 på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100 .. | 77 |
| Figur 89 Plott av relative RMSE-verdier for E1 på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100 | 78 |
| Figur 90 Plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100 | 78 |
| Figur 91 Etterregnedede E-moduler for fallodd på Rv 36 S3D1 m2800-6000..... | 79 |
| Figur 92 Etterregnedede E-moduler for Raptor på Rv 36 S3D1 m2800-6000..... | 79 |
| Figur 93 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av E1 for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S3D1 m2800-6000 | 80 |
| Figur 94 Plott av absolutte RMSE-verdier for E1 på Rv 36 S3D1 m2800-6000 | 81 |
| Figur 95 Plott av relative RMSE-verdier for E1 på Rv 36 S3D1 m2800-6000 | 81 |
| Figur 96 Plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler på Rv 36 S3D1 m2800-6000..... | 82 |
| Figur 97 Etterregnedede E-moduler for fallodd på Rv 36 S11D1 m850-5750..... | 82 |
| Figur 98 Etterregnedede E-moduler for Raptor på Rv 36 S11D1 m850-5750..... | 83 |
| Figur 99 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av E1 for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S11D1 m850-5750 | 83 |
| Figur 100 Plott av absolutte RMSE-verdier for E1 på Rv 36 S11D1 m850-5750..... | 84 |
| Figur 101 Plott av relative RMSE-verdier for E1 på Rv 36 S11D1 m850-5750 | 85 |
| Figur 102 Plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler på Rv 36 S11D1 m850-5750..... | 85 |
| Figur 103 Etterregnedede E-moduler for fallodd på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor) | 86 |
| Figur 104 Etterregnedede E-moduler for Raptor på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor) | 86 |
| Figur 105 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av E1 for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor)..... | 87 |
| Figur 106 Plott av absolutte RMSE-verdier for E1 på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor) | 88 |
| Figur 107 Plott av relative RMSE-verdier for E1 på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor) | 88 |
| Figur 108 Plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor) | 89 |
| Figur 109 Etterregnedede E-moduler for måling 1 på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor) | 89 |
| Figur 110 Etterregnedede E-moduler for måling 2 på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor) | 90 |
| Figur 111 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av E1 for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor)..... | 90 |
| Figur 112 Plott av absolutte RMSE-verdier for E1 på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor) | 91 |
| Figur 113 Plott av relative RMSE-verdier for E1 på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor) | 92 |
| Figur 114 Plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor) | 92 |
| Figur 115 Etterregnedede E-moduler for måling 1 på NCAT test track seksjon N2 | 93 |
| Figur 116 Etterregnedede E-moduler for måling 2 på NCAT test track seksjon N2 | 93 |
| Figur 117 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av E1 for alle korreksjonsmodeller på NCAT test track seksjon N2..... | 94 |
| Figur 118 Plott av absolutte RMSE-verdier for E1 på NCAT test track seksjon N2 | 95 |
| Figur 119 Plott av relative RMSE-verdier for E1 på NCAT test track seksjon N2..... | 95 |
| Figur 120 Plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler på NCAT test track seksjon N2 .. | 96 |
| Figur 121 Etterregnedede E-moduler for måling 1 på NCAT test track seksjon N10..... | 96 |
| Figur 122 Etterregnedede E-moduler for måling 2 på NCAT test track seksjon N10..... | 97 |

| | |
|---|----|
| Figur 123 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av E1 for alle korreksjonsmodeller på NCAT test track seksjon N10..... | 97 |
| Figur 124 Plott av absolutte RMSE-verdier for E1 på NCAT test track seksjon N10 | 98 |
| Figur 125 Plott av relative RMSE-verdier for E1 på NCAT test track seksjon N10..... | 99 |
| Figur 126 Plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler på NCAT test track seksjon N10 | 99 |

Tabeller i vedlegg

| | |
|---|-----|
| Tabell 1 Kjent litteratur | 7 |
| Tabell 2 Nøkkelord | 8 |
| Tabell 3 Litteratursøk steg 1 | 9 |
| Tabell 4 Litteratursøk steg 2 | 17 |
| Tabell 5 Litteratursøk steg 3 | 20 |
| Tabell 6 RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei | 25 |
| Tabell 7 RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100 | 30 |
| Tabell 8 RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100 | 35 |
| Tabell 9 RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S3D1 m2800-6000 | 40 |
| Tabell 10 RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S11D1 m850-5750 | 45 |
| Tabell 11 RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor) | 50 |
| Tabell 12 RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor) | 55 |
| Tabell 13 RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på NCAT test track seksjon N2 | 60 |
| Tabell 14 RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på NCAT test track seksjon N10 | 65 |
| Tabell 15 Gjennomsnittlige etterregnede E-moduler for Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei | 69 |
| Tabell 16 RMSE-verdier for E-moduler på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei | 70 |
| Tabell 17 Gjennomsnittlige etterregnede E-moduler for Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100 | 72 |
| Tabell 18 RMSE-verdier for E-moduler på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100 | 73 |
| Tabell 19 Gjennomsnittlige etterregnede E-moduler for Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100 | 76 |
| Tabell 20 RMSE-verdier for E-moduler på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100 | 77 |
| Tabell 21 Gjennomsnittlige etterregnede E-moduler for Rv 36 S3D1 m2800-6000 | 79 |
| Tabell 22 RMSE-verdier for E-moduler på Rv 36 S3D1 m2800-6000 | 80 |
| Tabell 23 Gjennomsnittlige etterregnede E-moduler for Rv 36 S11D1 m850-5750 | 83 |
| Tabell 24 RMSE-verdier for E-moduler på Rv 36 S11D1 m850-5750 | 84 |
| Tabell 25 Gjennomsnittlige etterregnede E-moduler for Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor) | 86 |
| Tabell 26 RMSE-verdier for E-moduler på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor) | 87 |
| Tabell 27 Gjennomsnittlige etterregnede E-moduler for Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor) | 90 |
| Tabell 28 RMSE-verdier for E-moduler på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor) | 91 |
| Tabell 29 Gjennomsnittlige etterregnede E-moduler for NCAT test track seksjon N2 | 93 |
| Tabell 30 RMSE-verdier for E-moduler på NCAT test track seksjon N2 | 94 |
| Tabell 31 Gjennomsnittlige etterregnede E-moduler for NCAT test track seksjon N10 | 97 |
| Tabell 32 RMSE-verdier for E-moduler på NCAT test track seksjon N10 | 98 |
| Tabell 33 Sammenlagt resultat av nedbøyningskorreksjon ekskludert data fra Rv 36 .. | 100 |
| Tabell 34 Sammenlagt resultat av E-modulkorreksjon ekskludert data fra Rv 36 | 100 |
| Tabell 35 Sammenlagt resultat for korreksjon av bæreevne ekskludert data fra Rv 36 | 101 |

Vedlegg 1

Dokumentasjon av litteratursøk

Tabell 1 Kjent litteratur

| Tillegnet fra | Forfatter | Tittel | År |
|--|---|---|------|
| Tidligere masteroppgave på instituttet | Vegar Antonsen | Måling med Traffic Speed Deflectometer på riks- og fylkesveger i Hedmark høsten 2015 | 2016 |
| Lærebok BYG3333 Bygging, drift og vedlikehold av veg | Jon Dahlen | Lærebok Drift og vedlikehold av veger | 2015 |
| Presentasjon mottatt på mail fra SVV | Dynatest | Dynatest Raptor Statens Vegvesen | 2019 |
| Nøkkelperson Rambøll | Stine Skov Madsen | Dynamic Modeling of Pavements with Application to Deflection Measurements | 2016 |
| Nøkkelperson Rambøll | Stine Skov Madsen, Niels Leergaard Pedersen | Backcalculation of Raptor (RWD) Measurements and Forward Prediction of FWD Deflections Compared with FWD Measurements | 2019 |
| Pensumlitteratur TBA4218 Vegteknologi | Helge Mork | Bereevne for eksisterande veg, notat 991 | 2021 |
| Vegvesen.no | Statens Vegvesen | Håndbok N200 Vegbygging | 2021 |
| Vegvesen.no | Statens Vegvesen | Håndbok R211 Feltundersøkelser | 2021 |
| Vegvesen.no | Statens Vegvesen | Håndbok V239 Forsterkning av veger | 2022 |

Tabell 2 Nøkkelord

| Engelsk | Norsk |
|------------------------|--------------------------|
| Bearing capacity | Bæreevne |
| Temperature | Temperatur |
| Temperature correction | Temperaturkorreksjon |
| Deflection | Nedbøyning |
| Pavement | Veioverbygning |
| Pavement model | Modell av veioverbygning |
| Backcalculation | Etterregning |
| Raptor | Raptor |
| FWD | Fallodd |
| RWD | - |

I mange tilfeller er det flere ulike kombinasjoner av søkeord som gir de samme treffene. I Tabell 3 er alle duplikatene fjernet, slik at hver artikkel kun vises én gang. Dette fører til at det for noen søk er oppgitt et antall relevante treff som ikke stemmer med antall viste treff i listen.

| |
|----------------|
| Mislykket søk |
| Vellykket søk |
| Relevant treff |

Tabell 3 Litteratursøk steg 1

| Søkemotor | Søkeord | Søkeord finnes i | Filter | Totalt antall treff | Relevante treff | Forfatter | Tittel | År | Konklusjon |
|-----------|---|-----------------------------|--------|---------------------|-----------------|---|--|------|-------------------------|
| Scopus | "bearing capacity" AND "temperature correction" | Tittel, abstract, nøkkelord | | 9 | 5 | | | | |
| | | | | | | Březina, I., Machel, O., Zavřel, T. | Temperature correction of deflections and backcalculated elasticity moduli determined from falling weight deflectometer measurements on asphalt pavements | 2022 | Relevant |
| | | | | | | Oshone, M., Elshaer, M., Dave, E., Daniel, J.S. | Evolution of asphalt modulus from falling weight deflectometer tests and challenges associated with its interpretation and applications: A case study using ltp data | 2017 | Fulltekst utilgjengelig |
| | | | | | | Flores, J.M., Le Van, P., Park, C.K., Kim, W., Lee, H.J. | Development of a frequency temperature correction model for fwd back-calculated moduli based on frequency-temperature superposition principle | 2017 | Fulltekst utilgjengelig |
| | | | | | | Ya Li Ye, Chuan Yi Zhuang, Ren Feng Zhang | A Method for Temperature Correction of HMA Dynamic Modulus | 2012 | Fulltekst utilgjengelig |
| | | | | | | Straube E.a, Jansen D.a | Temperature correction of falling weight deflectometer measurements | 2009 | Fulltekst utilgjengelig |
| Scopus | "bearing capacity" AND pavement AND temperature | Tittel, abstract, nøkkelord | | 203 | | | | | For mange treff |
| Scopus | "bearing capacity" AND pavement AND temperature | Tittel | | 3 | 3 | | | | |
| | | | | | | Vaitkus, A., Žalimiene, L., Židanavičiute, J., Žilioniene, D. | Influence of temperature and moisture content on pavement bearing capacity with improved subgrade | 2019 | Relevant |
| | | | | | | Chou, C.-P., Lin, Y.-C., Chen, A.-C. | Temperature adjustment for light weight deflectometer application of evaluating asphalt pavement structural bearing capacity | 2017 | Potensielt relevant |
| | | | | | | Komačka, J., Korenko, M., Piala, J. | Relation of temperature changes in asphalt pavements to pavement bearing capacity evaluation | 2007 | Fulltekst utilgjengelig |
| Scopus | "bearing capacity" AND RWD | Tittel, abstract, nøkkelord | | 1 | 0 | | | | Ingen relevante treff |
| Scopus | temperature AND pavement AND backcalculation | Tittel, abstract, nøkkelord | | 67 | | | | | For mange treff |
| Scopus | "temperature correction" AND pavement AND backcalculation | Tittel, abstract, nøkkelord | | 4 | 1 | | | | |

| Søkemotor | Søkeord | Søkeord finnes i | Filter | Totalt antall treff | Relevante treff | Forfatter | Tittel | År | Konklusjon |
|-----------|--|-----------------------------|--------|---------------------|-----------------|---|---|------|-------------------------|
| | | | | | | Licheng Guo, Guodong Zeng, Xiangpeng Yan, Wenjuan Wu and Jincheng Wei | Research on Variation Law of Back-Calculation Modulus of Asphalt Pavement Layer | 2020 | Potensielt relevant |
| Scopus | temperature AND pavement AND deflection | Tittel, abstract, nøkkelord | | 461 | | | | | For mange treff |
| Scopus | temperature AND pavement AND deflection | Tittel | | 18 | 7 | | | | |
| | | | | | | Jorge Pais, Caio Santos, Paulo Pereira & Kamil Kaloush | The adjustment of pavement deflections due to temperature variations | 2020 | Relevant |
| | | | | | | Qian Xiao, Xu Dong Wang, Xing Ye Zhou, Lei Zhang, Wei Guan | Temperature Correction Method of Deflection Basin and Stress/Strain Response of Asphalt Pavement | 2020 | Relevant |
| | | | | | | Yuanxun Zheng, Peng Zhang, Heng Liu | Correlation between pavement temperature and deflection basin form factors of asphalt pavement | 2017 | Relevant |
| | | | | | | Tyler Dawson, Gilbert Baladi, Gopikrishna Musunuru | Global Procedure for Temperature Adjustment of Measured Pavement Deflection Data: Based on the Long-Term Pavement Performance Seasonal Monitoring Program | 2016 | Relevant |
| | | | | | | Hu Honglong | Asphalt Pavement Deflection due to a Circular Load and Temperature Modified Coefficient | 2014 | Relevant |
| | | | | | | Ramos García, J. Antonio ; Castro, María | Analysis of the temperature influence on flexible pavement deflection | 2011 | Relevant |
| Scopus | "temperature correction" AND "pavement model" | Tittel, abstract, nøkkelord | | | | | | | Ingen treff |
| Scopus | "temperature correction" AND pavement AND deflection | Tittel, abstract, nøkkelord | | 29 | 20 | | | | |
| | | | | | | Hamad Bin Muslim, Syed Waqar Haider, Karim Chatti | Seasonal and diurnal variations of back-calculated layer moduli in flexible pavement and FWD testing guidelines | 2021 | Relevant |
| | | | | | | Jung-Chun Lai, Jung Liu, Chien-Wei Huang | The Application of Frequency-Temperature Superposition Principle for Back-Calculation of Falling Weight Deflectometer | 2019 | Potensielt relevant |
| | | | | | | Song, Xiaojin; Fan, Liang | Temperature correction coefficient for dynamic deflection of asphalt pavement based on FWD | 2018 | Fulltekst utilgjengelig |
| | | | | | | M. Broutin, A. Duprey | Towards Improved Temperature Correction for NDT Data Analyses | 2017 | Relevant |
| | | | | | | Liang Zhou | Temperature Correction Factor for Pavement Moduli Back-Calculated from Falling Weight Deflectometer Test | 2014 | Relevant |
| | | | | | | Gedafa, D.S., Hossain, M., Romanoschi, S.A. | Prediction of Asphalt Pavement Temperature | 2013 | Relevant |

| Søkemotor | Søkeord | Søkeord finnes i | Filter | Totalt antall treff | Relevante treff | Forfatter | Tittel | År | Konklusjon |
|-----------|----------------------------------|-----------------------------|--------|---------------------|-----------------|---|---|------|-------------------------|
| | | | | | | Akbarzadeh, Hossein; Bayat, Alireza; Soleyma ni, Hamid R. | Analytical review of the HMA temperature correction factors from laboratory and falling weight Deflectometer tests | 2012 | |
| | | | | | | Zheng, Y., Wang, F., Kang, H., Cai, Y. | Field study of temperature correction of deflection for AC | 2010 | Fulltekst utilgjengelig |
| | | | | | | Zhang, B., Sonyok, D.R., Zhang, J. | Temperature Effects on Falling Weight Deflectometer Measurement | 2008 | Relevant |
| | | | | | | Hee Mun Park, Y. Richard Kim, Sunwoo Park | Temperature Correction of Multiload-Level Falling Weight Deflectometer Deflections | 2002 | Relevant |
| | | | | | | Park, Dong-Yeob; Buch, Neeraj; Chatti, Karim | Effective layer temperature prediction model and temperature correction via falling weight deflectometer deflections | 2001 | Relevant |
| | | | | | | Chen, D.-H., Bilyeu, J., Lin, H.-H., Murphy, M. | Temperature Correction on Falling Weight Deflectometer Measurements | 2000 | Relevant |
| | | | | | | Park, S.W., Kim, Y.R. | Temperature Correction of Backcalculated Moduli and Deflections Using Linear Viscoelasticity and Time-Temperature Superposition | 1997 | Relevant |
| | | | | | | Hesham A. Ali, Aramis Lopez | Statistical Analyses of Temperature and Moisture Effects on Pavement Structural Properties Based on Seasonal Monitoring Data | 1996 | Potensielt relevant |
| Scopus | "temperature correction" AND FWD | Tittel, abstract, nøkkelord | | 34 | 23 | | | | |
| | | | | | | Song Xiao-jin, Zeng Meng-lan | Temperature Correction Method for Asphalt Pavement Dynamic Deflection | 2017 | Relevant |
| | | | | | | Plati, C., Papavasiliou, V., Loizos, A., Tsaimou, C. | Implementation of algorithms for asphalt moduli temperature correction | 2014 | Fulltekst utilgjengelig |
| | | | | | | Wei, J., Wang, L., Xie, G. | Correction Factor of In Situ Back-Calculated Modulus and Laboratory Dynamic Modulus for Pavement Asphalt Layer | 2012 | Relevant |
| | | | | | | Paliukaite, M., Vaitkus, A. | Analysis of temperature and moisture influence on asphalt pavement strength | 2011 | Fulltekst utilgjengelig |
| | | | | | | Zheng, Y., Kang, H., Cai, Y., Zhang, Y. | Effects of temperature on the dynamic properties of asphalt mixtures | 2010 | Relevant |
| | | | | | | Algirdas Motiejūnas, Miglė Paliukaitė, Audrius Vaitkus, Donatas Čygas, Alfredas Laurinavičius | Research on the Dependence of Asphalt Pavement Stiffness Upon the Temperature of Pavement Layers | 2010 | Relevant |

| Søkemotor | Søkeord | Søkeord finnes i | Filter | Totalt antall treff | Relevante treff | Forfatter | Tittel | År | Konklusjon |
|-----------|--|-----------------------------|--------|---------------------|-----------------|---|---|------|--|
| Scopus | "temperature correction" AND "traffic speed deflectometer" | Tittel, abstract, nøkkelord | | | | | | | Ingen treff |
| Scopus | "temperature correction" AND "traffic speed deflectometer" | Alle felter | | 6 | 2 | | | | |
| | | | | | | Mahdi Nasimifar, Sarah Chaudhari, Senthilmurugan Thyagarajan & Nadarajah Sivaneswaran | Temperature adjustment of Surface Curvature Index from Traffic Speed Deflectometer measurements | 2018 | Relevant |
| | | | | | | Liao, J., Lin, H., Li, Q., Zhang, D. | A Correction Model for the Continuous Deflection Measurement of Pavements Under Dynamic Loads | 2019 | Potensielt relevant |
| Scopus | "temperature correction" AND raptor | Alle felter | | 3 | 0 | | | | Ingen relevante treff |
| Compendex | "bearing capacity" AND "temperature correction" | Tittel, abstract, nøkkelord | | 7 | 4 | | | | |
| Compendex | "bearing capacity" AND pavement AND temperature | Tittel, abstract, nøkkelord | | 174 | | | | | For mange treff |
| Compendex | "bearing capacity" AND pavement AND temperature | Tittel | | 3 | 3 | | | | |
| Compendex | "bearing capacity" AND RWD | Tittel, abstract, nøkkelord | | 0 | | | | | Ingen relevante treff |
| Compendex | temperature AND pavement AND backcalculation | Tittel, abstract, nøkkelord | | 106 | | | | | For mange treff |
| Compendex | "temperature correction" AND pavement AND backcalculation | Tittel, abstract, nøkkelord | | 12 | 9 | | | | |
| | | | | | | Loizos, A.; Papavasiliou, V.; Plati, C.; Tsaimou, C. | Temperature correction of hma moduli based on in situ pavement data | 2015 | Potensielt relevant, fulltekst utilgjengelig |
| Compendex | temperature AND pavement AND deflection | Tittel, abstract, nøkkelord | | 434 | | | | | For mange treff |
| Compendex | temperature AND pavement AND deflection | Tittel | | 13 | 6 | | | | |
| Compendex | "temperature correction" AND "pavement model" | Tittel, abstract, nøkkelord | | | | | | | Ingen treff |

| Søkeomotor | Søkeord | Søkeord finnes i | Filter | Totalt antall treff | Relevante treff | Forfatter | Tittel | År | Konklusjon |
|------------|--|-----------------------------|---|---------------------|-----------------|---|---|------|-----------------------|
| Compendex | "temperature correction" AND pavement AND deflection | Tittel, abstract, nøkkelord | | 21 | 16 | | | | |
| Compendex | "temperature correction" AND FWD | Tittel, abstract, nøkkelord | | 28 | 19 | | | | |
| Compendex | "temperature correction" AND "traffic speed deflectometer" | Tittel, abstract, nøkkelord | | | | | | | Ingen treff |
| Compendex | "temperature correction" AND "traffic speed deflectometer" | Alle felter | | | | | | | Ingen treff |
| Compendex | "temperature correction" AND raptor | Alle felter | | | | | | | Ingen treff |
| Oria | "bearing capacity" AND "temperature correction" | Hele teksten | | 105 | | | | | For mange treff |
| Oria | "bearing capacity" AND "temperature correction" AND pavement | Hele teksten | Fagfellevurdert, engelsk, årstall 2010-2021 | 49 | 8 | | | | |
| Oria | temperature AND pavement AND deflection | Tittel | | 13 | 6 | | | | |
| Oria | "temperature correction" AND "pavement model" | Hele teksten | Fagfellevurdert | 17 | 0 | | | | Ingen relevante treff |
| Oria | "temperature correction" AND pavement AND deflection | Hele teksten | | 173 | | | | | For mange treff |
| Oria | "temperature correction" AND pavement AND deflection | Hele teksten | Fagfellevurdert, engelsk, artikler, IKKE fra Scopus | 17 | 5 | | | | |
| | | | | | | Muslim, Hamad Bin ; Haider, Syed Waqar ; Chatti, Karim | Influence of seasonal and diurnal FWD measurements on deflection-based parameters for rigid pavements | 2021 | Potensielt relevant |
| | | | | | | Yu, Jiangmiao ; Xiong, Chunlong ; Zhang, Xiaoning ; Li, Weixiong | More accurate modulus back-calculation by reducing noise information from in situ-measured asphalt pavement deflection basin using regression model | 2018 | Potensielt relevant |
| | | | | | | Rocha, Marcos ; Marques, Geraldo ; Silva, Rafael | Predicting equations for determining layer elastic moduli by using Deflection Basin Parameters (DBPs) from Falling Weight Deflectometer | 2021 | Potensielt relevant |
| | | | | | | Chundi, Vineesha ; Raju, Sridhar ; Kota, Sai Kubair ; Singh, K. P | Prediction of back-calculated layer moduli using cuckoo search algorithm for pavement asset management at a network level | 2021 | Potensielt relevant |

| Søkemotor | Søkeord | Søkeord finnes i | Filter | Totalt antall treff | Relevante treff | Forfatter | Tittel | År | Konklusjon |
|----------------|--|------------------|--|---------------------|-----------------|---|---|------|-----------------------|
| Oria | "temperature correction" AND FWD | Hele teksten | | 154 | 0 | | | | For mange treff |
| Oria | "temperature correction" AND FWD | Hele teksten | Fagfellevurdert, engelsk, artikler, årstall 2010-2022, IKKE fra Scopus | 12 | 6 | | | | |
| Oria | "temperature correction" AND "traffic speed deflectometer" | Hele teksten | Fagfellevurdert | 10 | 2 | | | | |
| | | | | | | Elbagalati, Omar ; Mousa, Momen ; Elseifi, Mostafa A ; Gaspard, Kevin ; Zhang, Zhongjie | Development of a methodology to backcalculate pavement layer moduli using the traffic speed deflectometer | 2018 | Potensielt relevant |
| | | | | | | Březina, Ilja ; Stryk, Josef ; Grošek, Jiří | Using traffic speed deflectometer to measure deflections and evaluate bearing capacity of asphalt road pavements at network level | 2009 | Potensielt relevant |
| Oria | "temperature correction" AND raptor | Hele teksten | Fagfellevurdert | 7 | 0 | | | | Ingen relevante treff |
| Google scholar | temperature AND deflection AND pavement | Tittel | Ikke sitat | 20 | 5 | | | | |
| Google scholar | "temperature correction" AND "pavement model" | Hele teksten | | 98 | | | | | For mange treff |
| Google scholar | "temperature correction" AND "pavement model" | Hele teksten | Ikke sitat, årstall 2010-2022 | 48 | 4 | | | | |
| | | | | | | Madhar Taamneh | Temperature profile prediction for flexible pavement structures | 2016 | Potensielt relevant |
| | | | | | | Jean-Michel SIMONIN, Jean-Luc GEFFARD, Pierre HORNYCH | Performance of Deflection Measurement Equipment and Data Interpretation in France | 2015 | Potensielt relevant |
| | | | | | | Sudhir Varma | Viscoelastic inverse analysis of FWD data using genetic algorithms | 2015 | Potensielt relevant |
| | | | | | | Mahdi Rahimi Nahoujy | An Artificial Neural Network approach to model and predict asphalt deflections as a complement to experimental measurements by Falling Weight Deflectometer | 2020 | Potensielt relevant |
| Google Scholar | "temperature correction" AND pavement AND deflection | Hele teksten | | 1270 | | | | | For mange treff |
| Google Scholar | "temperature correction" AND pavement AND deflection | Hele teksten | Ikke sitat, årstall 2010-2022 | 662 | | | | | For mange treff |

| Søkemotor | Søkeord | Søkeord finnes i | Filter | Totalt antall treff | Relevante treff | Forfatter | Tittel | År | Konklusjon |
|----------------|--|------------------|--|---------------------|-----------------|---|--|------|-----------------------------|
| Google Scholar | "temperature correction" AND pavement AND deflection | Hele teksten | Ikke sitat, årstall 2010-2022, oversiktsartikler | 20 | 1 | | | | |
| | | | | | | J.A. Ramos-Garcia, F. Sanchez-Dominguez, R. Alvarez-Loranca | Structural Road Surveys Using a Curviameter Device. Analysis of the Temperature Effect on Asphalt Mixes Properties | 2018 | Potensielt relevant |
| Google Scholar | "temperature correction" AND FWD | Hele teksten | | 980 | | | | | For mange treff |
| Google Scholar | "temperature correction" AND FWD | Hele teksten | Årstall 2010-2022, oversiktsartikler | 16 | 3 | | | | |
| | | | | | | Jiaqi Chen, Hao Wang, Pengyu Xie | Pavement temperature prediction: Theoretical models and critical affecting factors | 2019 | Relevant |
| | | | | | | Ibrahim Adwan, Abdalrhman Milad, Zubair Ahmed Memon, Iswandaru Widyatmoko, Nuryazmin Ahmat Zanuri, Naeem Aziz Memon, Nur Izzi Md Yusoff | Asphalt Pavement Temperature Prediction Models: A Review | 2021 | Relevant |
| Google Scholar | "temperature correction" AND "traffic speed deflectometer" | Hele teksten | | 68 | | | | | For mange treff |
| Google Scholar | "temperature correction" AND "traffic speed deflectometer" | Hele teksten | Årstall 2012-2022 | 56 | 11 | | | | |
| | | | | | | Nasimifar, Mahdi; Chaudhari, Sarah; Thyagarajan, Senthilmurugan; Sivaneswaran, Nadarajah | Evaluation of Temperature Correction Models for Deflection Index from Falling Weight Deflectometer and Traffic Speed Deflectometer | 2018 | Fulltekst ikke tilgjengelig |
| | | | | | | Katicha, Samer W. ;Shrestha, Shivesh ;Flintsch, Gerardo W. ;Diefenderfer, Brian K. ; | Network Level Pavement Structural Testing With the Traffic Speed Deflectometer | 2020 | Relevant |

| Søkemotor | Søkeord | Søkeord finnes i | Filter | Totalt antall treff | Relevante treff | Forfatter | Tittel | År | Konklusjon |
|----------------|-------------------------------------|------------------|-------------------|---------------------|-----------------|---|--|------|---------------------|
| | | | | | | Emad Kassem Fouad M.S. Bayomy Christopher Williams Eric Saasita Simpson Lamichane Dio D. Permadi | Development of Pavement Temperature Prediction Model | 2020 | Relevant |
| | | | | | | Elseifi, Mostafa ;Abdel- Khalek , Ahmed M. ;Dasari, Karthik | Implementation of Rolling Wheel Deflectometer (RWD) in PMS and Pavement Preservation | 2012 | Potensielt relevant |
| | | | | | | D Steele, HS Lee, C Beckemeyer | Moving Wheel versus Impact Deflections and Their Use in Pavement Evaluation | 2021 | Relevant |
| | | | | | | D Steele, HS Lee, C Beckemeyer | Development of the Rolling Wheel Deflectometer (RWD) | 2020 | Potensielt relevant |
| Google Scholar | "temperature correction" AND raptor | Hele teksten | Årstall 2015-2022 | 20 | 2 | | | | |
| | | | | | | Hossam Abohamer, Most afa A. Elseifi, Zia U. A. Zihan, Zhong Wu, Nathan Kebede, Zhongji e Zhang | Development of an Artificial Neural Network-Based Procedure for the Verification of Traffic Speed Deflectometer Measurements | 2021 | Potensielt relevant |

Tabell 4 Litteratursøk steg 2

| Søkemotor | Forfatter | Tittel | År |
|-----------|---|---|------|
| Scopus | Březina, I., Machel, O., Zavřel, T. | Temperature correction of deflections and backcalculated elasticity moduli determined from falling weight deflectometer measurements on asphalt pavements | 2022 |
| Scopus | Straube E.a, Jansen D.a | Temperature correction of falling weight deflectometer measurements | 2009 |
| Scopus | Vaitkus, A., Žalimiene, L., Židanavičiute, J., Žilioniene, D. | Influence of temperature and moisture content on pavement bearing capacity with improved subgrade | 2019 |
| Scopus | Chou, C.-P., Lin, Y.-C., Chen, A.-C. | Temperature adjustment for light weight deflectometer application of evaluating asphalt pavement structural bearing capacity | 2017 |
| Scopus | Komačka, J., Korenko, M., Píala, J. | Relation of temperature changes in asphalt pavements to pavement bearing capacity evaluation | 2007 |
| Scopus | Licheng Guo, Guodong Zeng, Xiangpeng Yan, Wenjuan Wu and Jincheng Wei | Research on Variation Law of Back-Calculation Modulus of Asphalt Pavement Layer | 2020 |
| Scopus | Jorge Pais, Caio Santos, Paulo Pereira & Kamil Kaloush | The adjustment of pavement deflections due to temperature variations | 2020 |
| Scopus | Qian Xiao, Xu Dong Wang, Xing Ye Zhou, Lei Zhang, Wei Guan | Temperature Correction Method of Deflection Basin and Stress/Strain Response of Asphalt Pavement | 2020 |
| Scopus | Yuanxun Zheng, Peng Zhang, Heng Liu | Correlation between pavement temperature and deflection basin form factors of asphalt pavement | 2017 |
| Scopus | Tyler Dawson, Gilbert Baladi, Gopikrishna Musunuru | Global Procedure for Temperature Adjustment of Measured Pavement Deflection Data: Based on the Long-Term Pavement Performance Seasonal Monitoring Program | 2016 |
| Scopus | Hu Honglong | Asphalt Pavement Deflection due to a Circular Load and Temperature Modified Coefficient | 2014 |
| Scopus | Ramos García, J. Antonio; Castro, María | Analysis of the temperature influence on flexible pavement deflection | 2011 |
| Scopus | Hamad Bin Muslim, Syed Waqar Haider, Karim Chatti | Seasonal and diurnal variations of back-calculated layer moduli in flexible pavement and FWD testing guidelines | 2021 |
| Scopus | Jung-Chun Lai, Jung Liu, Chien-Wei Huang | The Application of Frequency-Temperature Superposition Principle for Back-Calculation of Falling Weight Deflectometer | 2019 |
| Scopus | M. Broutin, A. Duprey | Towards Improved Temperature Correction for NDT Data Analyses | 2017 |

| Søkemotor | Forfatter | Tittel | År |
|-----------|---|---|------|
| Scopus | Liang Zhou | Temperature Correction Factor for Pavement Moduli Back-Calculated from Falling Weight Deflectometer Test | 2014 |
| Scopus | Gedafa, D.S., Hossain, M., Romanoschi, S.A. | Prediction of Asphalt Pavement Temperature | 2013 |
| Scopus | Zhang, B., Sonyok, D.R., Zhang, J. | Temperature Effects on Falling Weight Deflectometer Measurement | 2008 |
| Scopus | Hee Mun Park, Y. Richard Kim, Sunwoo Park | Temperature Correction of Multiload-Level Falling Weight Deflectometer Deflections | 2002 |
| Scopus | Park, Dong-Yeob; Buch, Neeraj; Chatti, Karim | Effective layer temperature prediction model and temperature correction via falling weight deflectometer deflections | 2001 |
| Scopus | Chen, D.-H., Bilyeu, J., Lin, H.-H., Murphy, M. | Temperature Correction on Falling Weight Deflectometer Measurements | 2000 |
| Scopus | Park, S.W., Kim, Y.R. | Temperature Correction of Backcalculated Moduli and Deflections Using Linear Viscoelasticity and Time-Temperature Superposition | 1997 |
| Scopus | Hesham A. Ali, Aramis Lopez | Statistical Analyses of Temperature and Moisture Effects on Pavement Structural Properties Based on Seasonal Monitoring Data | 1996 |
| Scopus | Song Xiao-jin, Zeng Meng-Ian | Temperature Correction Method for Asphalt Pavement Dynamic Deflection | 2017 |
| Scopus | Plati, C., Papavasiliou, V., Loizos, A., Tsaimou, C. | Implementation of algorithms for asphalt moduli temperature correction | 2014 |
| Scopus | Wei, J., Wang, L., Xie, G. | Correction Factor of In Situ Back-Calculated Modulus and Laboratory Dynamic Modulus for Pavement Asphalt Layer | 2012 |
| Scopus | Paliukaite, M., Vaitkus, A. | Analysis of temperature and moisture influence on asphalt pavement strength | 2011 |
| Scopus | Zheng, Y., Kang, H., Cai, Y., Zhang, Y. | Effects of temperature on the dynamic properties of asphalt mixtures | 2010 |
| Scopus | Algirdas Motiejūnas, Miglė Paliukaitė, Aūdrius Vaitkus, Donatas Čygas, Alfredas Laurinavičius | Research on the Dependence of Asphalt Pavement Stiffness Upon the Temperature of Pavement Layers | 2010 |
| Scopus | Mahdi Nasimifar, Sarah Chaudhari, Senthilmurugan Thyagarajan & Nadarajah Sivaneswaran | Temperature adjustment of Surface Curvature Index from Traffic Speed Deflectometer measurements | 2018 |
| Scopus | Liao, J., Lin, H., Li, Q., Zhang, D. | A Correction Model for the Continuous Deflection Measurement of Pavements Under Dynamic Loads | 2019 |
| Oria | Yi Li, Liping Liu, Lijun Sun | Temperature predictions for asphalt pavement with thick asphalt layer | 2018 |
| Oria | Yu, Jiangmiao ; Xiong, Chunlong ; Zhang, Xiaoning ; Li, Weixiong | More accurate modulus back-calculation by reducing noise information from in situ-measured asphalt pavement deflection basin using regression model | 2018 |

| Søkemotor | Forfatter | Tittel | År |
|----------------|---|---|------|
| Oria | Rocha, Marcos ; Marques, Geraldo ; Silva, Rafael | Predicting equations for determining layer elastic moduli by using Deflection Basin Parameters (DBPs) from Falling Weight Deflectometer | 2021 |
| Oria | Elbagalati, Omar ; Mousa, Momen ; Elseifi, Mostafa A ; Gaspard, Kevin ; Zhang, Zhongjie | Development of a methodology to backcalculate pavement layer moduli using the traffic speed deflectometer | 2018 |
| Oria | Březina, Ilja ; Stryk, Josef ; Grošek, Jiří | Using traffic speed deflectometer to measure deflections and evaluate bearing capacity of asphalt road pavements at network level | 2009 |
| Google Scholar | Madhar Taamneh | Temperature profile prediction for flexible pavement structures | 2016 |
| Google Scholar | Sudhir Varma | Viscoelastic inverse analysis of FWD data using genetic algorithms | 2015 |
| Google Scholar | Mahdi Rahimi Nahoujy | An Artificial Neural Network approach to model and predict asphalt deflections as a complement to experimental measurements by Falling Weight Deflectometer | 2020 |
| Google Scholar | Jiaqi Chen, Hao Wang, Pengyu Xie | Pavement temperature prediction: Theoretical models and critical affecting factors | 2019 |
| Google Scholar | Ibrahim Adwan, Abdalrhman Milad, Zubair Ahmed Memon, Iswandaru Widyatmoko, Nuryazmin Ahmat Zanuri, Naeem Aziz Memon, Nur Izzi Md Yusoff | Asphalt Pavement Temperature Prediction Models: A Review | 2021 |
| Google Scholar | Emad Kassem Fouad M.S. Bayomy Christopher Williams Eric Saasita Simpson Lamichane Dio D. Permadi | Development of Pavement Temperature Prediction Model | 2020 |
| Google Scholar | D Steele, HS Lee, C Beckemeyer | Moving Wheel versus Impact Deflections and Their Use in Pavement Evaluation | 2021 |
| Google Scholar | D Steele, HS Lee, C Beckemeyer | Development of the Rolling Wheel Deflectometer (RWD) | 2020 |

| |
|----------------------|
| Opprinnelig artikkel |
| Ny artikkel |

Tabell 5 Litteratursøk steg 3

| Tilegnet fra | Forfatter | Tittel | År |
|----------------|--|--|------|
| Scopus | Chou, C.-P., Lin, Y.-C., Chen, A.-C. | Temperature adjustment for light weight deflectometer application of evaluating asphalt pavement structural bearing capacity | 2017 |
| | Soheil Nazarian, Gisel Alvarado | Impact of Temperature Gradient on Modulus of Asphaltic Concrete Layers | 2006 |
| Scopus | Jorge Pais, Caio Santos, Paulo Pereira & Kamil Kaloush | The adjustment of pavement deflections due to temperature variations | 2020 |
| | Emmanuel G. Fernando, Wenting Liu and Duchwan Ryu | DEVELOPMENT OF A PROCEDURE FOR TEMPERATURE CORRECTION OF BACKCALCULATED AC MODULUS | 2001 |
| Scopus | Yuanxun Zheng, Peng Zhang, Heng Liu | Correlation between pavement temperature and deflection basin form factors of asphalt pavement | 2017 |
| | Brian K. Diefenderfer, Imad L. Al-Qadi, Stacey D. Diefenderfer | Model to Predict Pavement Temperature Profile: Development and Validation | 2006 |
| Scopus | Park, Dong-Yeob; Buch, Neeraj; Chatti, Karim | Effective layer temperature prediction model and temperature correction via falling weight deflectometer deflections | 2001 |
| | Åke Hermansson | Simulation Model for Calculating Pavement Temperatures Including Maximum Temperature | 2000 |
| Google Scholar | Jiaqi Chen, Hao Wang, Pengyu Xie | Pavement temperature prediction: Theoretical models and critical affecting factors | 2019 |
| | Mohammad Z. Alavi, Mohammad R. Pouranian, and Elie Y. Hajj | Prediction of Asphalt Pavement Temperature Profile with Finite Control Volume Method | 2014 |
| | Arian Asefzadeh, Leila Hashemian, Alireza Bayat | Development of statistical temperature prediction models for a test road in Edmonton, Alberta, Canada | 2017 |

| Tilegnet fra | Forfatter | Tittel | År |
|--------------|---|--|------|
| | Akbarzadeh, Hossein; Bayat, Alireza; Soleymani, Hamid R. | Analytical review of the HMA temperature correction factors from laboratory and falling weight Deflectometer tests | 2012 |
| | Johnson, Andrew M; Baus, Ronald L | Alternative Method for Temperature Correction of Backcalculated Equivalent Pavement Moduli | 1992 |
| | Jia-Ruey Chang , Jyh-Dong Lin , Wei-Chen Chung & Dar-Hao Chen | Evaluating the Structural Strength of Flexible Pavements in Taiwan Using the Falling Weight Deflectometer | 2010 |
| | Alexander Kwasi Appea | Validation of FWD Testing Results at the Virginia Smart Road: Theoretically and by Instrument Responses | 2003 |

Vedlegg 2

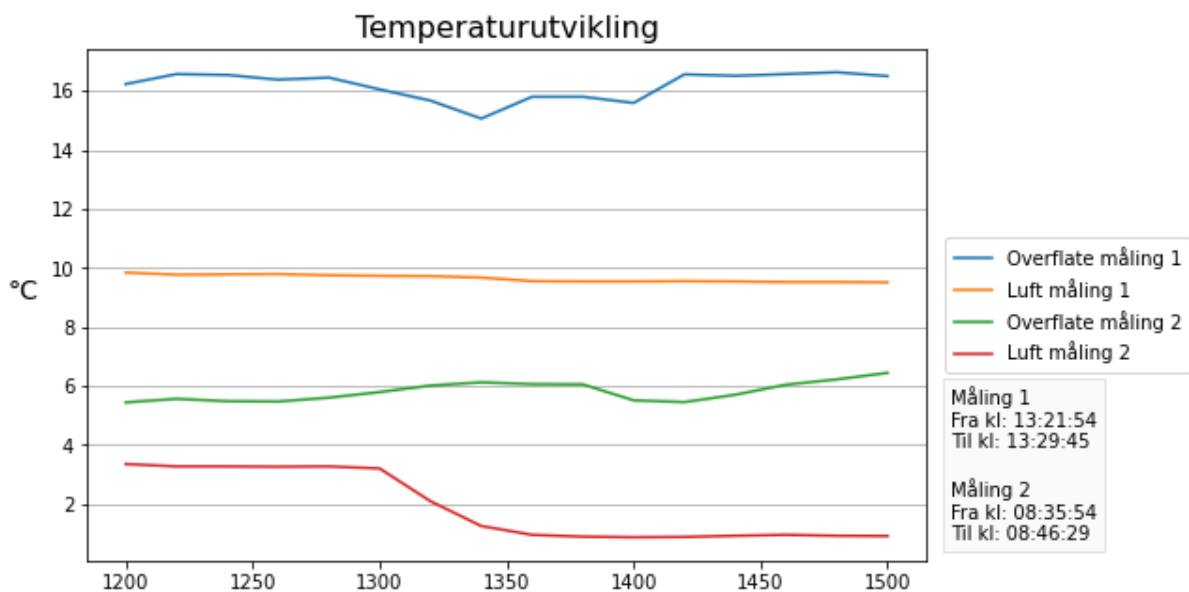
Resultat for korreksjon av nedbøyninger

Fv 704

S2D1 m1200-1500 GS-vei

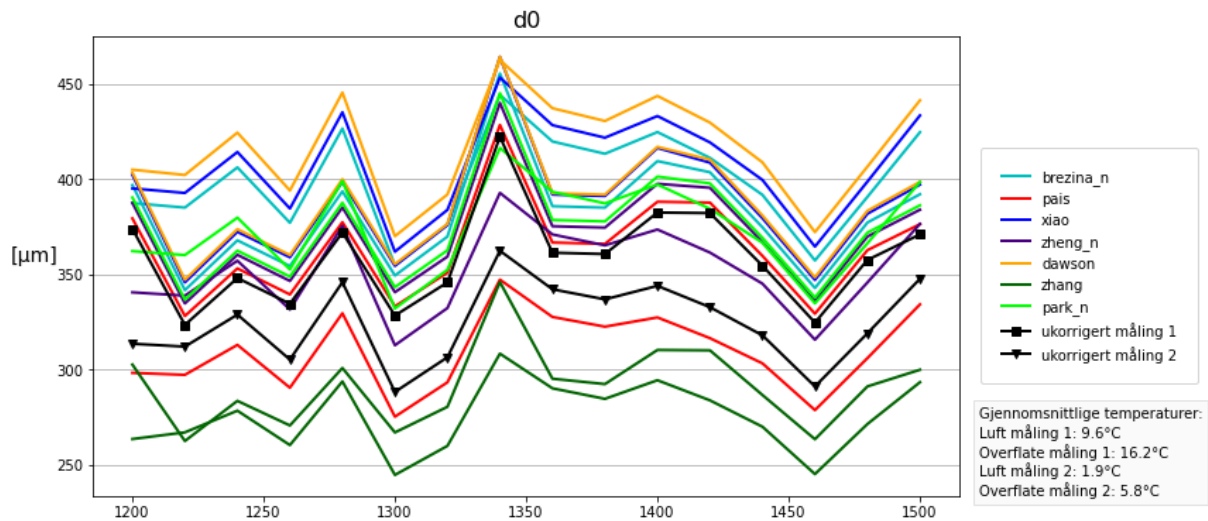
Måling 1 på delstrekningen ble gjennomført med fallodd 22. april 2022, mens måling 2 ble utført med fallodd 2. mai 2022. På denne delstrekningen er den effektive radiusen for temperaturkorreksjon for liten til å korrigere d_{200} i korreksjonsmodellen Park_n (62, mot en minimumsverdi på 200). Modellen er likevel inkludert i de videre beregningene.

Figur 1 viser temperaturutviklingen på delstrekningen under målingene.

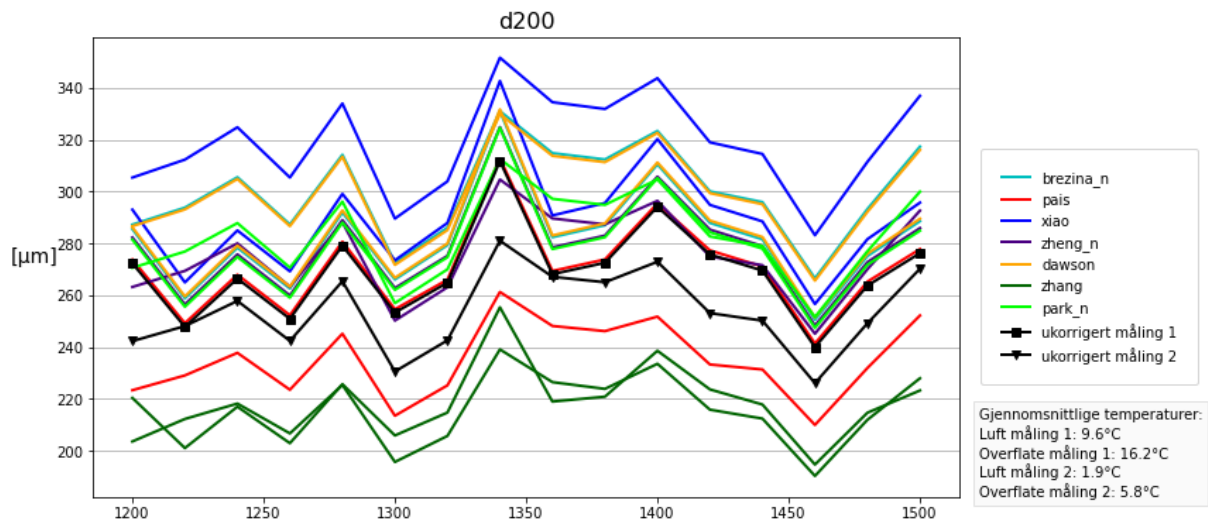


Figur 1 Temperaturutvikling på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei

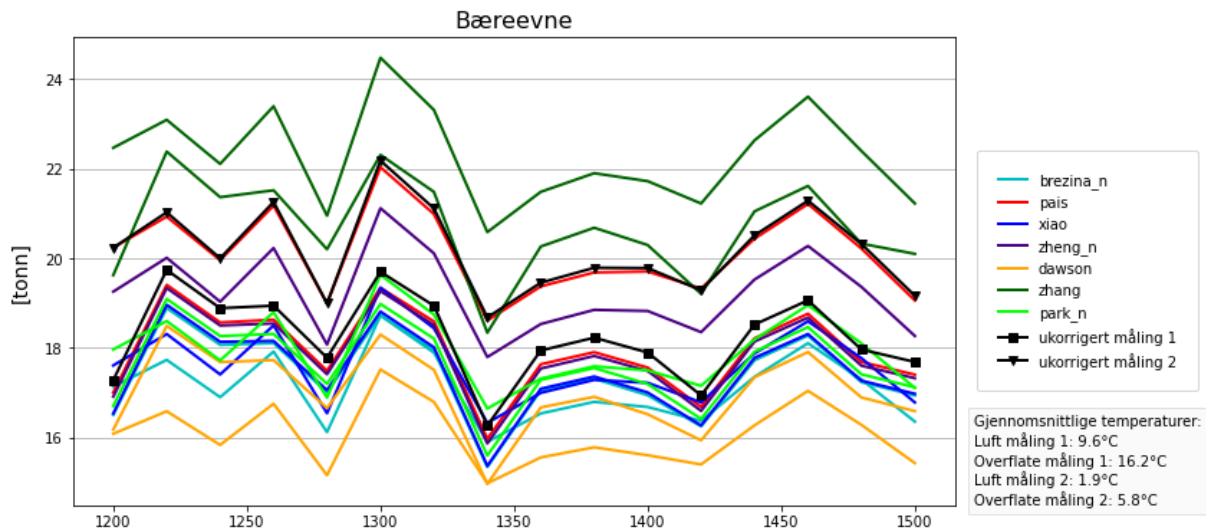
Figur 2, Figur 3, Figur 4 og Figur 5 viser ukorrigerede og korrigerede verdier av henholdsvis d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} for alle korreksjonsmodellene.



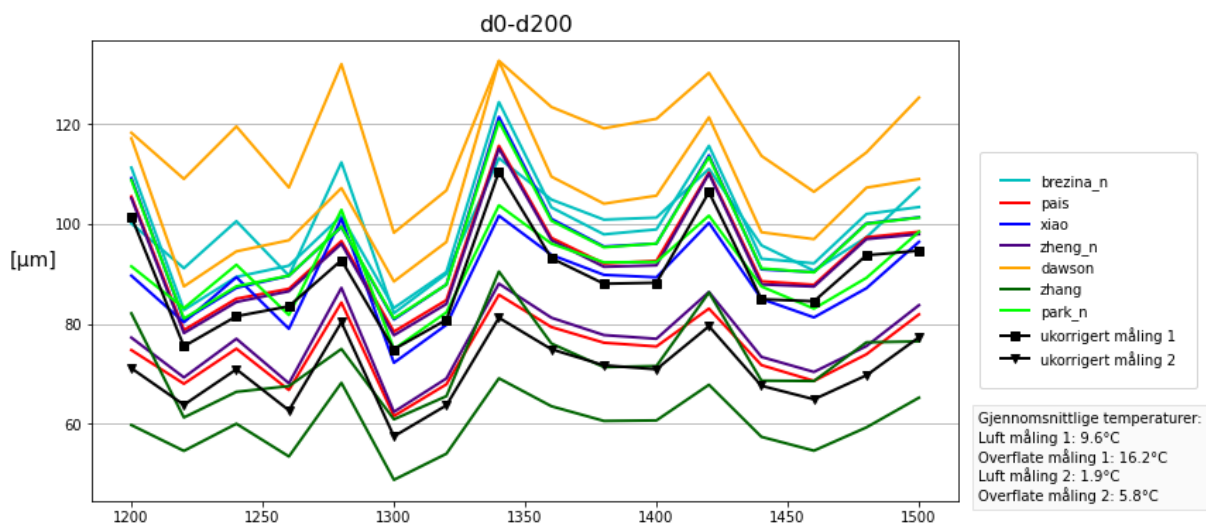
Figur 2 Plott av ukorrigerte og korrigerte verdier av d_0 for alle korreksjonsmodeller på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei



Figur 3 Plott av ukorrigerte og korrigerte verdier av d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei



Figur 4 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av bæreevne for alle korreksjonsmodeller på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei



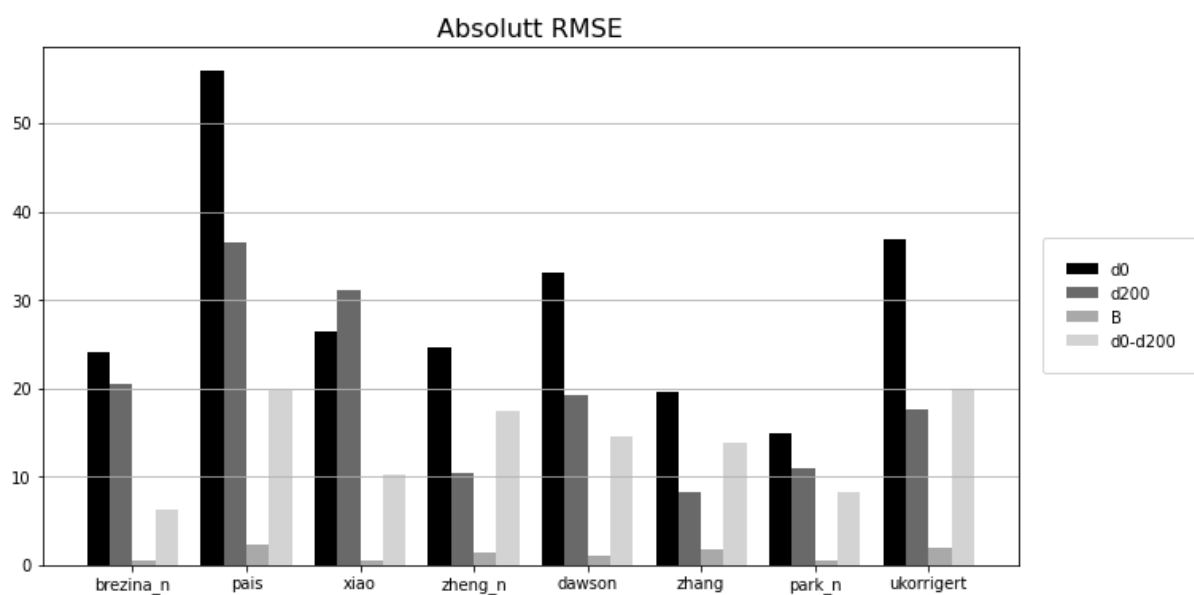
Figur 5 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av d_0-d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei

Tabell 6 viser RMSE-verdier for hver av parameterne for alle de forskjellige korreksjonsmodellene, i tillegg til sammenligningsparameteren A som viser det sammenlagte resultatet for delstrekningen. Tabellen viser at det er Park_n som gir den beste korreksjonen på denne delstrekningen, til tross for advarsler om at den effektive radiusen for temperaturkorreksjon er for liten.

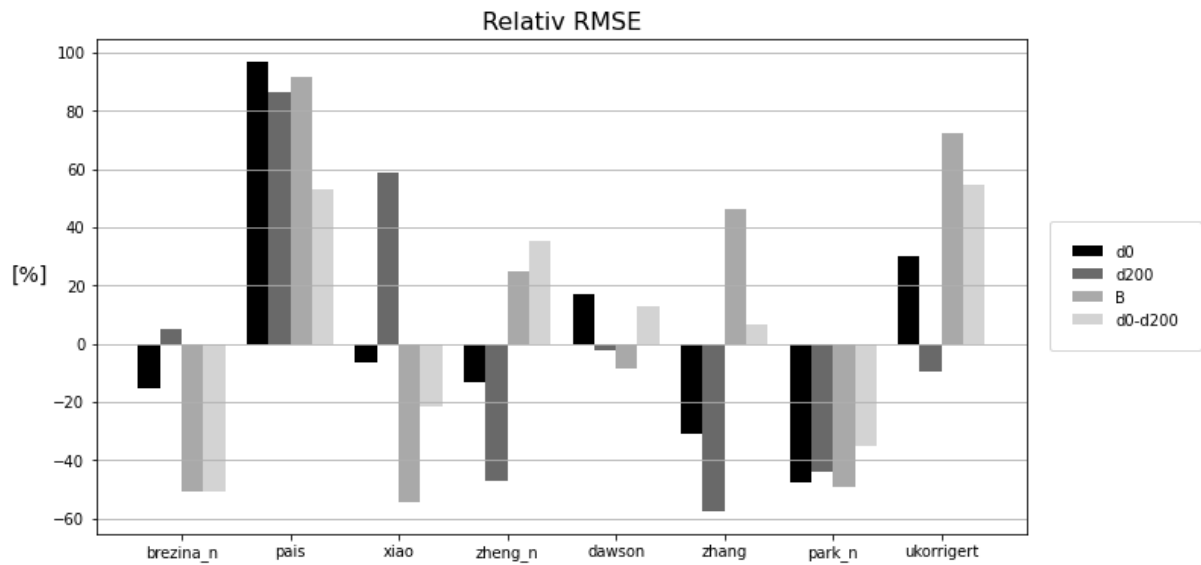
Tabell 6 RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei

| Modell | RMSE | | | | A |
|------------|-------|-------|------|---------|--------|
| | d0 | d200 | B | d0-d200 | |
| brezina_n | 24.01 | 20.58 | 0.58 | 6.37 | -27.91 |
| pais | 55.89 | 36.49 | 2.25 | 19.75 | 82.04 |
| xiao | 26.46 | 31.04 | 0.53 | 10.16 | -5.98 |
| zheng_n | 24.55 | 10.39 | 1.47 | 17.45 | -0.03 |
| dawson | 33.13 | 19.17 | 1.08 | 14.55 | 4.8 |
| zhang | 19.58 | 8.3 | 1.72 | 13.76 | -8.93 |
| park_n | 14.87 | 11.01 | 0.6 | 8.34 | -43.99 |
| ukorrigert | 36.88 | 17.7 | 2.02 | 19.96 | 36.82 |

Verdiene i tabellen er illustrert i Figur 6, som viser et plott av absolutte RMSE-verdier. Figur 7 viser et plott av relative RMSE-verdier.

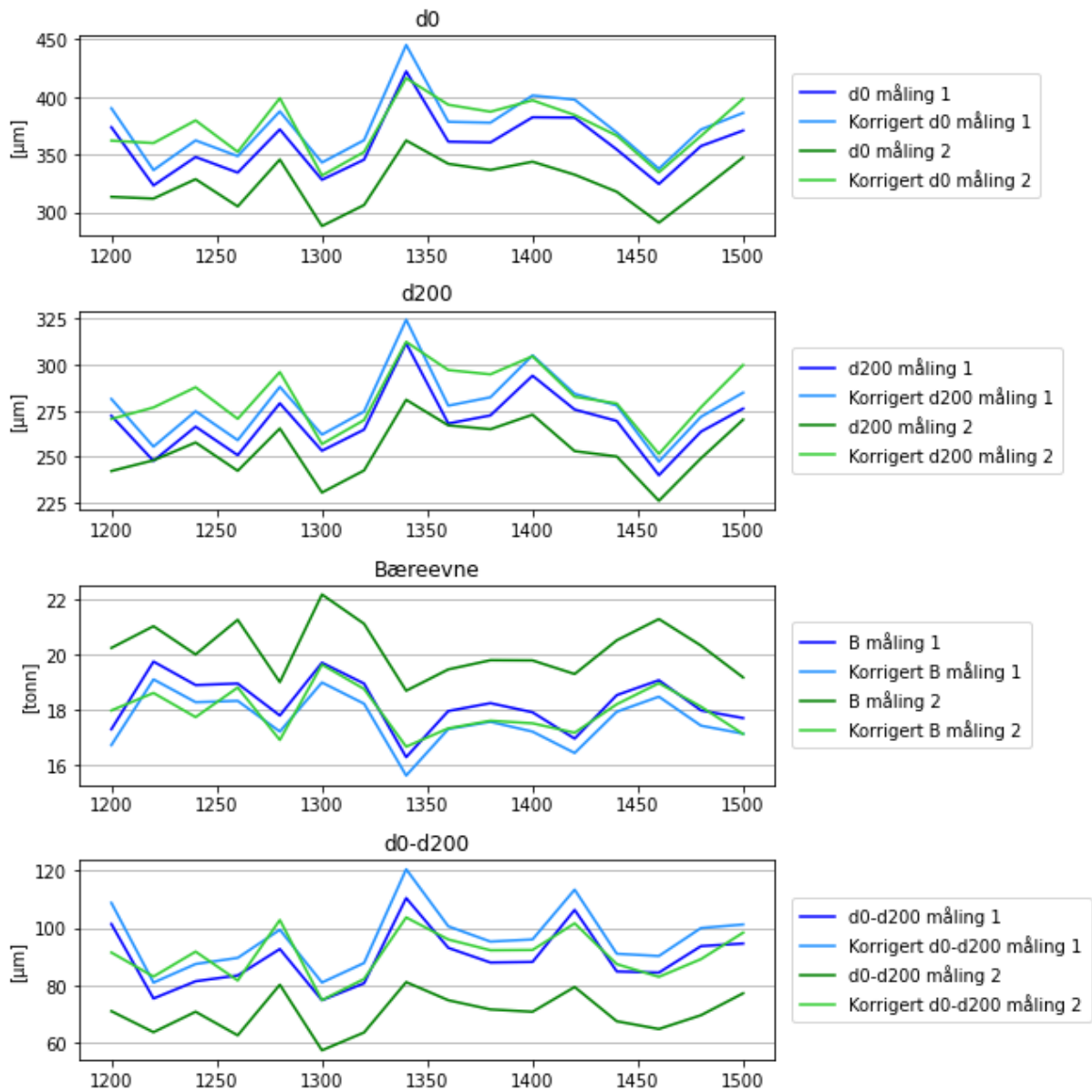


Figur 6 Plott av absolutte RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei



Figur 7 Plott av relative RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei

Figur 8 viser et plott av ukorrigerede og korrigerede verdier for d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} , for én korreksjonsmodell. Korreksjonsmodellen er den som gir best resultat på delstrekningen, i dette tilfellet Park_n.



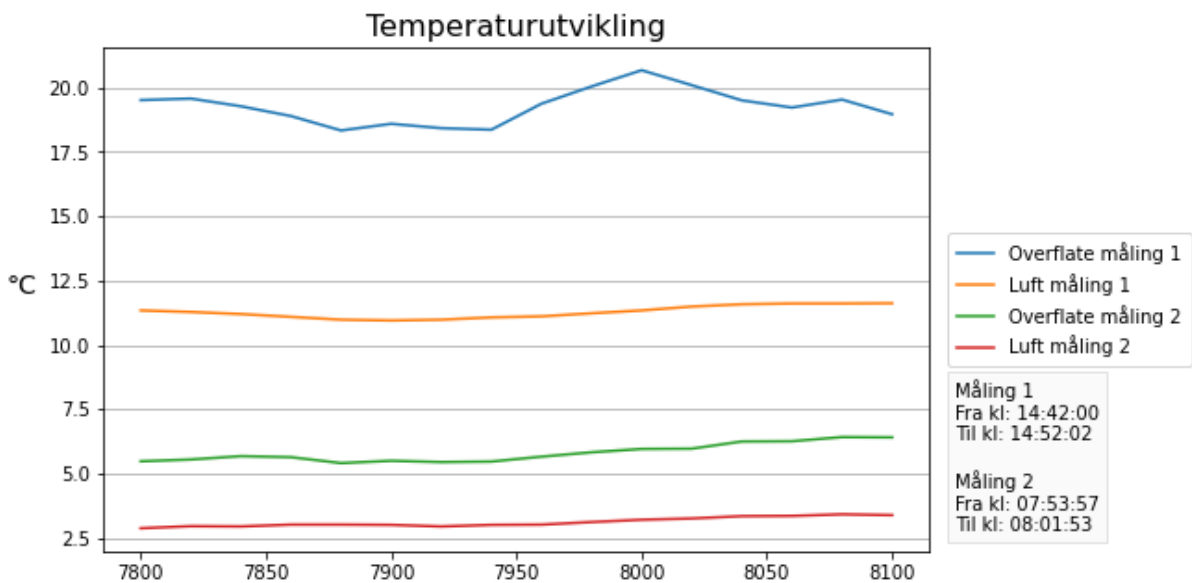
Figur 8 Plott av ukorrigerede og korrigerte verdier av d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei

Fv 6612

S1D1 Felt 1 m7800-8100

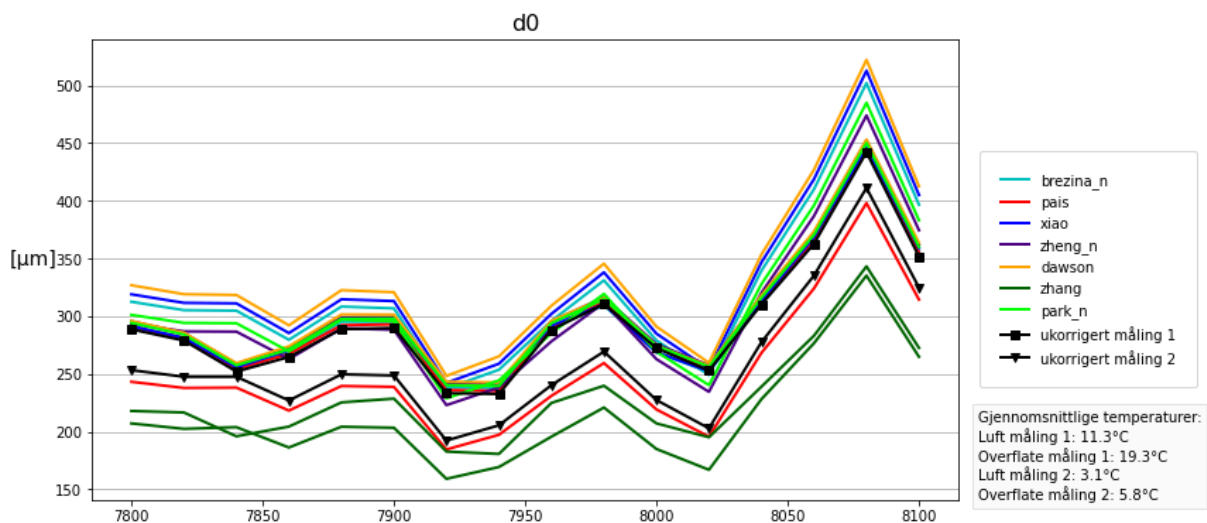
Måling 1 på delstrekningen ble gjennomført med fallodd 22. april 2022, mens måling 2 ble utført med fallodd 2. mai 2022. På denne delstrekningen er den effektive radiusen for temperaturkorleksjon for liten til å korrigere d_{200} i korleksjonsmodellen Park_n (157, mot en minimumsverdi på 200). Modellen er likevel inkludert i de videre beregningene.

Figur 9 viser temperaturutviklingen på delstrekningen under målingene.

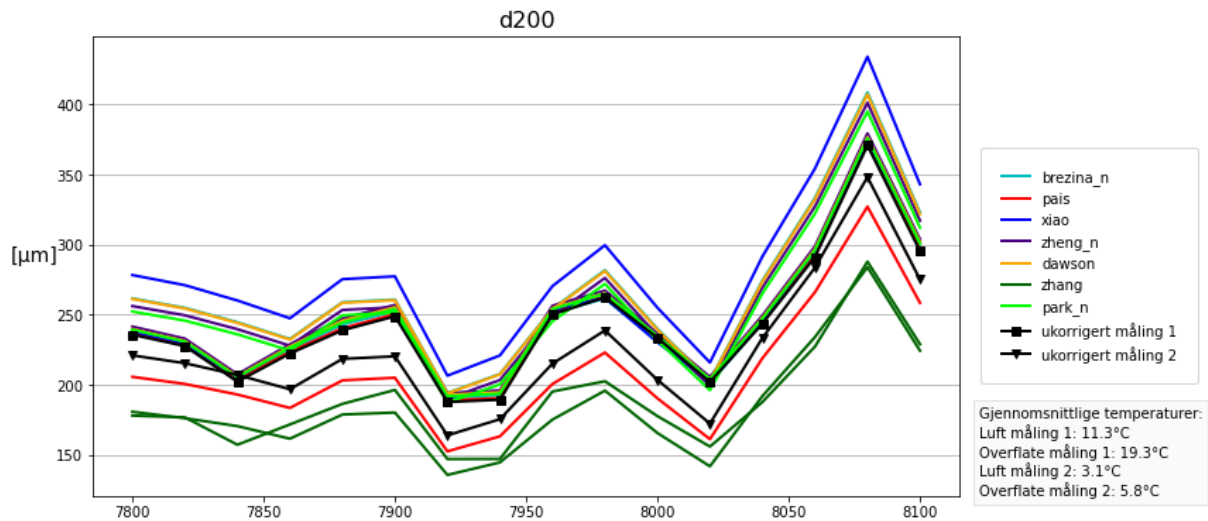


Figur 9 Temperaturutvikling på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100

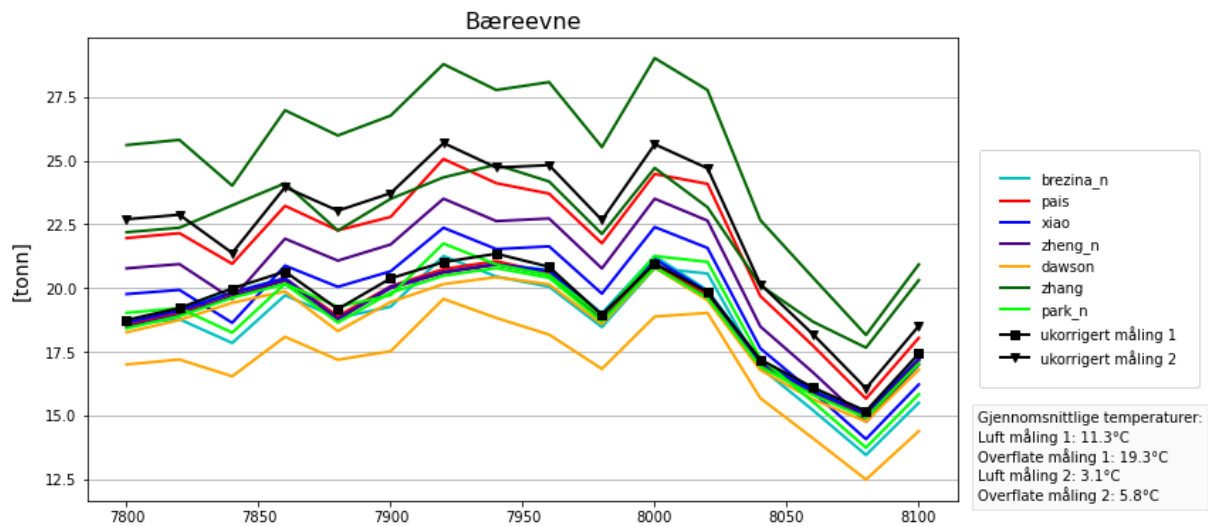
Figur 10, Figur 11, Figur 12 og Figur 13 viser ukorrigerede og korrigerede verdier av henholdsvis d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} for alle korleksjonsmodellene.



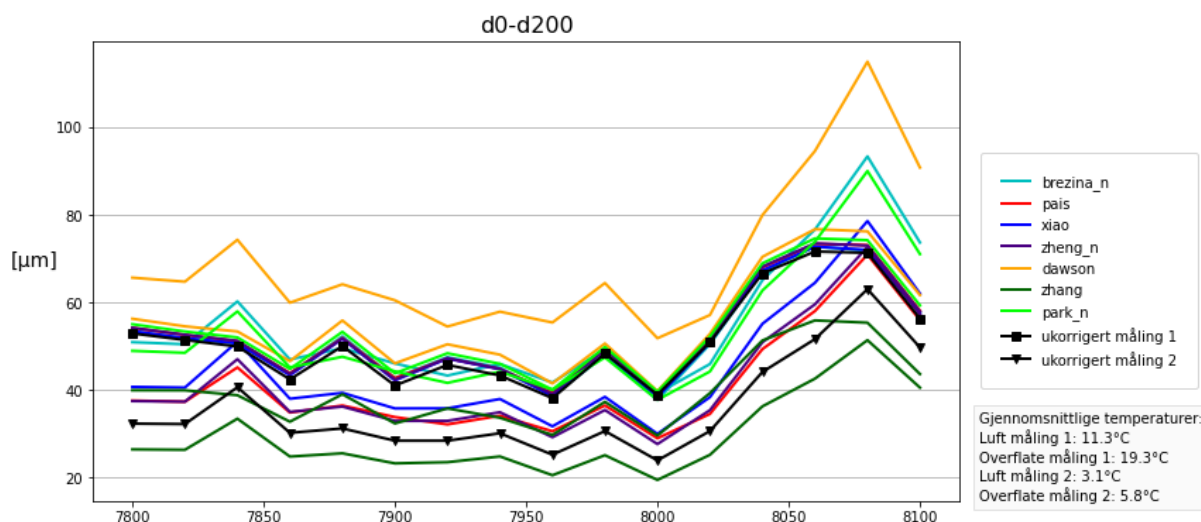
Figur 10 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 for alle korleksjonsmodeller på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100



Figur 11 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100



Figur 12 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av bæreevne for alle korreksjonsmodeller på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100



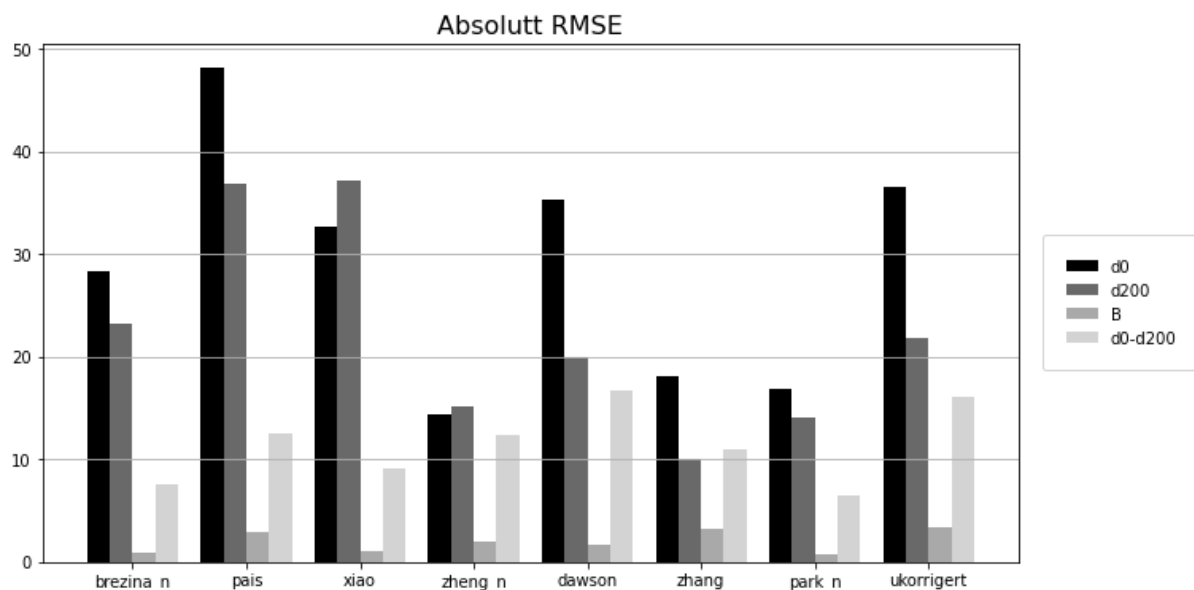
Figur 13 Plott av ukorrigerede og korrigerte verdier av d_0-d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100

Tabell 7 viser RMSE-verdier for hver av parameterne for alle de forskjellige korreksjonsmodellene, i tillegg til sammenligningsparameteren A som viser det sammenlagte resultatet for delstrekningen. Tabellen viser at det er Park_n som gir den beste korreksjonen også på denne delstrekningen, til tross for advarsler om at den effektive radiusen for temperaturkorreksjon er for liten.

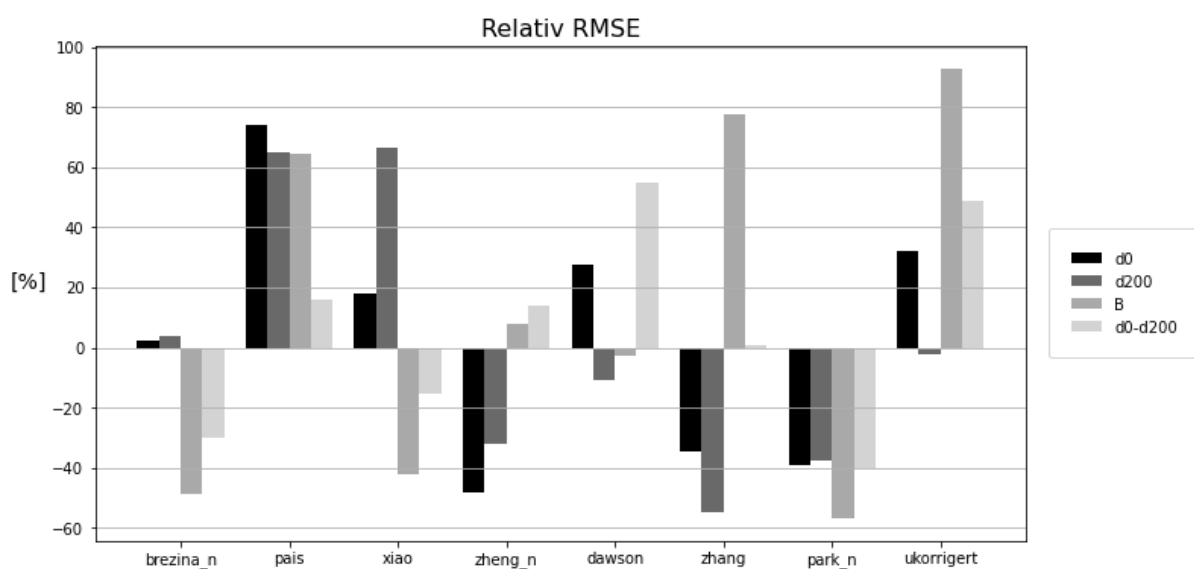
Tabell 7 RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100

| Modell | RMSE | | | | A |
|------------|-------|-------|------|---------|--------|
| | d0 | d200 | B | d0-d200 | |
| brezina_n | 28.34 | 23.28 | 0.92 | 7.57 | -18.08 |
| pais | 48.16 | 36.92 | 2.95 | 12.55 | 54.79 |
| xiao | 32.71 | 37.25 | 1.04 | 9.15 | 6.75 |
| zheng_n | 14.36 | 15.19 | 1.94 | 12.32 | -14.62 |
| dawson | 35.26 | 19.96 | 1.75 | 16.78 | 17.19 |
| zhang | 18.13 | 10.1 | 3.18 | 10.94 | -2.74 |
| park_n | 16.9 | 14.02 | 0.78 | 6.5 | -43.29 |
| ukorrigert | 36.55 | 21.92 | 3.46 | 16.1 | 42.89 |

Verdiene i tabellen er illustrert i Figur 14, som viser et plott av absolutte RMSE-verdier. Figur 15 viser et plott av relative RMSE-verdier.

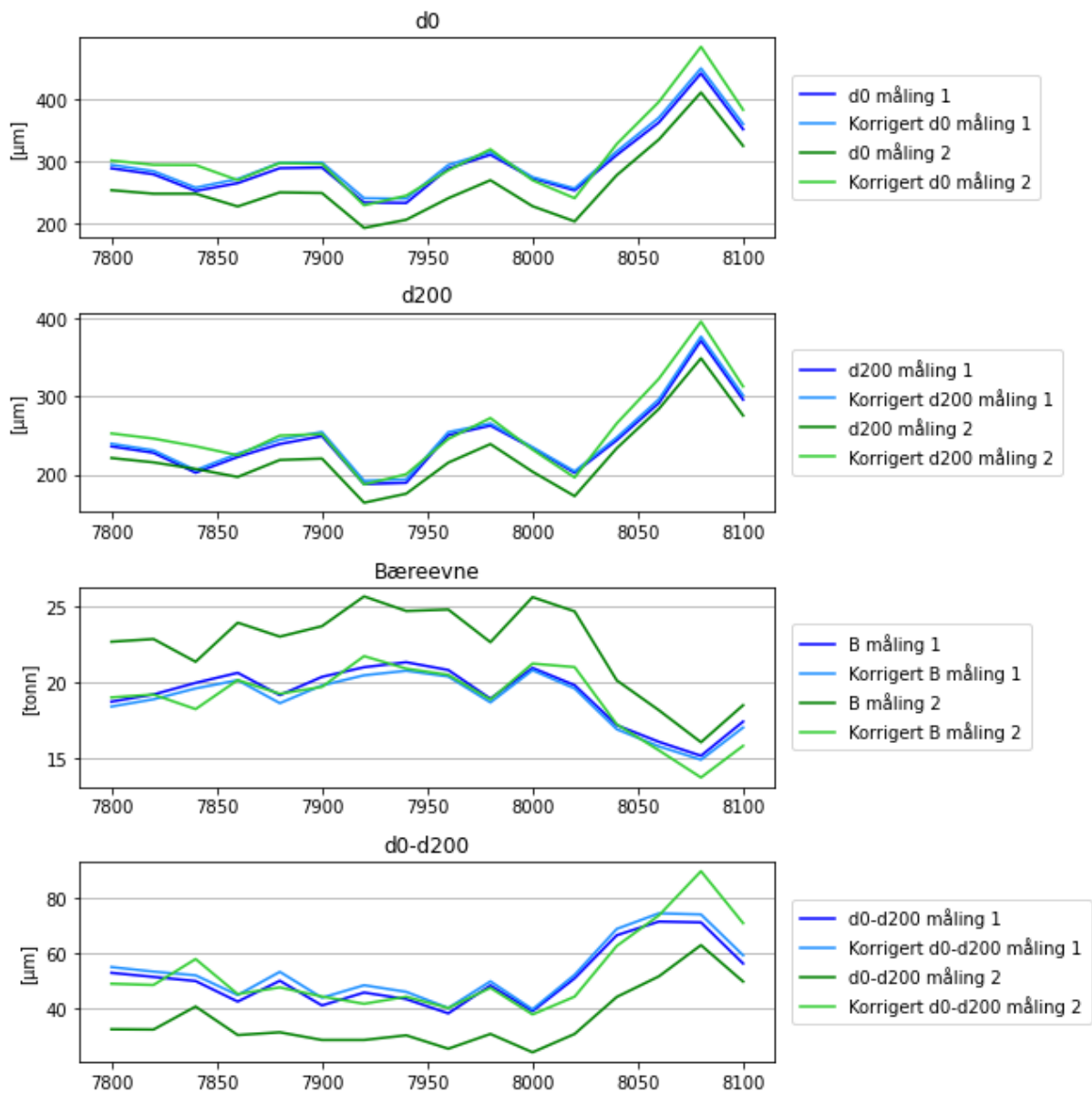


Figur 14 Plott av absolutte RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100



Figur 15 Plott av relative RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100

Figur 16 viser et plott av ukorrigerte og korrigererte verdier for d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} , for én korreksjonsmodell. Korreksjonsmodellen er den som gir best resultat på delstrekningen, i dette tilfellet Park_n.

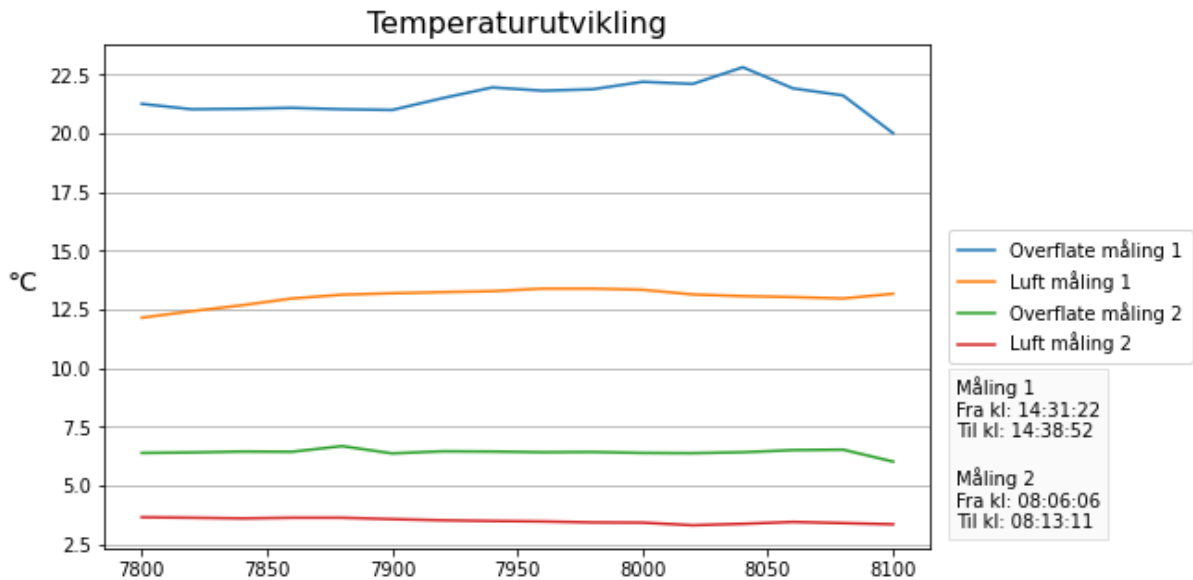


Figur 16 Plott av ukorrigerte og korrigerte verdier av d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100

S1D1 Felt 2 m7800-8100

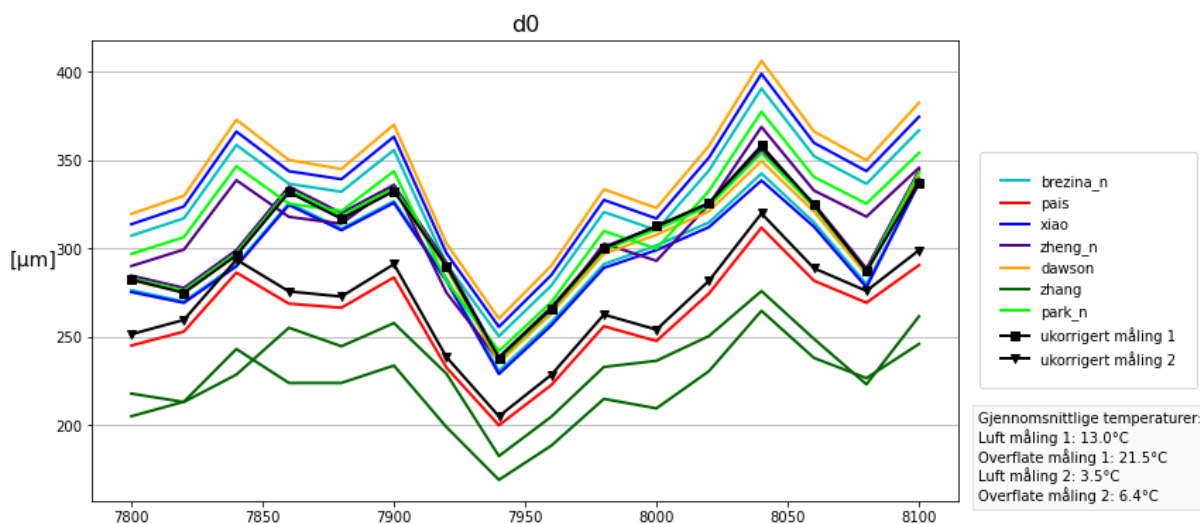
Måling 1 på delstrekningen ble gjennomført med fallodd 22. april 2022, mens måling 2 ble utført med fallodd 2. mai 2022. På denne delstrekningen er den effektive radiusen for temperaturkorreksjon for liten til å korrigere d_{200} i korreksjonsmodellen Park_n (157, mot en minimumsverdi på 200). Modellen er likevel inkludert i de videre beregningene.

Figur 17 viser temperaturutviklingen på delstrekningen under målingene.

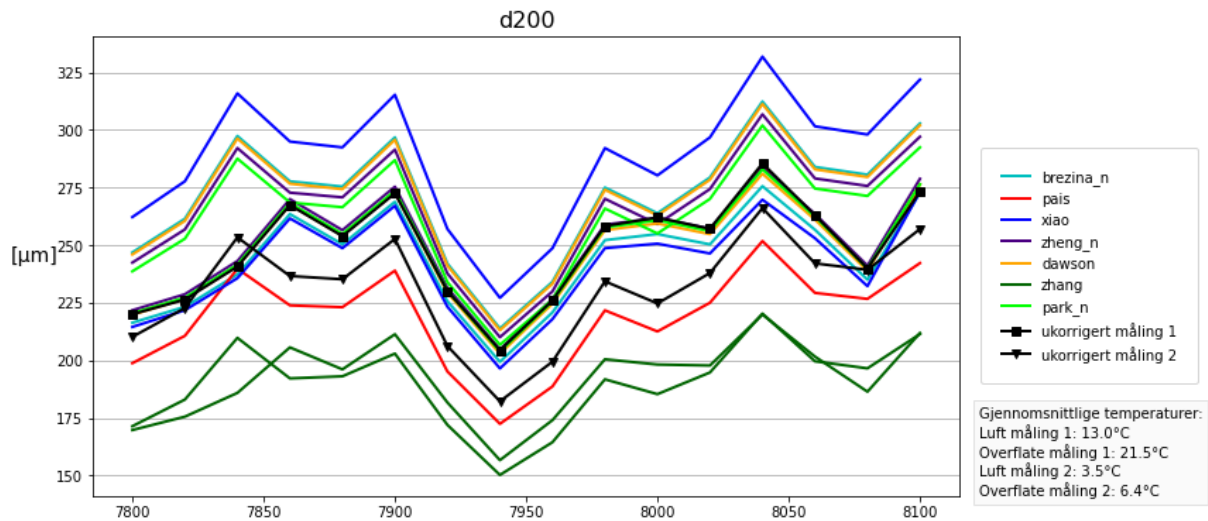


Figur 17 Temperaturutvikling på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100

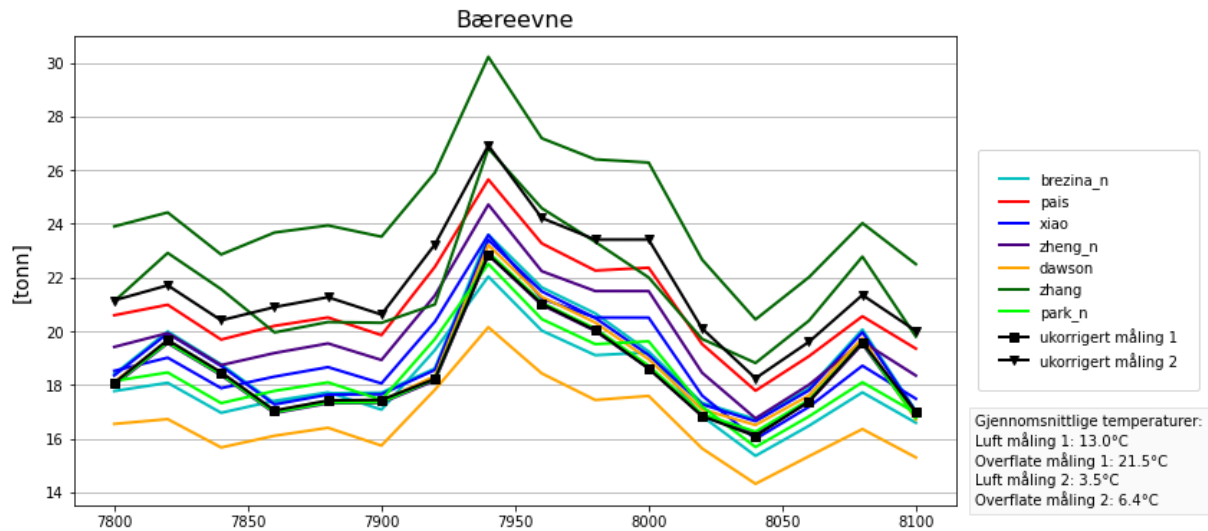
Figur 18, Figur 19, Figur 20 og Figur 21 viser ukorrigerede og korrigerede verdier av henholdsvis d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} for alle korreksjonsmodellene.



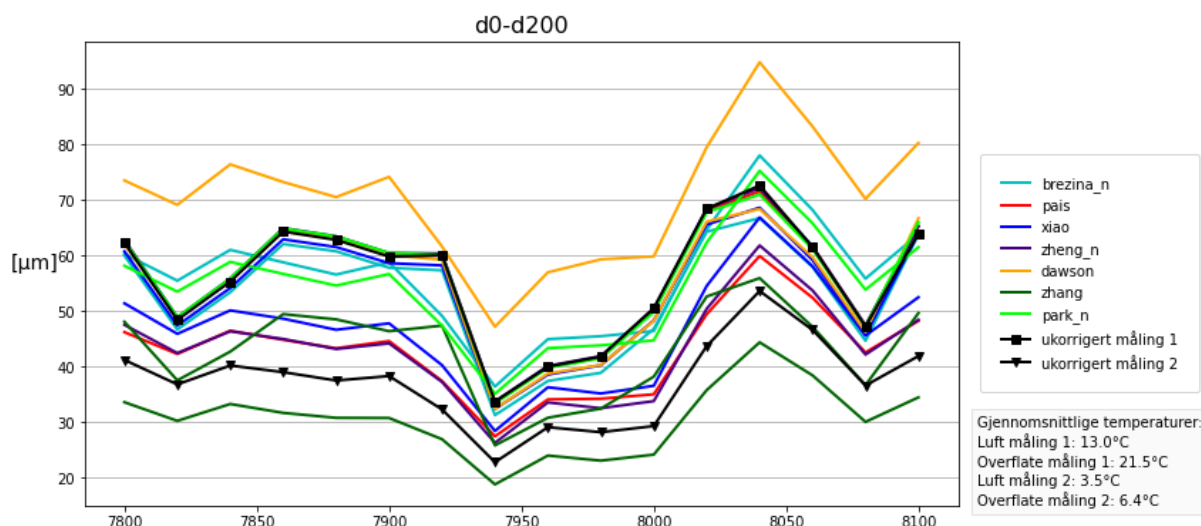
Figur 18 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 for alle korreksjonsmodeller på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100



Figur 19 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100



Figur 20 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av bæreevne for alle korreksjonsmodeller på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100



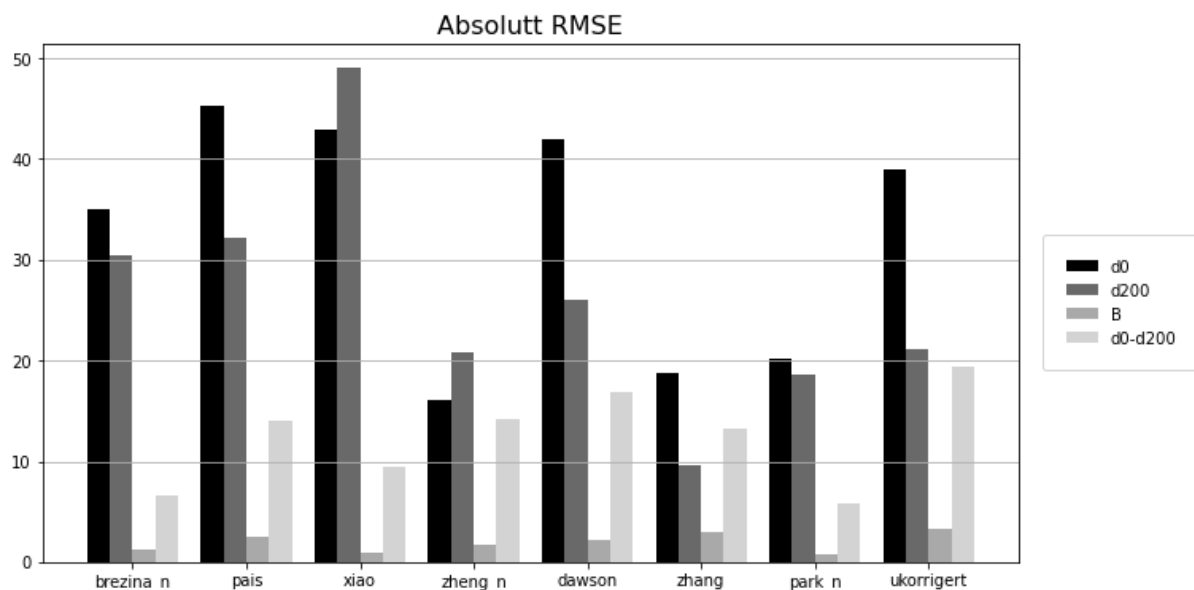
Figur 21 Plott av ukorrigerter og korrigerter verdier av d_0-d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100

Tabell 8 viser RMSE-verdier for hver av parameterne for alle de forskjellige korreksjonsmodellene, i tillegg til sammenligningsparameteren A som viser det sammenlagte resultatet for delstrekningen. Tabellen viser at det nok en gang er Park_n som gir den beste korreksjonen på denne delstrekningen, til tross for advarsler om at den effektive radiusen for temperaturkorreksjon er for liten.

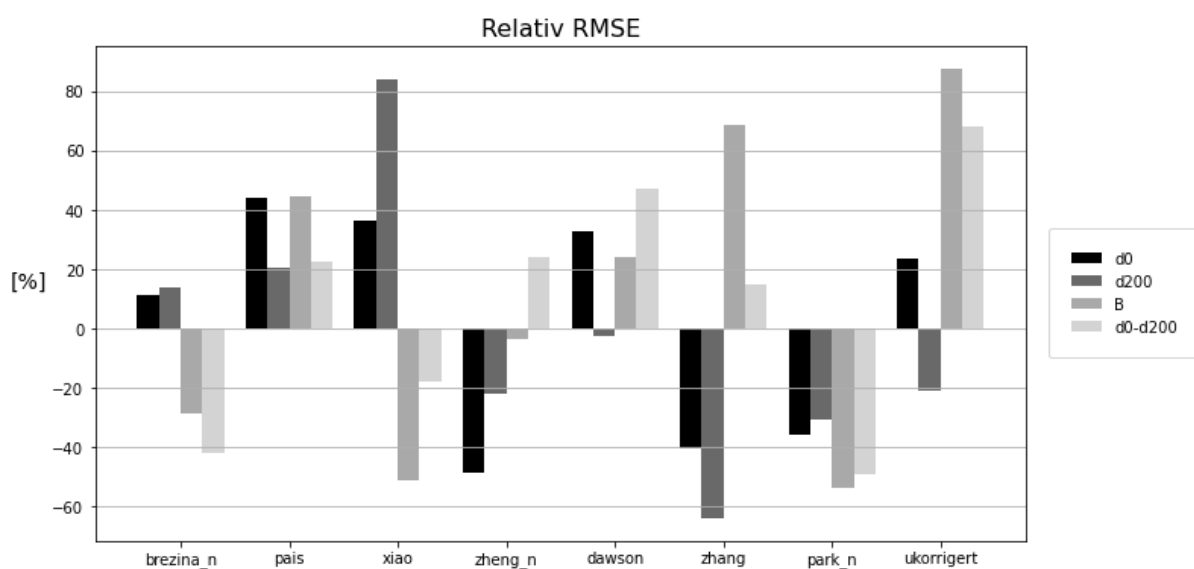
Tabell 8 RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100

| Modell | RMSE | | | | A |
|------------|-------|-------|------|---------|--------|
| | d0 | d200 | B | d0-d200 | |
| brezina_n | 35.06 | 30.4 | 1.26 | 6.69 | -11.21 |
| pais | 45.34 | 32.17 | 2.55 | 14.06 | 32.93 |
| xiao | 42.98 | 49.03 | 0.86 | 9.4 | 12.8 |
| zheng_n | 16.11 | 20.78 | 1.7 | 14.24 | -12.58 |
| dawson | 41.91 | 25.98 | 2.19 | 16.89 | 25.46 |
| zhang | 18.8 | 9.6 | 2.98 | 13.21 | -5.1 |
| park_n | 20.16 | 18.53 | 0.81 | 5.87 | -42.29 |
| ukorrigert | 38.94 | 21.13 | 3.32 | 19.34 | 39.84 |

Verdiene i tabellen er illustrert i Figur 22, som viser et plott av absolutte RMSE-verdier. Figur 23 viser et plott av relative RMSE-verdier.

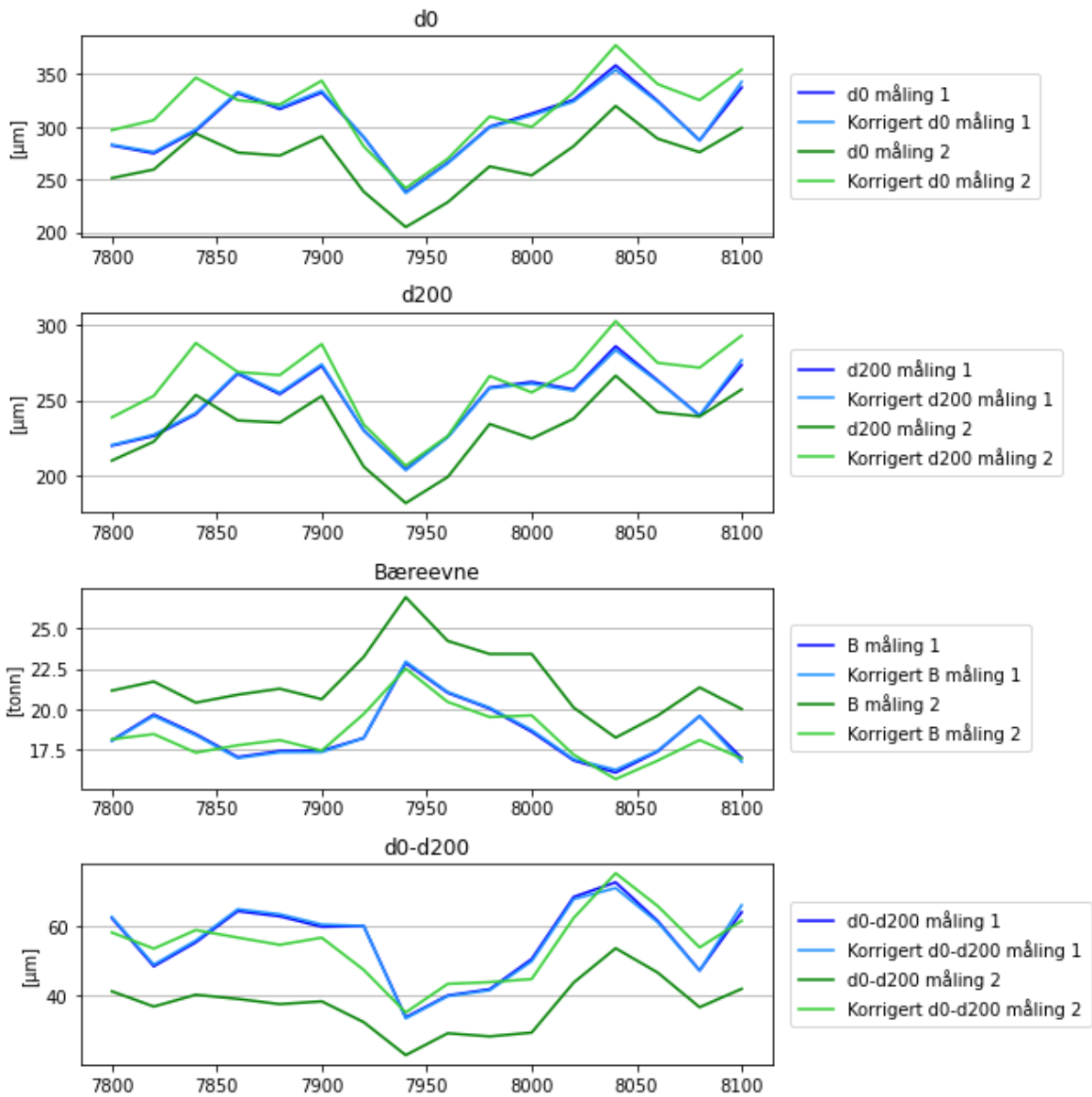


Figur 22 Plott av absolutte RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100



Figur 23 Plott av relative RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100

Figur 24 viser et plott av ukorrigerede og korrigerede verdier for d_0 , d_{200} , bæreevne og $d_0 - d_{200}$, for én korreksjonsmodell. Korreksjonsmodellen er den som gir best resultat på delstrekningen, i dette tilfellet Park_n.



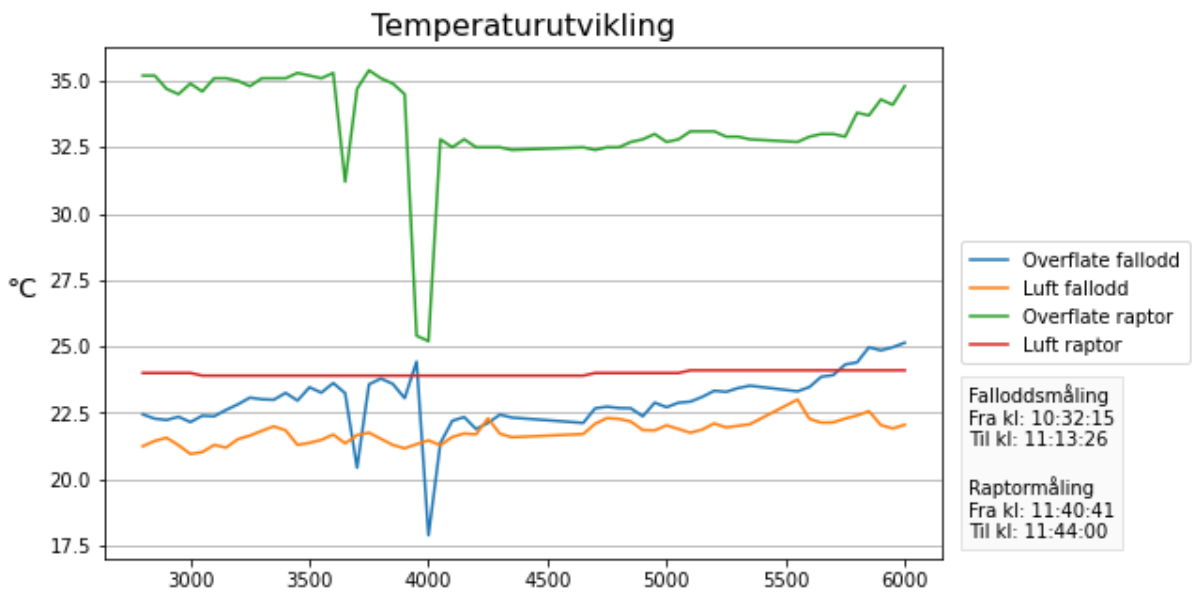
Figur 24 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100

Rv 36

S3D1 m2800-6000

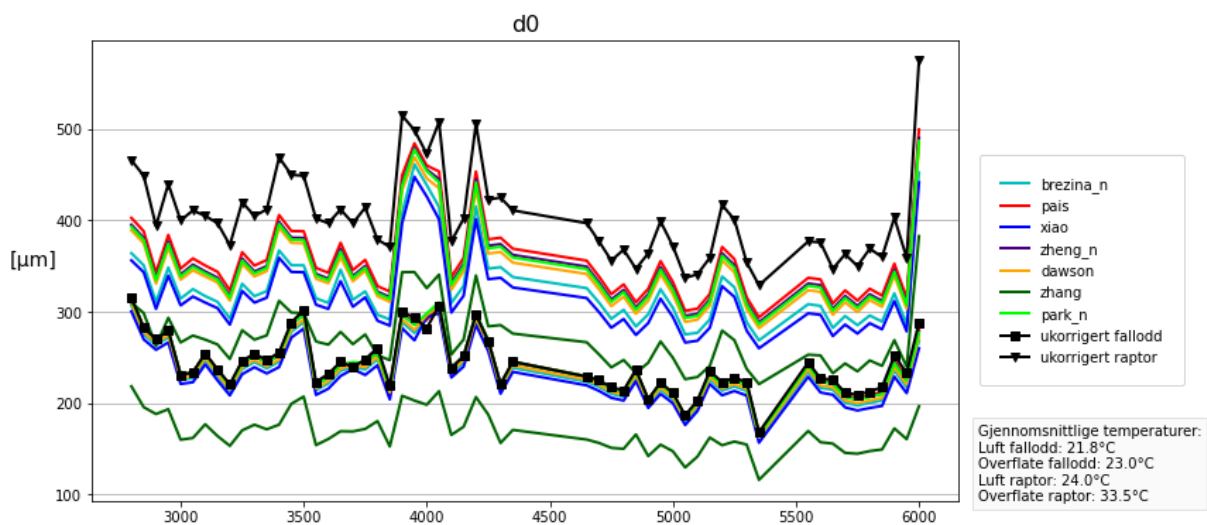
Sammenligningen på denne strekningen er gjort mellom målinger av fallodd og Raptor som begge ble gjort den 9. september 2021.

Figur 25 viser temperaturutviklingen på delstrekningen under målingene.

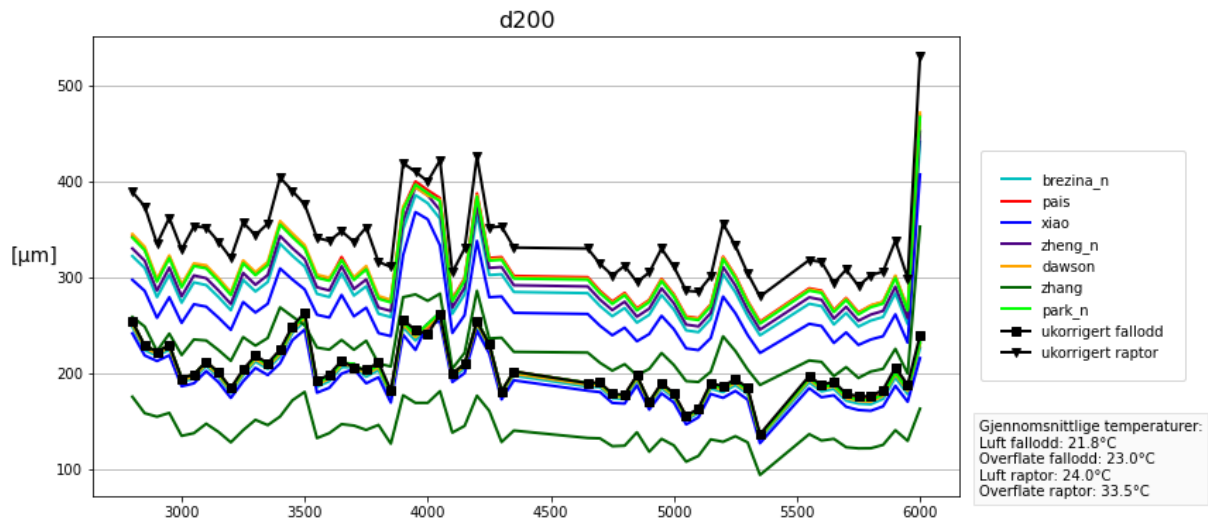


Figur 25 Temperaturutvikling på Rv 36 S3D1 m2800-6000

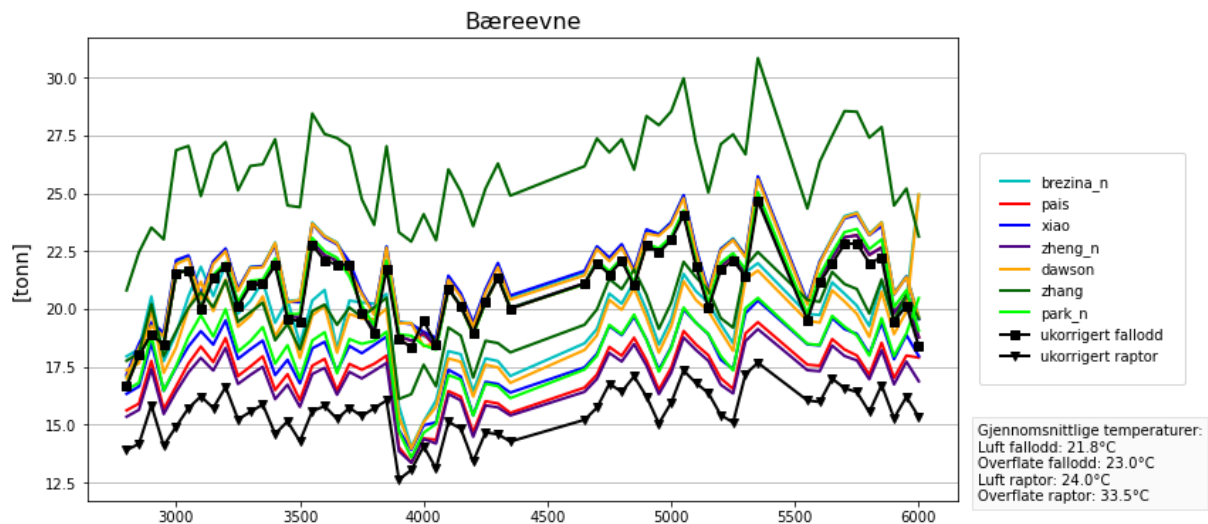
Figur 26, Figur 27, Figur 28 og Figur 29 viser ukorrigerede og korrigerede verdier av henholdsvis d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} for alle korreksjonsmodellene.



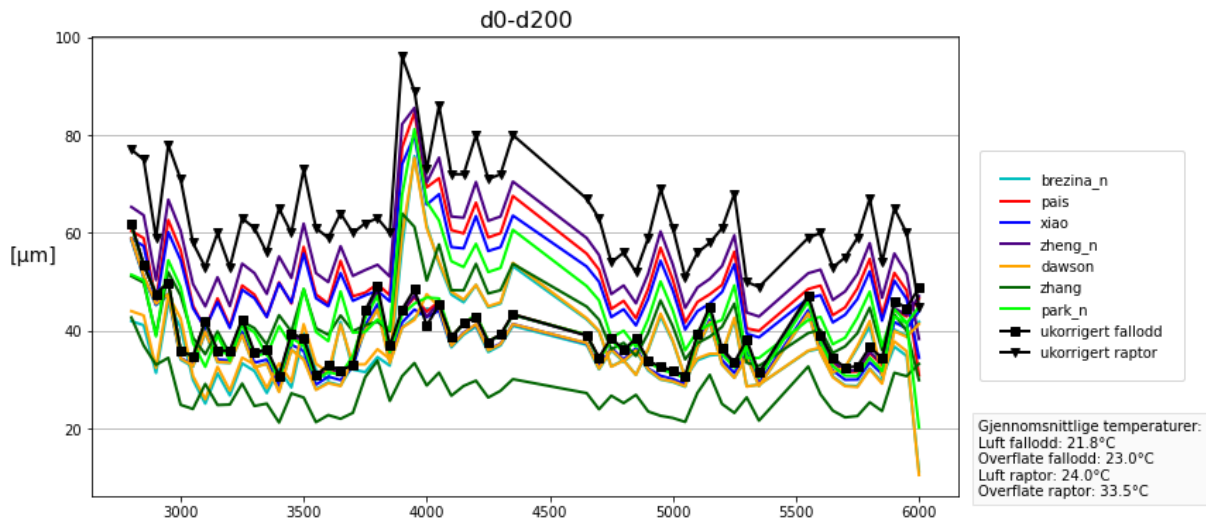
Figur 26 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S3D1 m2800-6000



Figur 27 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S3D1 m2800-6000



Figur 28 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av bæreevne for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S3D1 m2800-6000



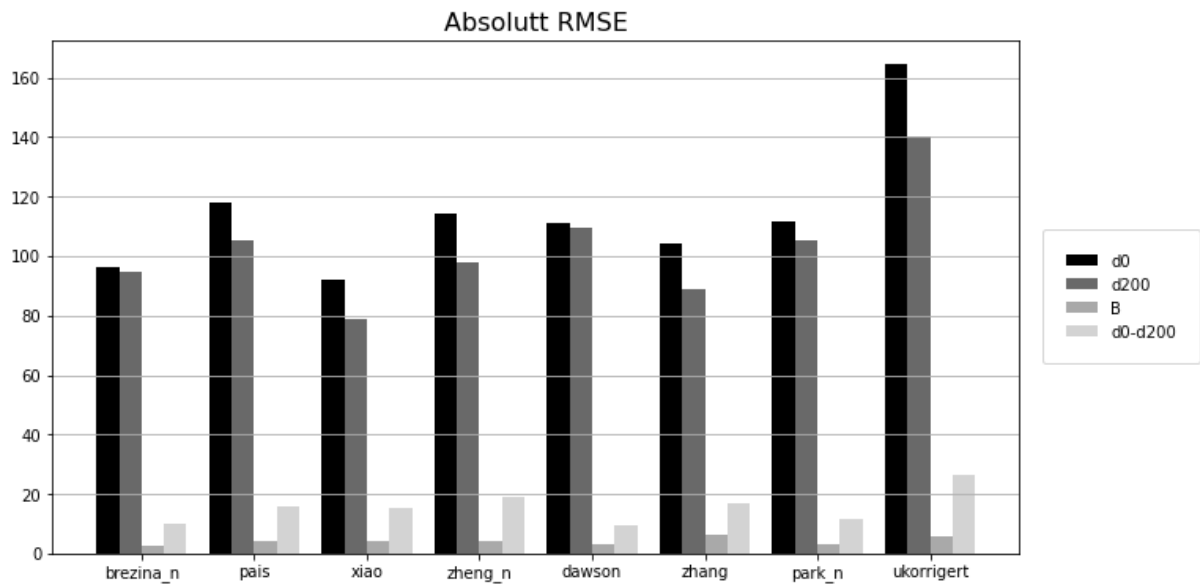
Figur 29 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av d_0-d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S3D1 m2800-6000

Tabell 9 viser RMSE-verdier for hver av parameterne for alle de forskjellige korreksjonsmodellene, i tillegg til sammenligningsparameteren A som viser det sammenlagte resultatet for delstrekningen. Tabellen viser at det er Brezina_n som gir den beste korreksjonen på denne delstrekningen.

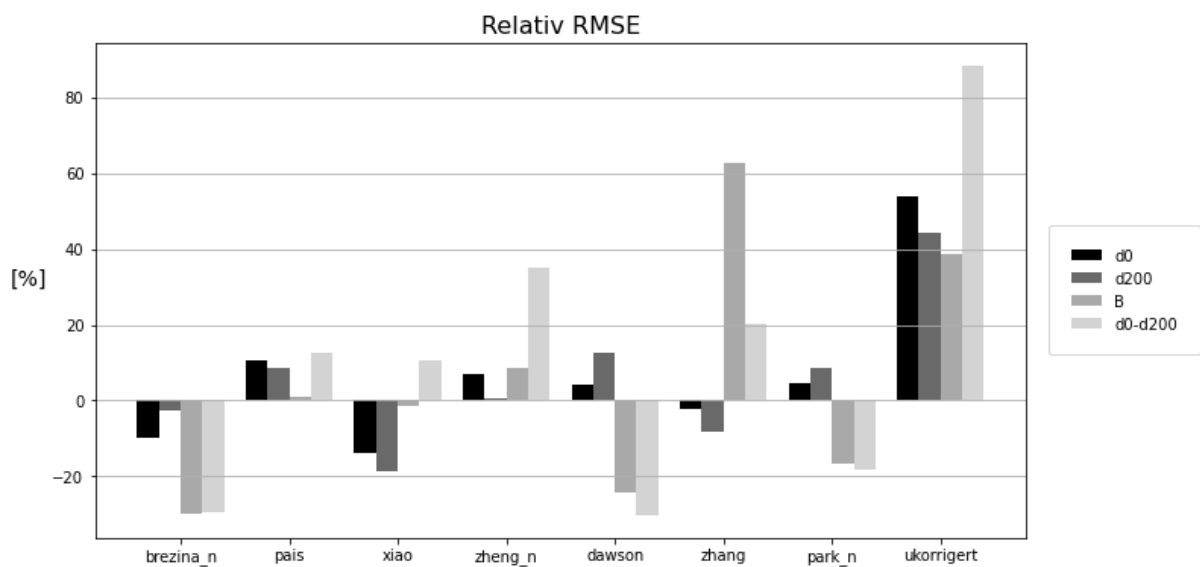
Tabell 9 RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S3D1 m2800-6000

| Modell | RMSE | | | | |
|------------|--------|--------|------|---------|--------|
| | d0 | d200 | B | d0-d200 | A |
| brezina_n | 96.27 | 94.49 | 2.79 | 9.79 | -18.02 |
| pais | 118.16 | 105.38 | 4.02 | 15.63 | 8.1 |
| xiao | 92.01 | 78.89 | 3.92 | 15.36 | -5.91 |
| zheng_n | 114.36 | 97.76 | 4.33 | 18.76 | 12.82 |
| dawson | 111.22 | 109.24 | 3.02 | 9.68 | -9.51 |
| zhang | 104.35 | 88.99 | 6.47 | 16.71 | 18.02 |
| park_n | 111.77 | 105.32 | 3.32 | 11.35 | -5.49 |
| ukorrigert | 164.37 | 140.08 | 5.52 | 26.21 | 56.27 |

Verdiene i tabellen er illustrert i Figur 30, som viser et plott av absolutte RMSE-verdier. Figur 31 viser et plott av relative RMSE-verdier.

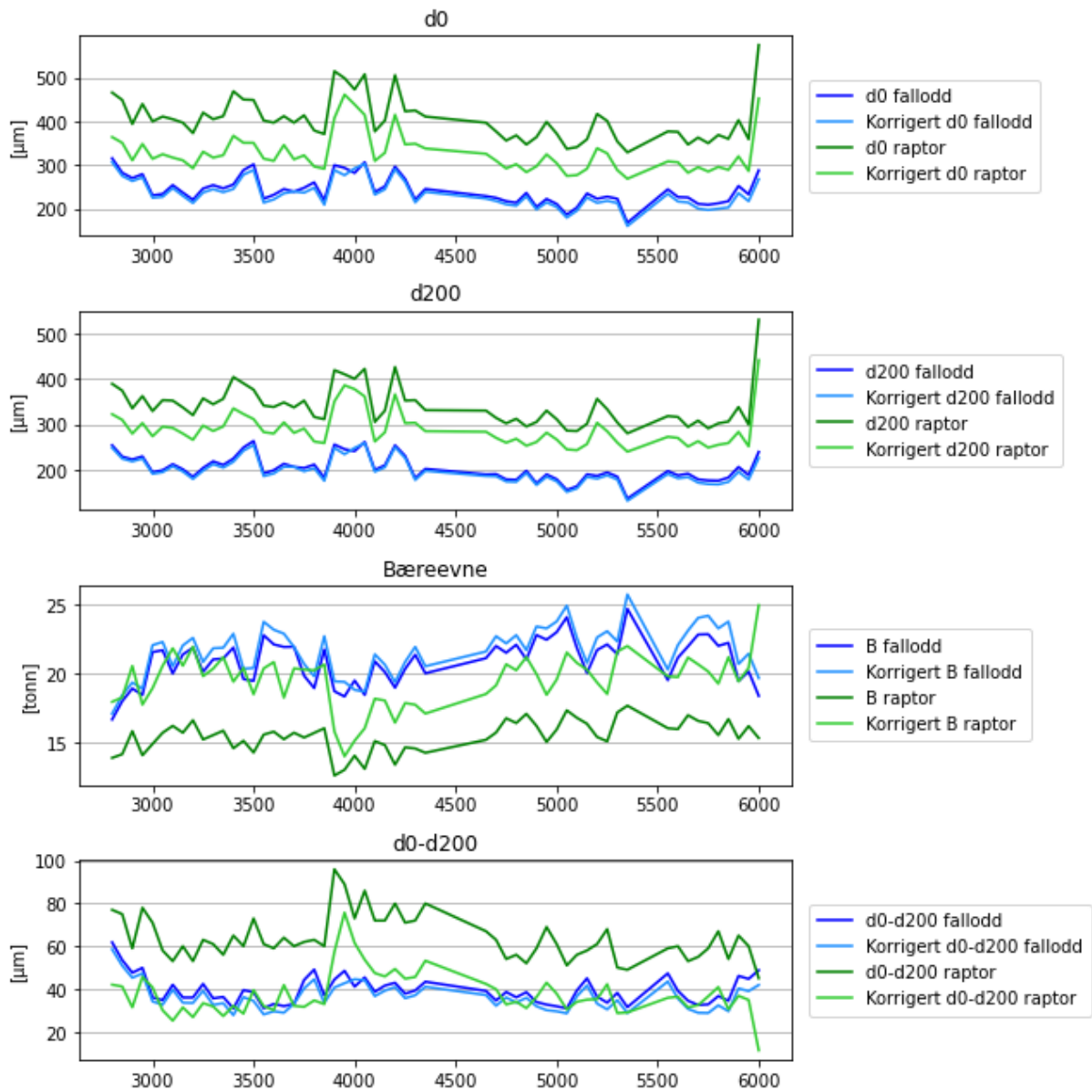


Figur 30 Plott av absolutte RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S3D1 m2800-6000



Figur 31 Plott av relative RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S3D1 m2800-6000

Figur 32 viser et plott av ukorrigerede og korrigerede verdier for d_0 , d_{200} , bæreevne og $d_0 - d_{200}$, for én korreksjonsmodell. Korreksjonsmodellen er den som gir best resultat på delstrekningen, i dette tilfellet Brezina_n.

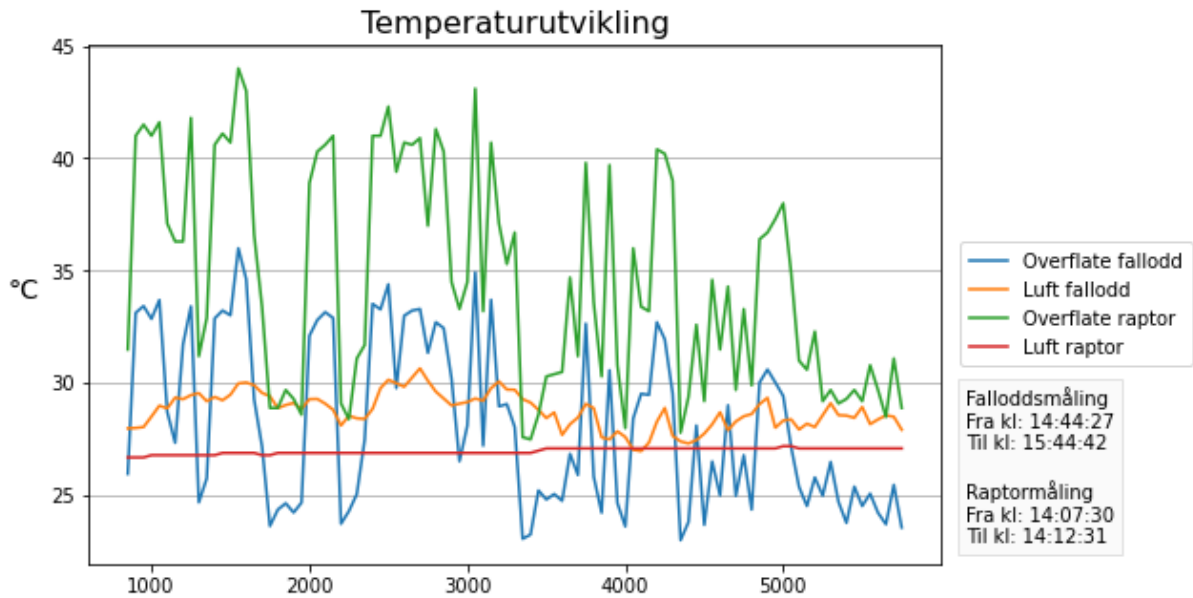


Figur 32 Plott av ukorrigerte og korrigerte verdier av d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} på Rv 36 S3D1 m2800-6000

S11D1 m850-5750

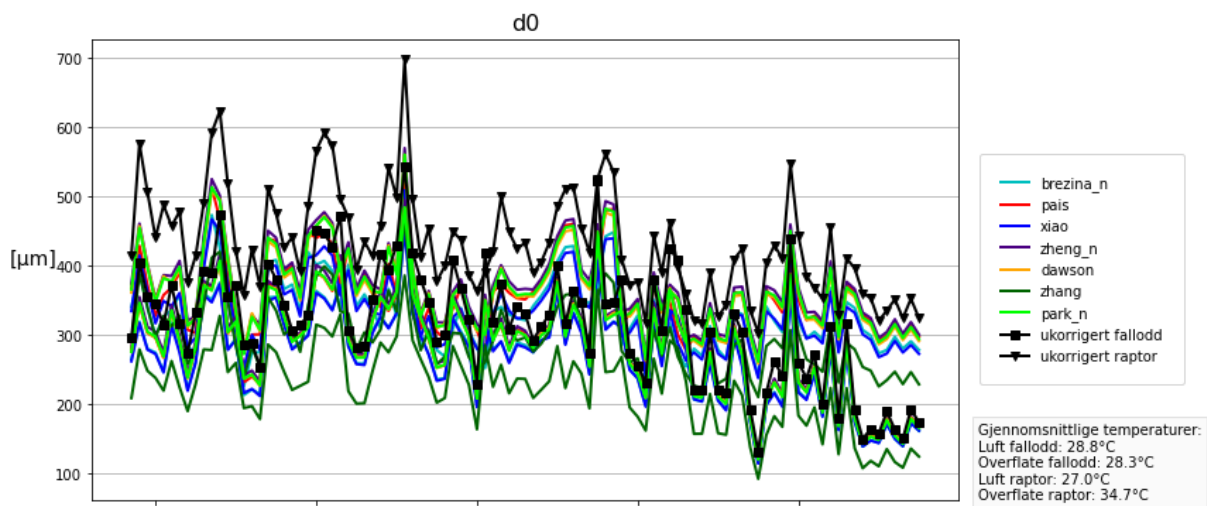
Sammenligningen på denne strekningen er gjort mellom målinger av fallodd og Raptor som begge ble gjort den 9. september 2021.

Figur 33 viser temperaturutviklingen på delstrekningen under målingene.

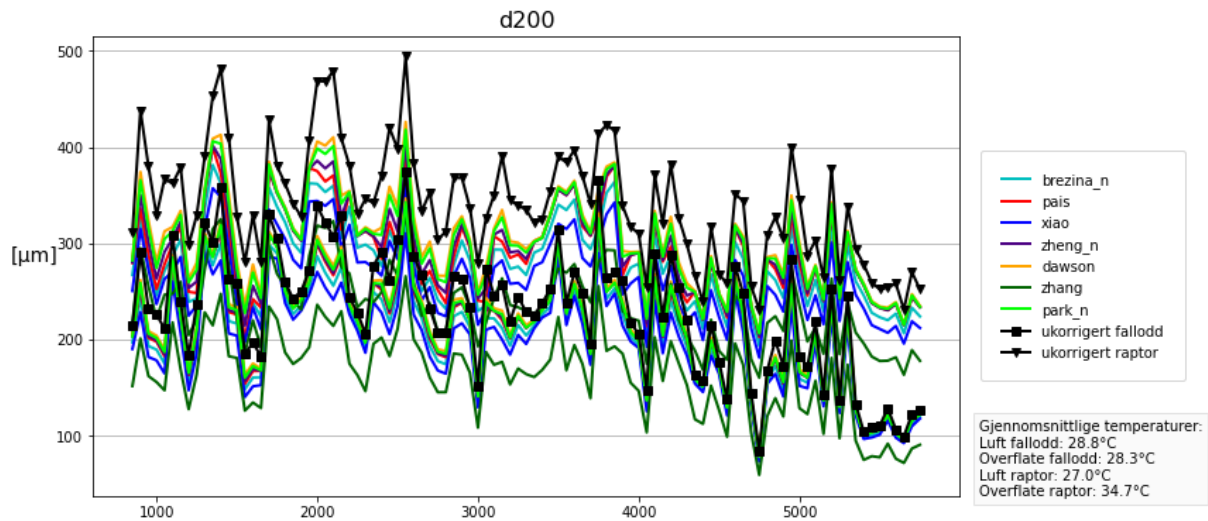


Figur 33 Temperaturutvikling på Rv 36 S11D1 m850-5750

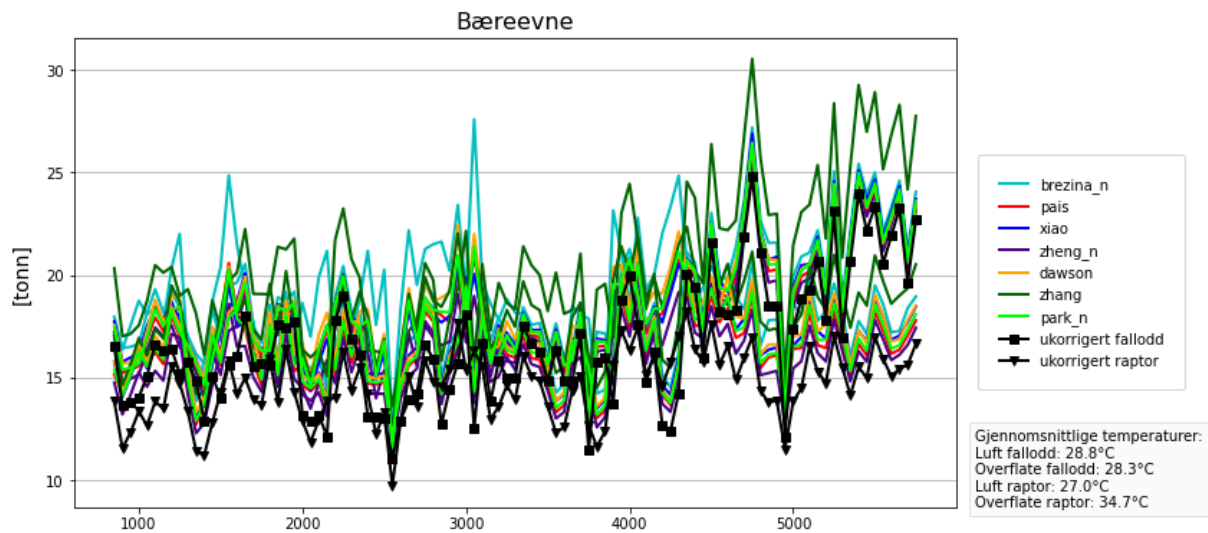
Figur 34, Figur 35, Figur 36 og Figur 37 viser ukorrigerede og korrigerede verdier av henholdsvis d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} for alle korreksjonsmodellene.



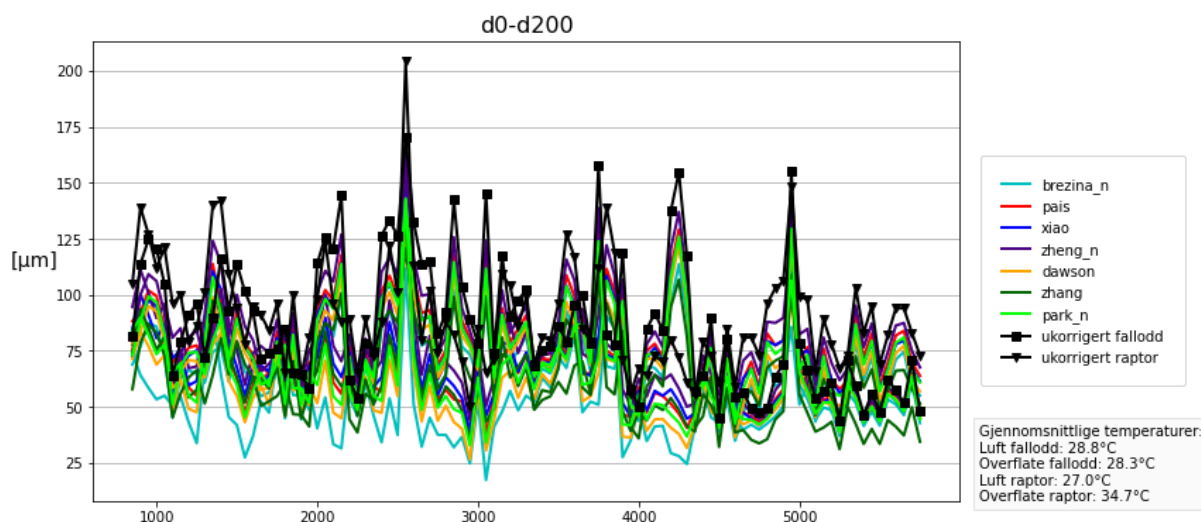
Figur 34 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S11D1 m850-5750



Figur 35 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S11D1 m850-5750



Figur 36 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av bæreevne for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S11D1 m850-5750



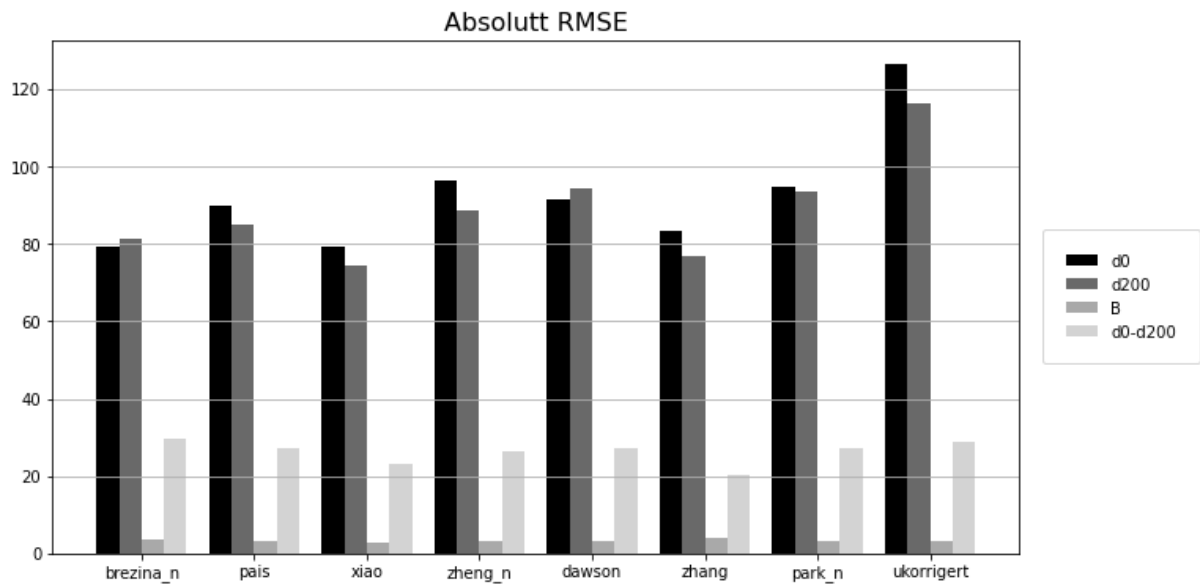
Figur 37 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av d_0-d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S11D1 m850-5750

Tabell 10 viser RMSE-verdier for hver av parameterne for alle de forskjellige korreksjonsmodellene, i tillegg til sammenligningsparameteren A som viser det sammenlagte resultatet for delstrekningen. Tabellen viser at det er Xiao som gir den beste korreksjonen på denne delstrekningen.

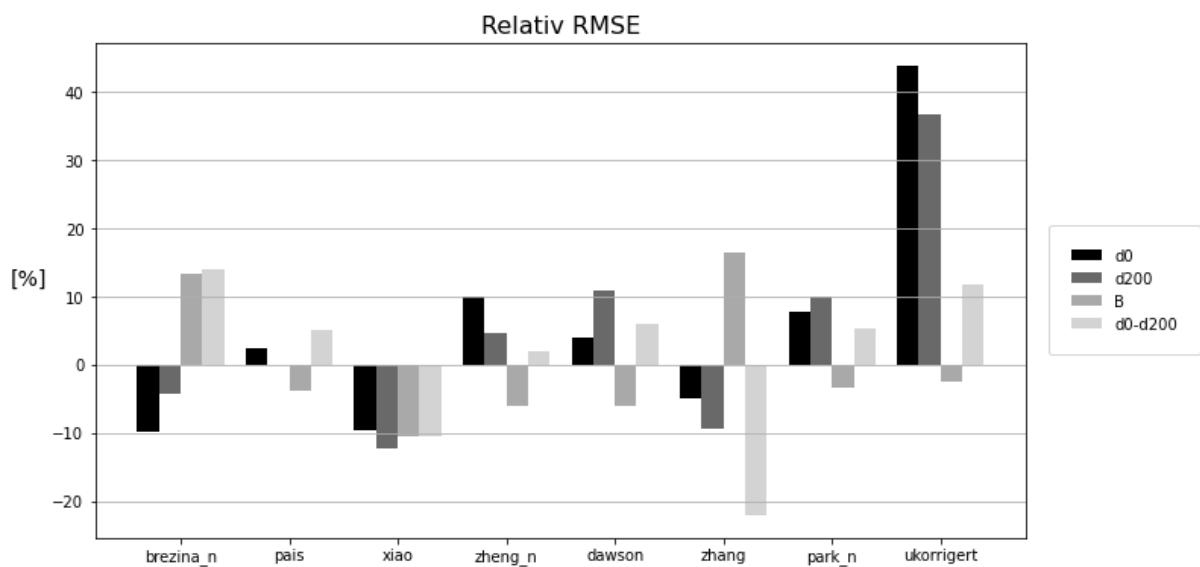
Tabell 10 RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S11D1 m850-5750

| Modell | RMSE | | | | A |
|------------|--------|--------|------|---------|--------|
| | d0 | d200 | B | d0-d200 | |
| brezina_n | 79.21 | 81.27 | 3.75 | 29.49 | 3.35 |
| pais | 89.82 | 84.94 | 3.19 | 27.2 | 0.95 |
| xiao | 79.44 | 74.47 | 2.97 | 23.16 | -10.64 |
| zheng_n | 96.53 | 88.83 | 3.11 | 26.38 | 2.64 |
| dawson | 91.29 | 94.2 | 3.11 | 27.41 | 3.73 |
| zhang | 83.45 | 76.88 | 3.86 | 20.16 | -4.99 |
| park_n | 94.59 | 93.37 | 3.2 | 27.24 | 4.95 |
| ukorrigert | 126.36 | 116.09 | 3.23 | 28.92 | 22.55 |

Verdiene i tabellen er illustrert i Figur 38, som viser et plott av absolutte RMSE-verdier. Figur 39 viser et plott av relative RMSE-verdier.

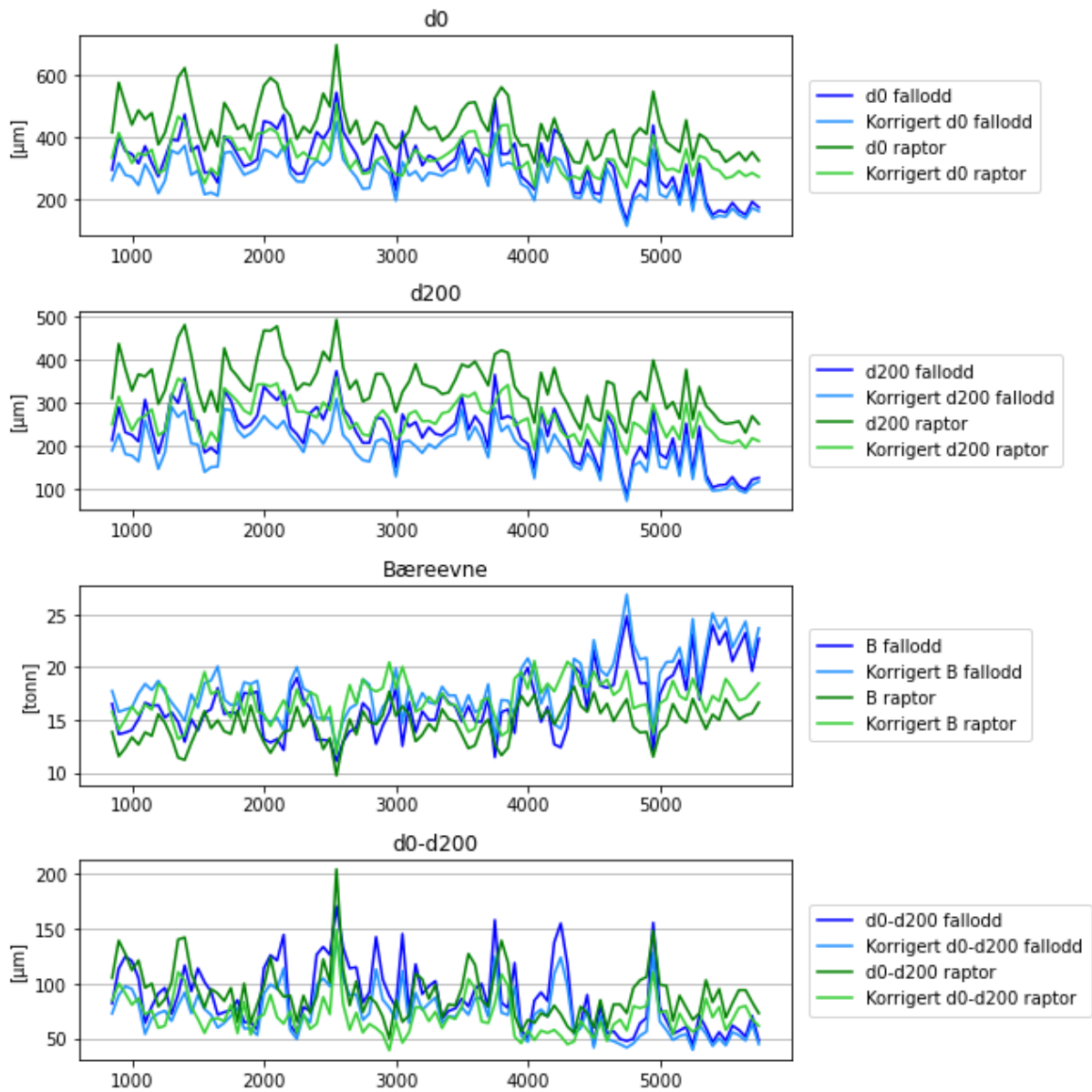


Figur 38 Plott av absolutte RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S11D1 m850-5750



Figur 39 Plott av relative RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S11D1 m850-5750

Figur 40 viser et plott av ukorrigerede og korrigerede verdier for d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} , for én korreksjonsmodell. Korreksjonsmodellen er den som gir best resultat på delstrekningen, i dette tilfellet Xiao.

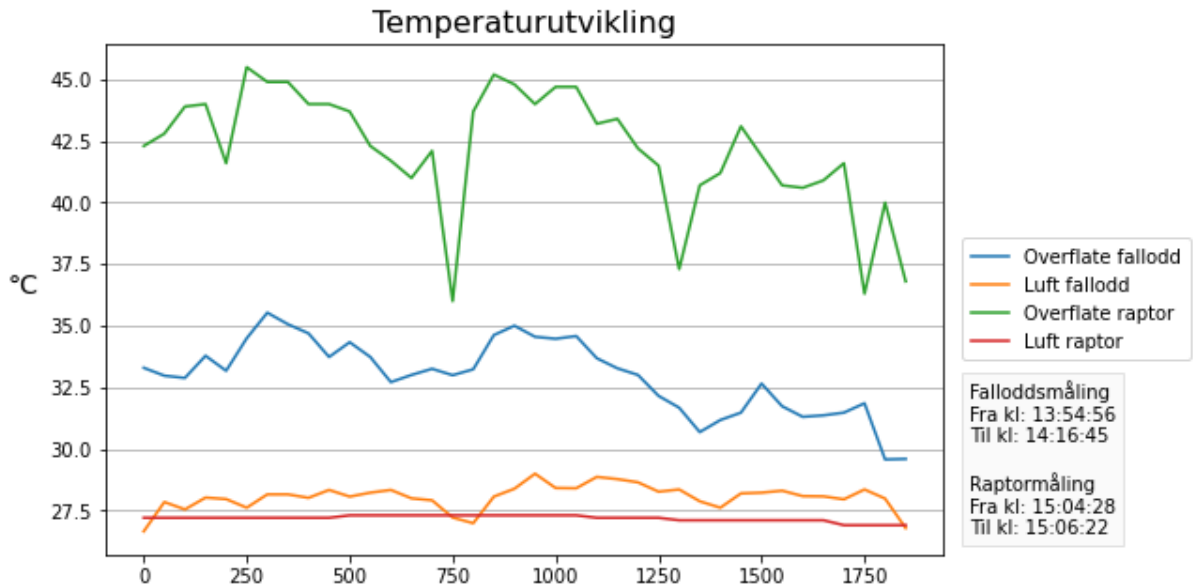


Figur 40 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} på Rv 36 S11D1 m850-5750

S12D1 m0-1850 fallodd vs Raptor

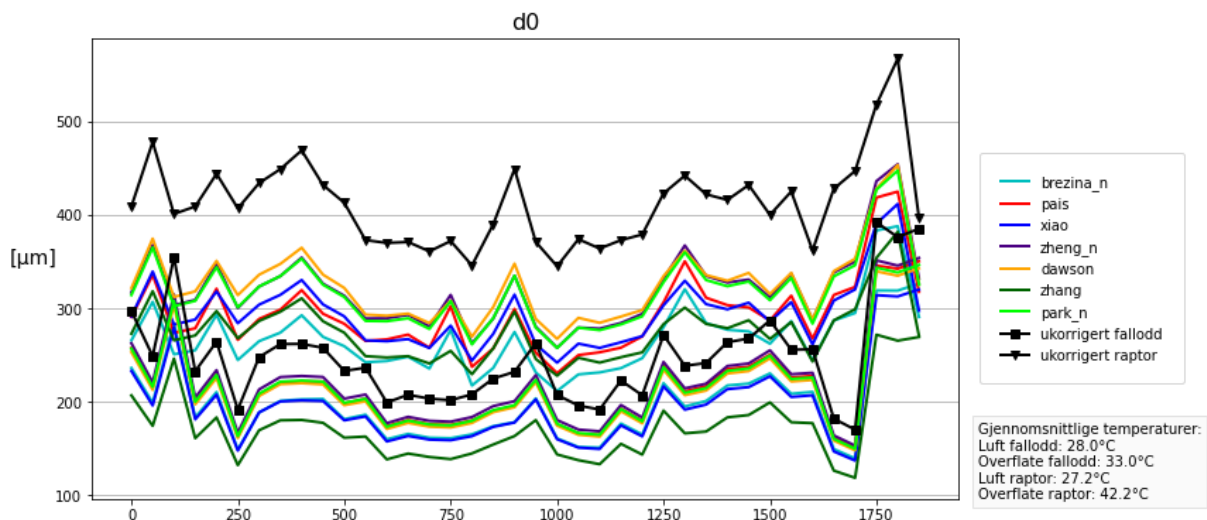
Sammenligningen på denne strekningen er gjort mellom målinger av fallodd og Raptor som begge ble gjort den 9. september 2021.

Figur 41 viser temperaturutviklingen på delstrekningen under målingene.

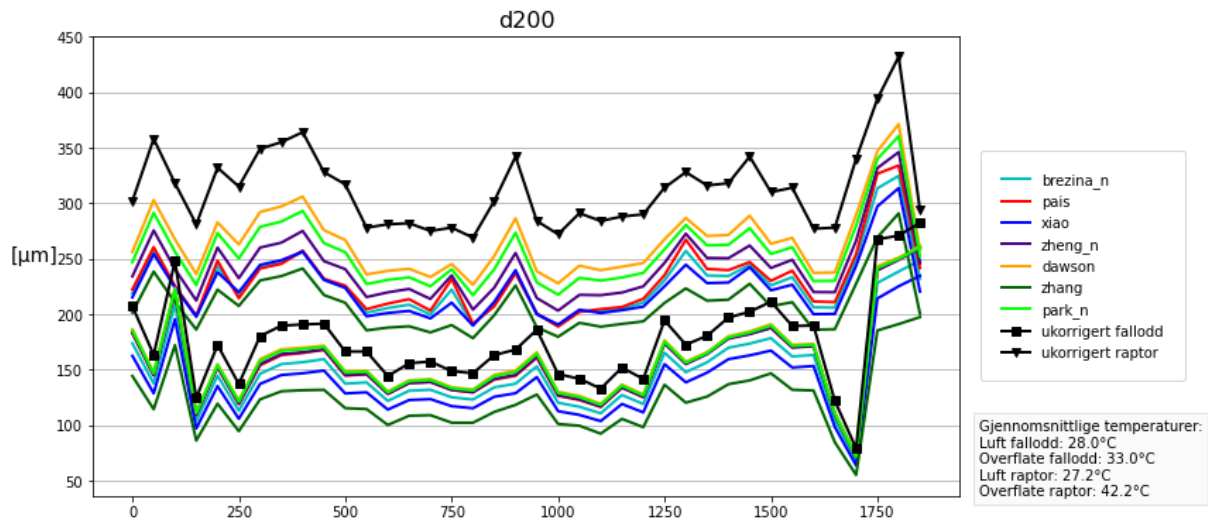


Figur 41 Temperaturutvikling på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor)

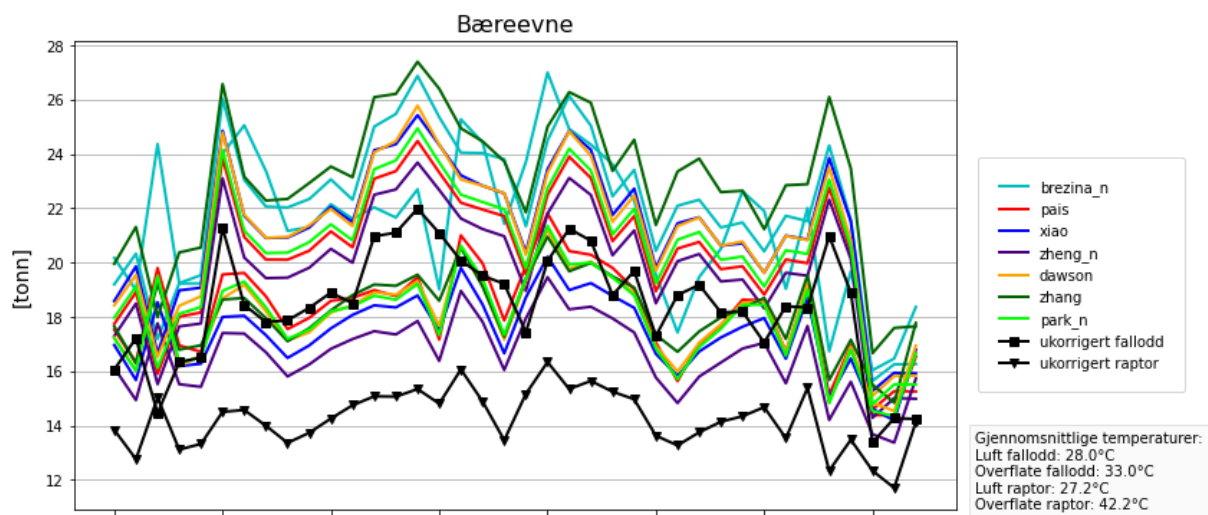
Figur 42, Figur 43, Figur 44 og Figur 45 viser ukorrigerede og korrigerede verdier av henholdsvis d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0 - d_{200} for alle korreksjonsmodellene.



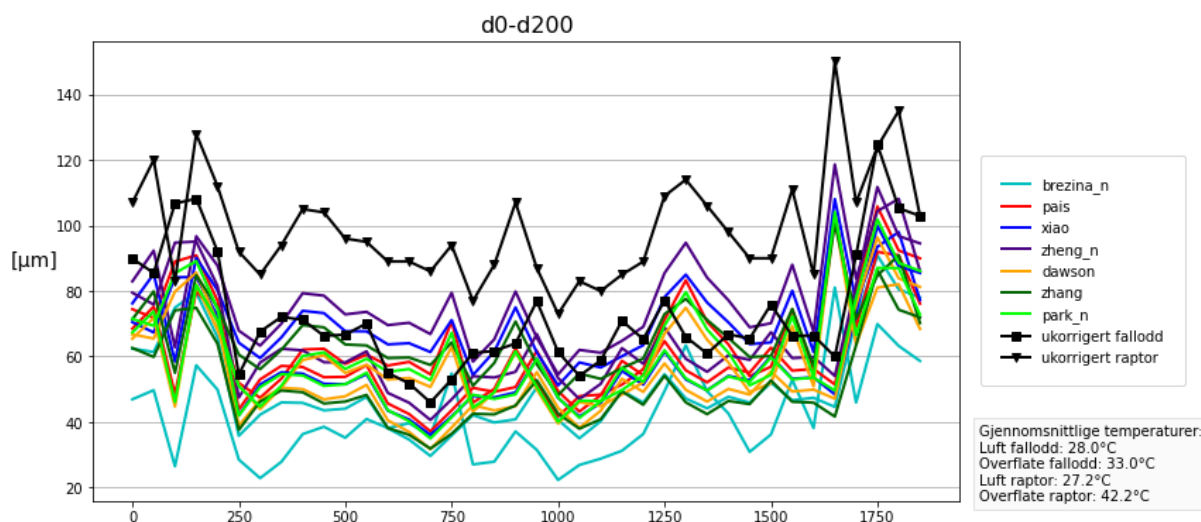
Figur 42 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor)



Figur 43 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor)



Figur 44 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av bæreevne for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor)



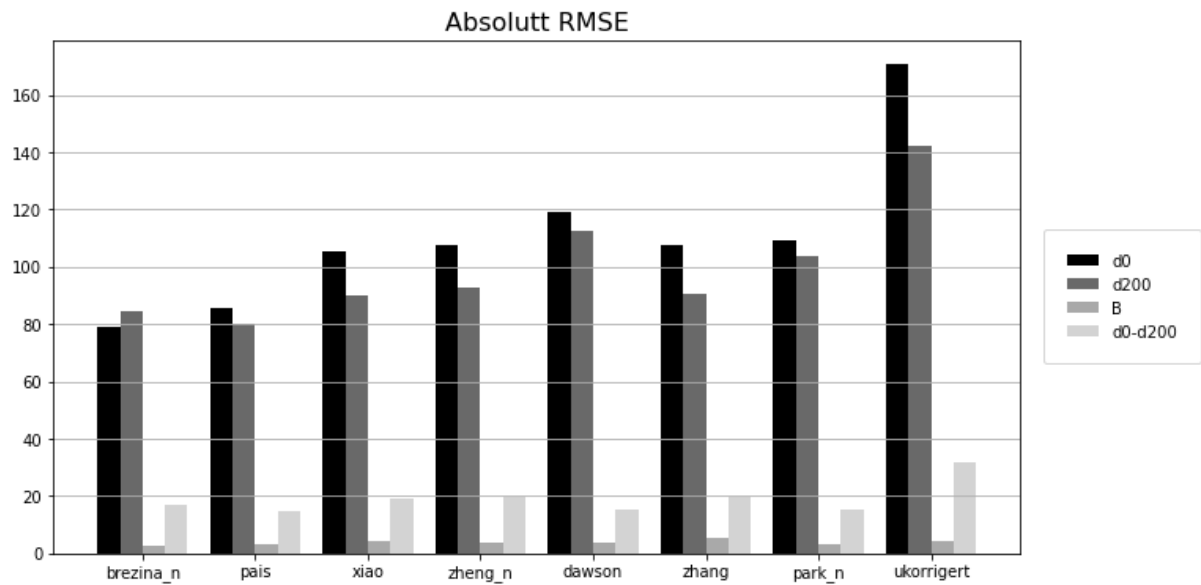
Figur 45 Plott av ukorrigerter og korrigerter verdier av d_0 - d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor)

Tabell 11 viser RMSE-verdier for hver av parameterne for alle de forskjellige korreksjonsmodellene, i tillegg til sammenligningsparameteren A som viser det sammenlagte resultatet for delstrekningen. Tabellen viser at det er Pais som gir den beste korreksjonen på denne delstrekningen.

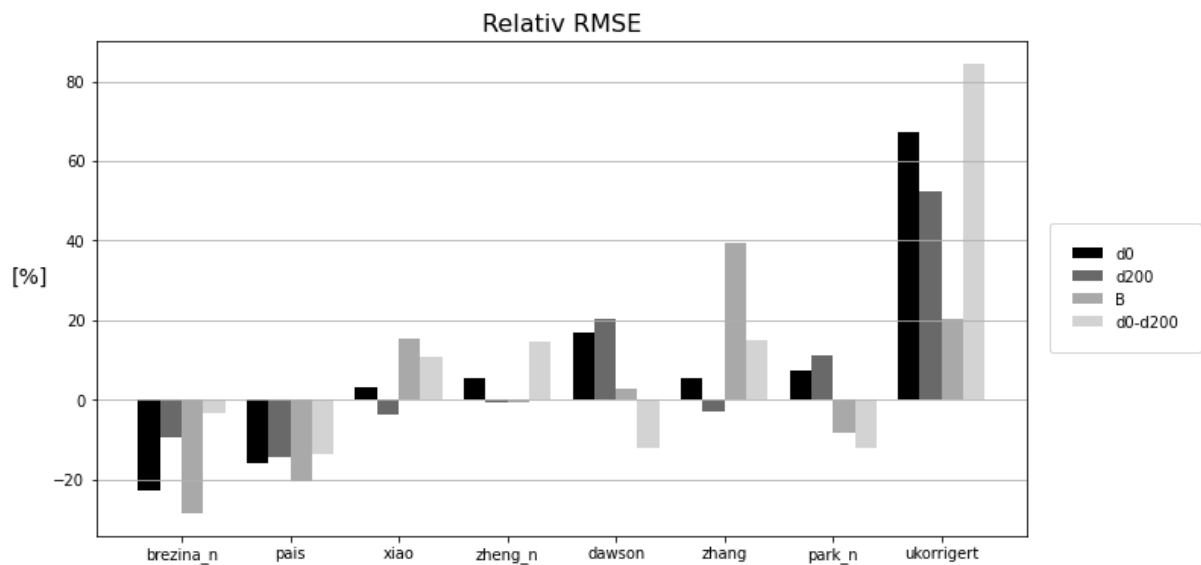
Tabell 11 RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor)

| Modell | RMSE | | | | |
|------------|--------|--------|------|---------|--------|
| | d0 | d200 | B | d0-d200 | A |
| brezina_n | 78.92 | 84.68 | 2.72 | 16.73 | -15.92 |
| pais | 85.7 | 79.99 | 3.02 | 14.96 | -16.04 |
| xiao | 105.17 | 89.84 | 4.38 | 19.18 | 6.42 |
| zheng_n | 107.7 | 92.75 | 3.78 | 19.83 | 4.79 |
| dawson | 119.1 | 112.34 | 3.91 | 15.2 | 6.96 |
| zhang | 107.68 | 90.65 | 5.29 | 19.9 | 14.31 |
| park_n | 109.37 | 103.87 | 3.48 | 15.2 | -0.52 |
| ukorrigert | 170.68 | 142.52 | 4.57 | 31.9 | 56.2 |

Verdiene i tabellen er illustrert i Figur 46, som viser et plott av absolutte RMSE-verdier. Figur 47 viser et plott av relative RMSE-verdier.

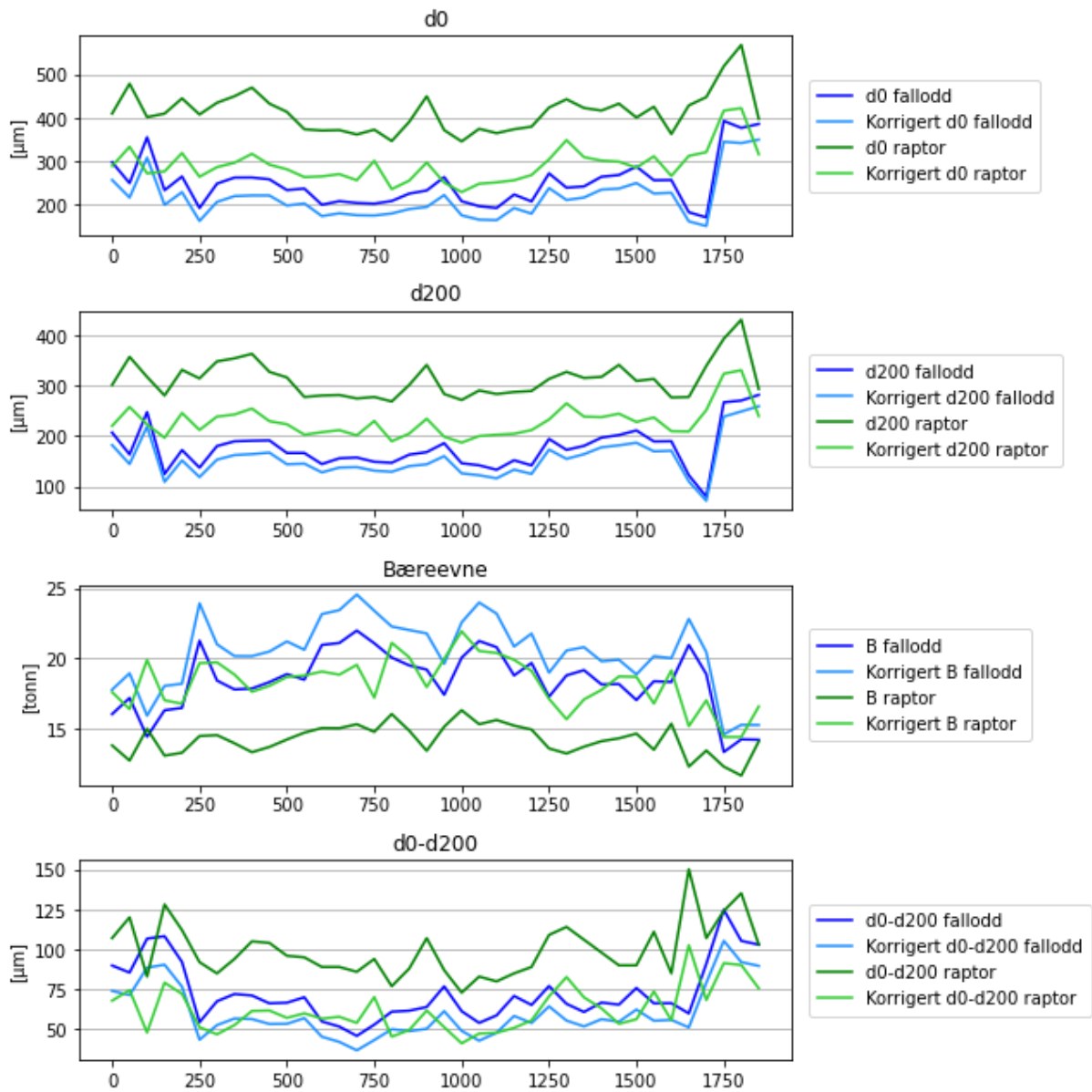


Figur 46 Plott av absolutte RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor)



Figur 47 Plott av relative RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor)

Figur 48 viser et plott av ukorrigerede og korrigerede verdier for d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} , for én korreksjonsmodell. Korreksjonsmodellen er den som gir best resultat på delstrekningen, i dette tilfellet Pais.

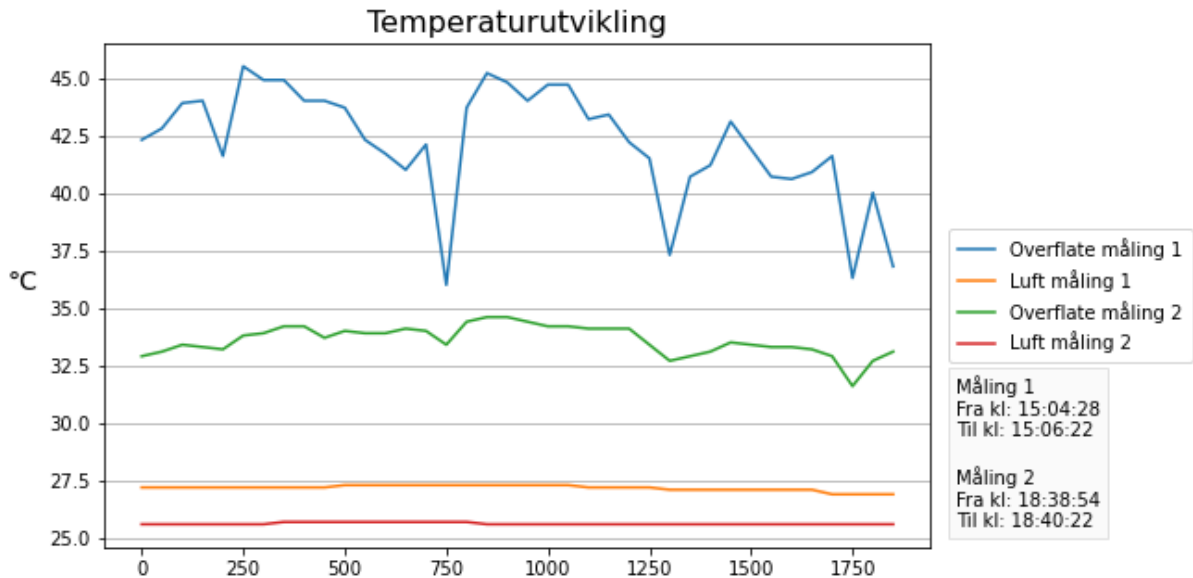


Figur 48 Plott av ukorrigerte og korrigerte verdier av d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor)

S12D1 m0-1850 Raptor vs Raptor

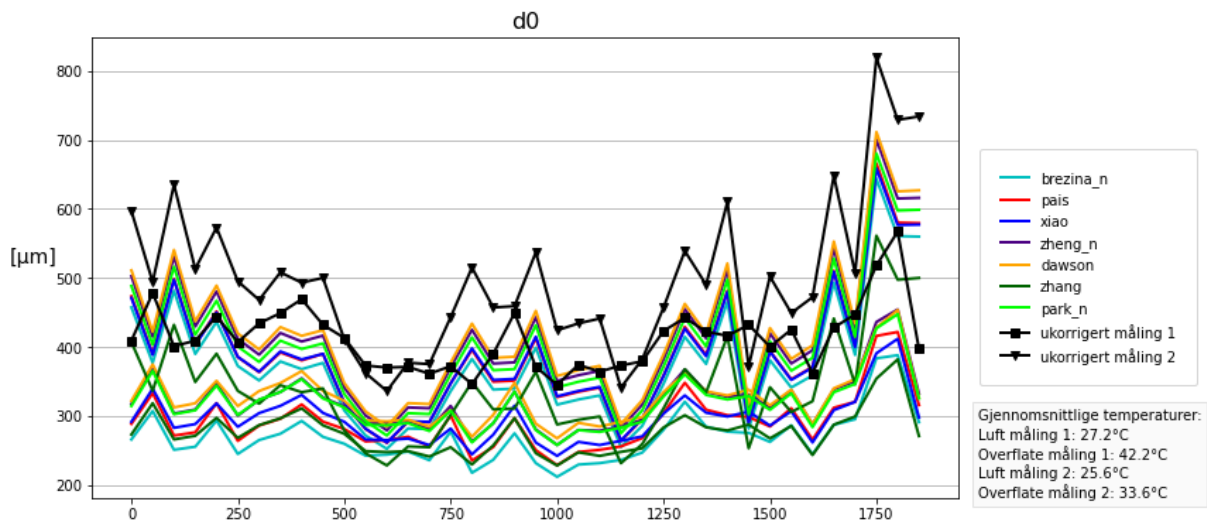
Måling 1 på delstrekningen ble gjennomført med Raptor 9. september 2021, mens måling 2 ble utført med Raptor 12. august 2021.

Figur 49 viser temperaturutviklingen på delstrekningen under målingene.

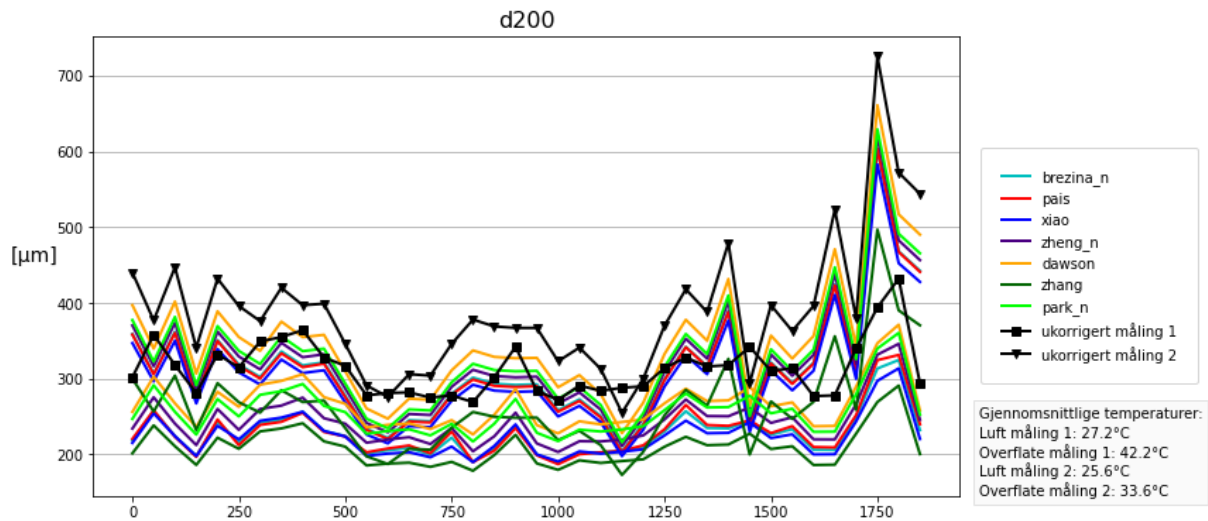


Figur 49 Temperaturutvikling på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor)

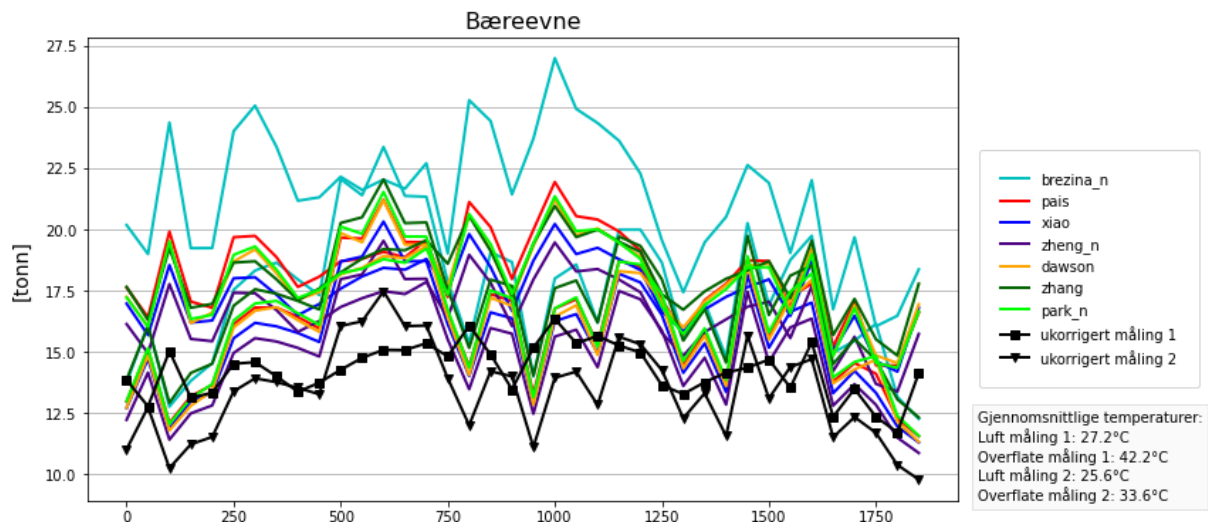
Figur 50, Figur 51, Figur 52 og Figur 53 viser ukorrigerede og korrigerte verdier av henholdsvis d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0 - d_{200} for alle korreksjonsmodellene.



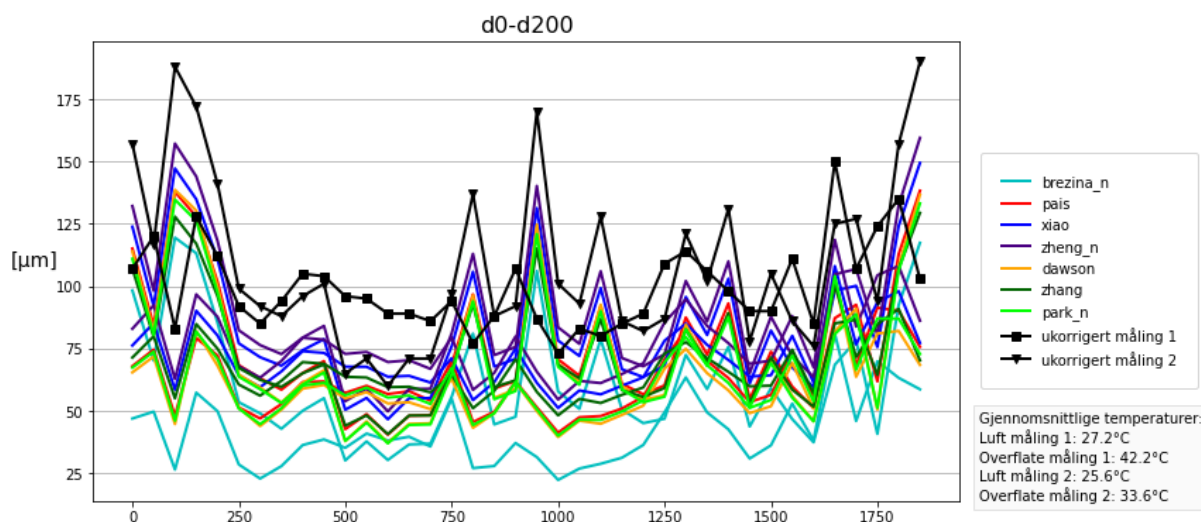
Figur 50 Plott av ukorrigerede og korrigerte verdier av d_0 for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor)



Figur 51 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor)



Figur 52 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av bæreevne for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor)



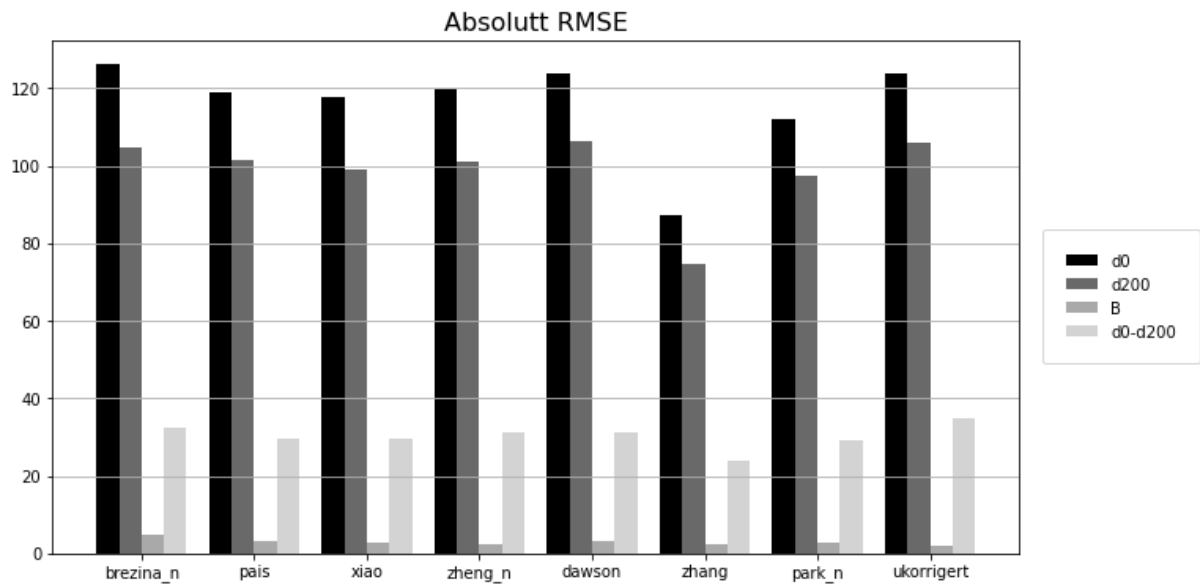
Figur 53 Plott av ukorrigerede og korrigerte verdier av d_0-d_{200} for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor)

Tabell 12 viser RMSE-verdier for hver av parameterne for alle de forskjellige korreksjonsmodellene, i tillegg til sammenligningsparameteren A som viser det sammenlagte resultatet for delstrekningen. Tabellen viser at det er Zhang som gir den beste korreksjonen på denne delstrekningen.

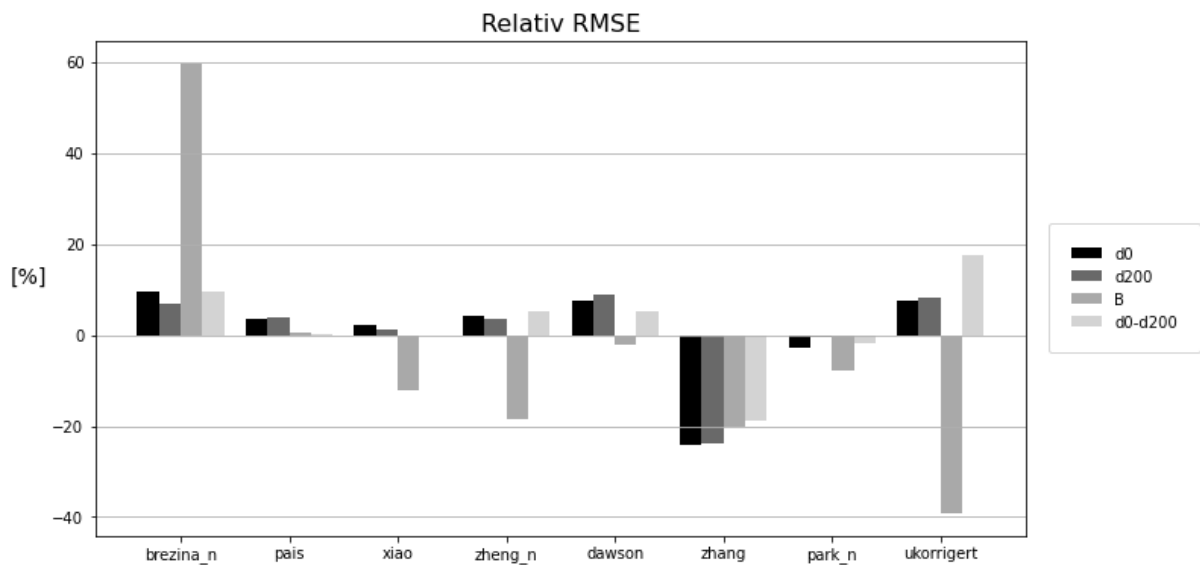
Tabell 12 RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor)

| Modell | RMSE | | | | |
|------------|--------|--------|------|---------|--------|
| | d0 | d200 | B | d0-d200 | A |
| brezina_n | 126.11 | 104.74 | 5.03 | 32.51 | 21.53 |
| pais | 119.1 | 101.55 | 3.17 | 29.74 | 2.08 |
| xiao | 117.51 | 99.12 | 2.77 | 29.64 | -2.16 |
| zheng_n | 119.79 | 101.22 | 2.57 | 31.19 | -1.4 |
| dawson | 123.91 | 106.44 | 3.08 | 31.22 | 4.91 |
| zhang | 87.27 | 74.57 | 2.52 | 24.05 | -21.73 |
| park_n | 111.96 | 97.5 | 2.9 | 29.07 | -3.23 |
| ukorrigert | 123.69 | 106.06 | 1.91 | 34.84 | -1.45 |

Verdiene i tabellen er illustrert i Figur 54, som viser et plott av absolutte RMSE-verdier. Figur 55 viser et plott av relative RMSE-verdier.

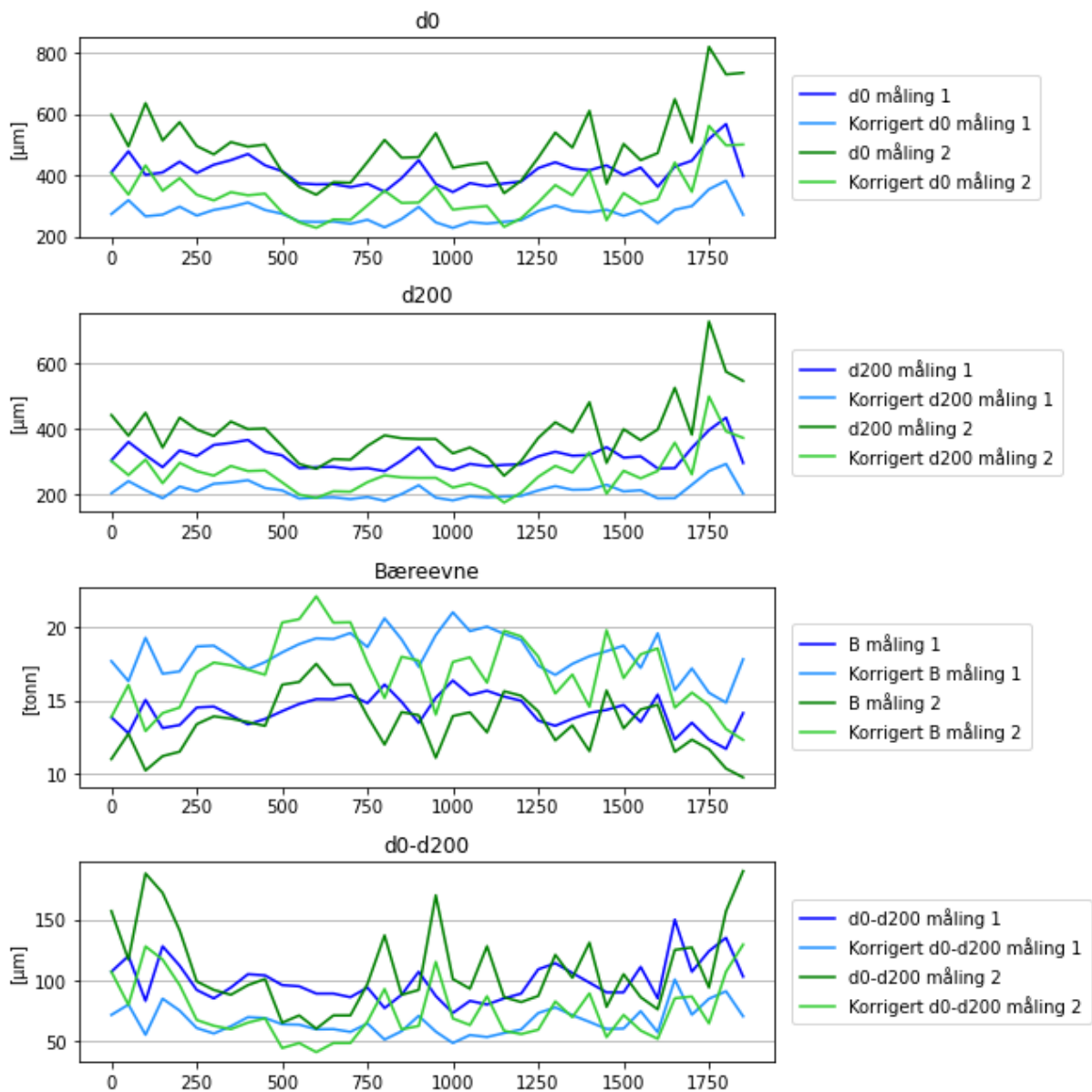


Figur 54 Plott av absolutte RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor)



Figur 55 Plott av relative RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor)

Figur 56 viser et plott av ukorrigerede og korrigerede verdier for d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} , for én korreksjonsmodell. Korreksjonsmodellen er den som gir best resultat på delstrekningen, i dette tilfellet Zhang.



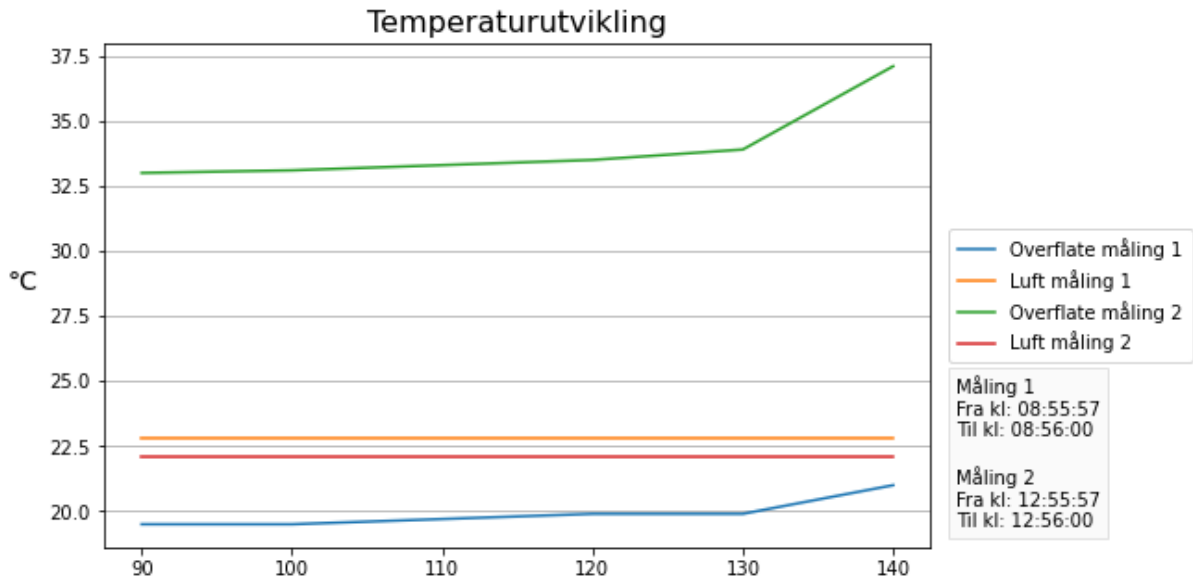
Figur 56 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor)

NCAT test track

Begge målingene på begge seksjonene ble gjennomført med Raptor den 25. februar 2019.

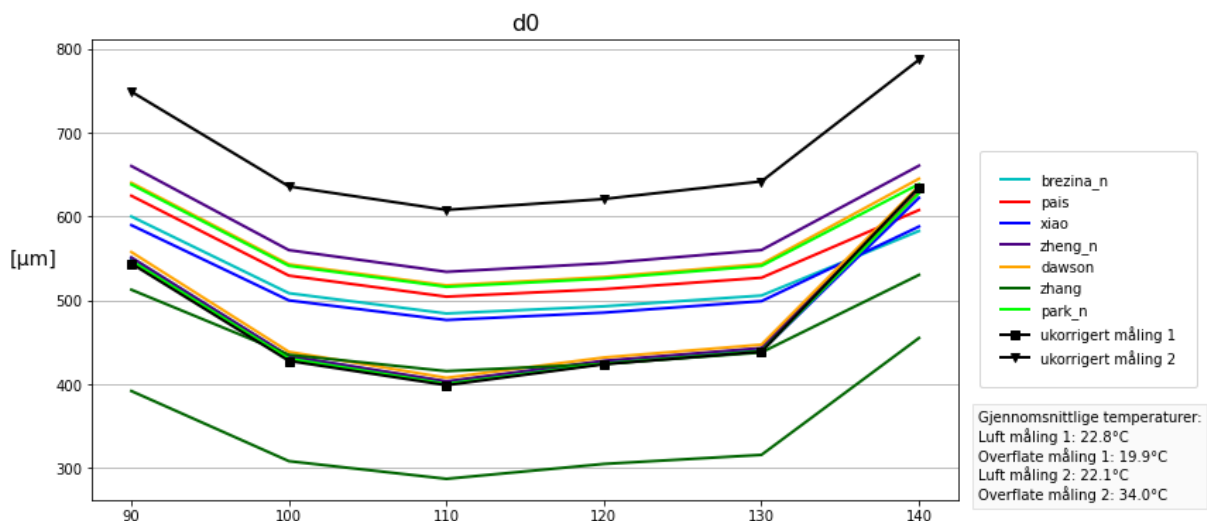
Seksjon N2

Figur 57 viser temperaturutviklingen på delstrekningen under målingene.

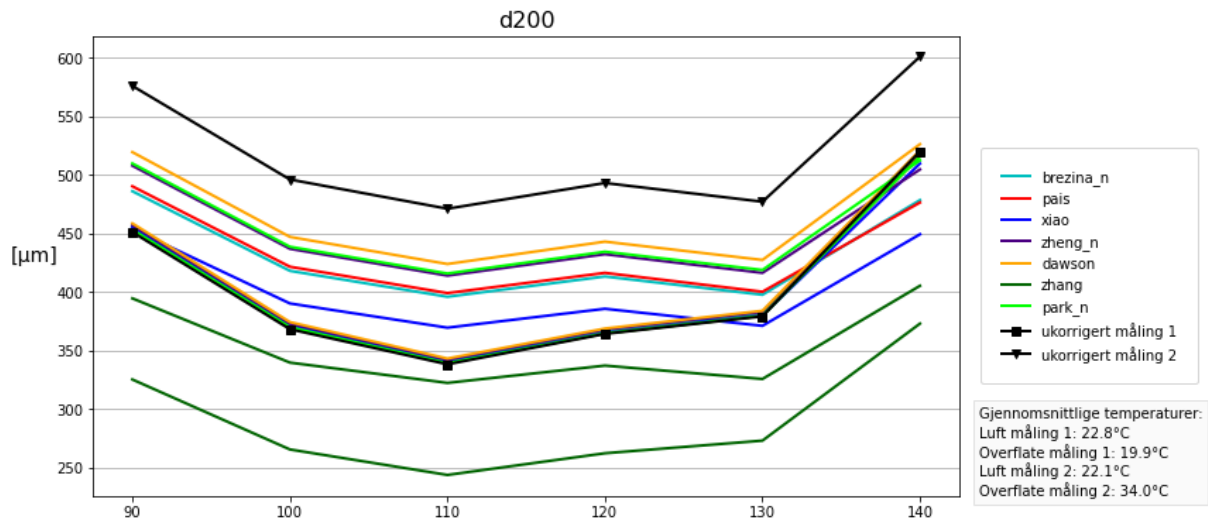


Figur 57 Temperaturutvikling på NCAT test track seksjon N2

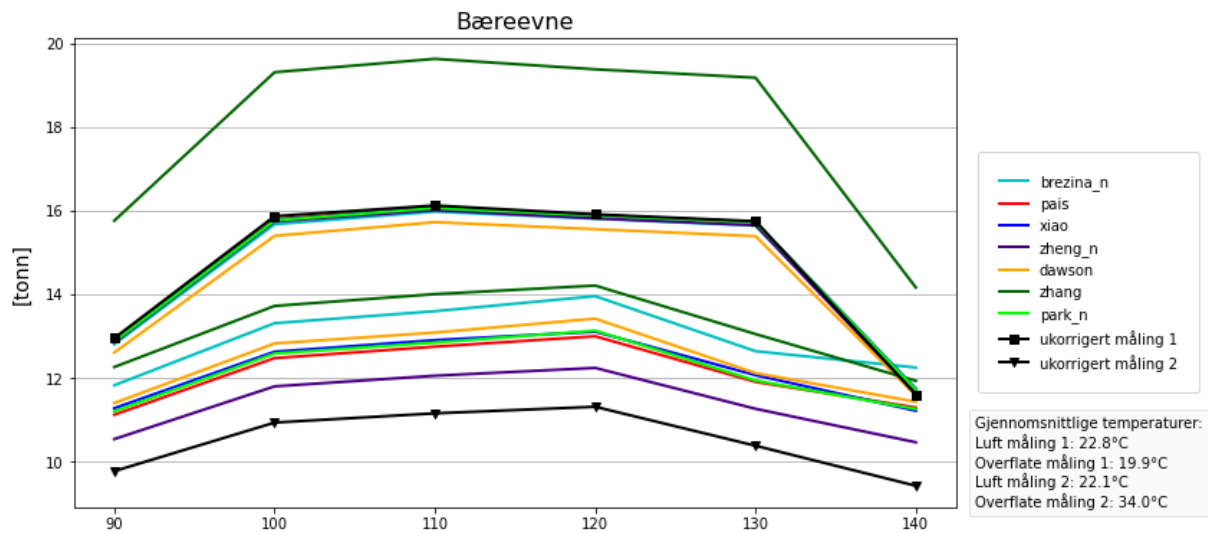
Figur 58, Figur 59, Figur 60 og Figur 61 viser ukorrigerte og korrigerte verdier av henholdsvis d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0 - d_{200} for alle korreksjonsmodellene.



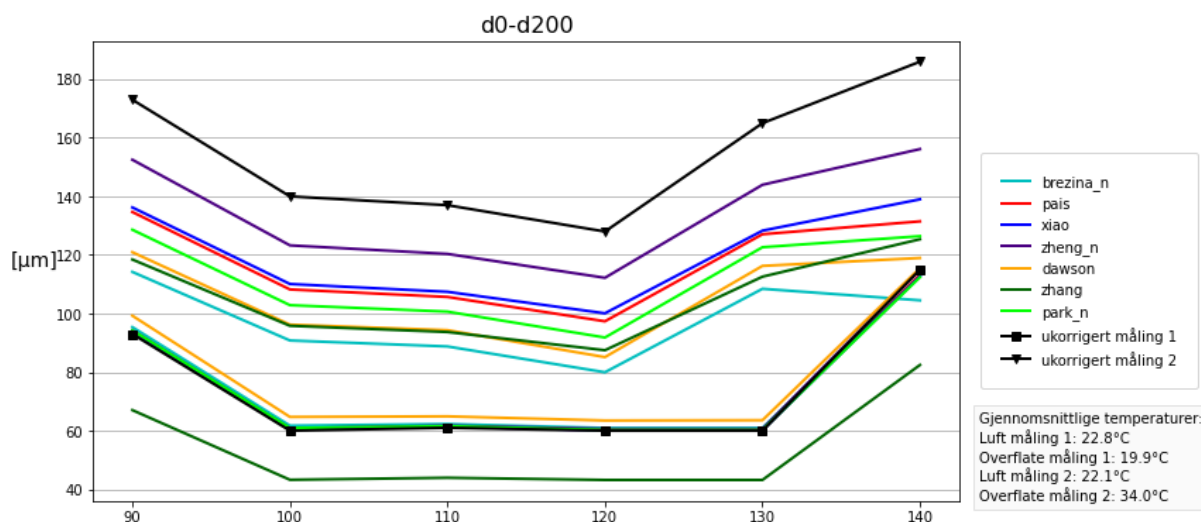
Figur 58 Plott av ukorrigerte og korrigerte verdier av d_0 for alle korreksjonsmodeller på NCAT test track seksjon N2



Figur 59 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av d_{200} for alle korreksjonsmodeller på NCAT test track seksjon N2



Figur 60 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av bæreevne for alle korreksjonsmodeller på NCAT test track seksjon N2



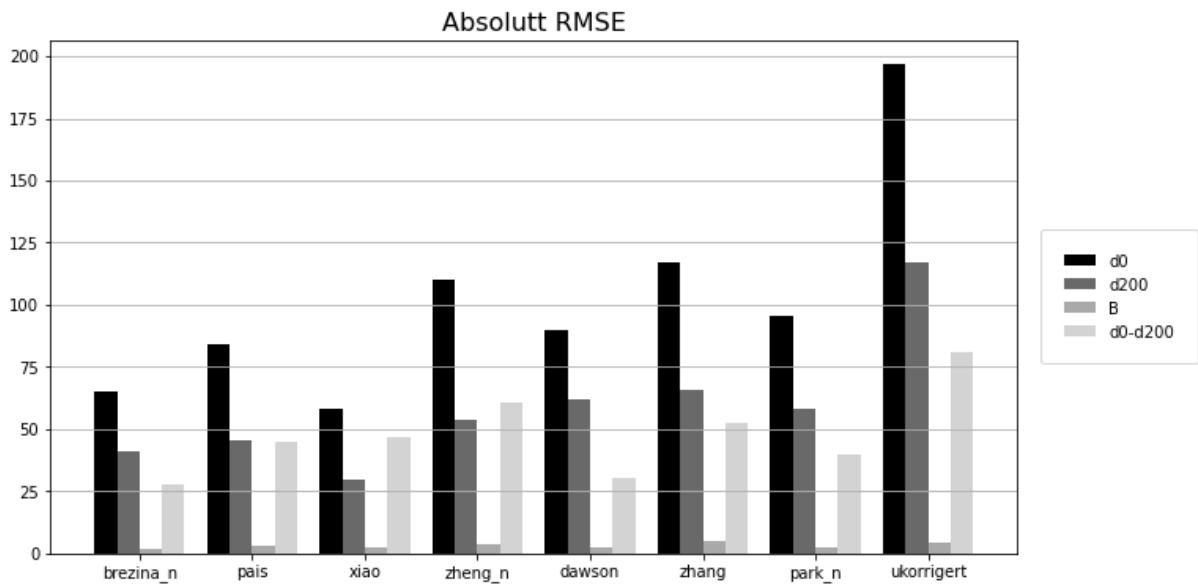
Figur 61 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av d_0 - d_{200} for alle korreksjonsmodeller på NCAT test track seksjon N2

Tabell 13 viser RMSE-verdier for hver av parameterne for alle de forskjellige korreksjonsmodellene, i tillegg til sammenligningsparameteren A som viser det sammenlagte resultatet for delstrekningen. Tabellen viser at det er Brezina_n som gir den beste korreksjonen på denne delstrekningen.

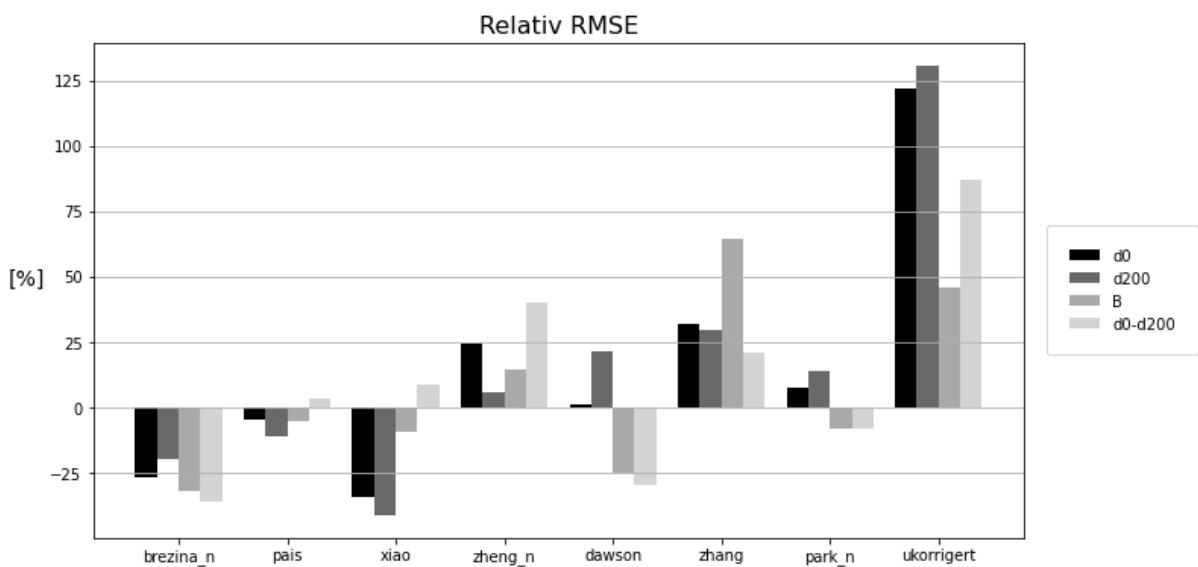
Tabell 13 RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på NCAT test track seksjon N2

| Modell | RMSE | | | | A |
|------------|--------|--------|------|---------|--------|
| | d0 | d200 | B | d0-d200 | |
| brezina_n | 65.06 | 40.92 | 2.04 | 27.66 | -28.43 |
| pais | 84.4 | 45.25 | 2.84 | 44.87 | -4.22 |
| xiao | 58.13 | 29.91 | 2.71 | 47.07 | -19.04 |
| zheng_n | 110.03 | 53.77 | 3.42 | 60.61 | 21.11 |
| dawson | 89.8 | 61.89 | 2.25 | 30.52 | -7.73 |
| zhang | 116.88 | 65.78 | 4.91 | 52.45 | 36.73 |
| park_n | 95.43 | 58.05 | 2.75 | 39.91 | 1.59 |
| ukorrigert | 196.68 | 117.26 | 4.36 | 80.9 | 96.44 |

Verdiene i tabellen er illustrert i Figur 62, som viser et plott av absolutte RMSE-verdier. Figur 63 viser et plott av relative RMSE-verdier.

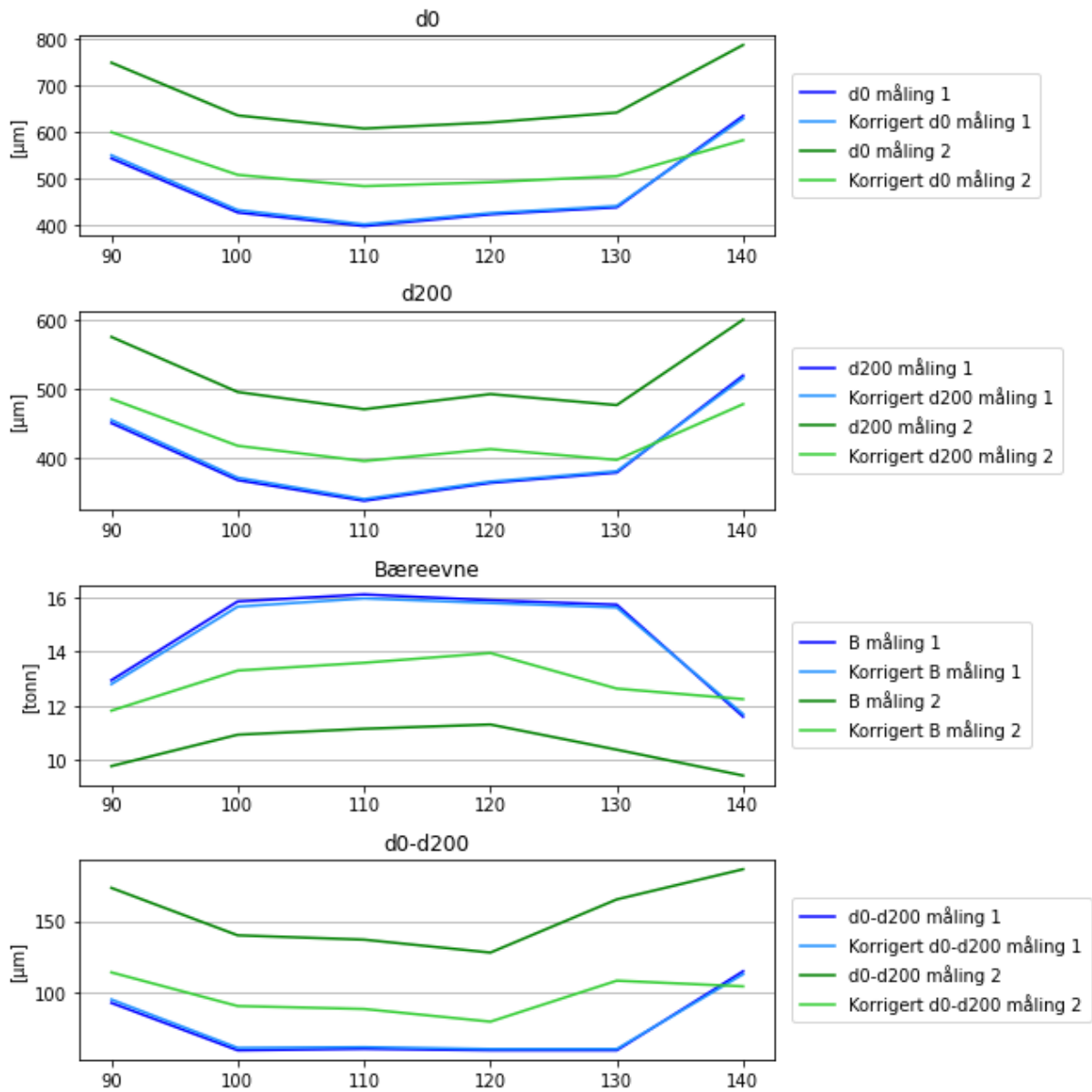


Figur 62 Plott av absolutte RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på NCAT test track seksjon N2



Figur 63 Plott av relative RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på NCAT test track seksjon N2

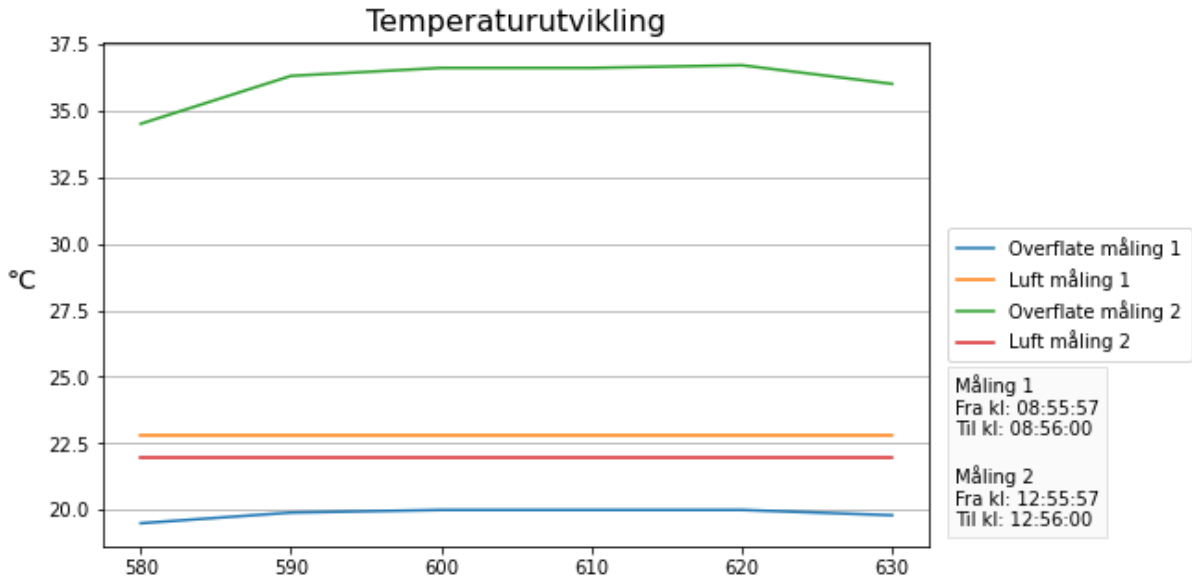
Figur 64 viser et plott av ukorrigerede og korrigerede verdier for d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} , for én korreksjonsmodell. Korreksjonsmodellen er den som gir best resultat på delstrekningen, i dette tilfellet Brezina_n.



Figur 64 Plott av ukorrigerede og korrigerte verdier av d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} på NCAT test track seksjon N2

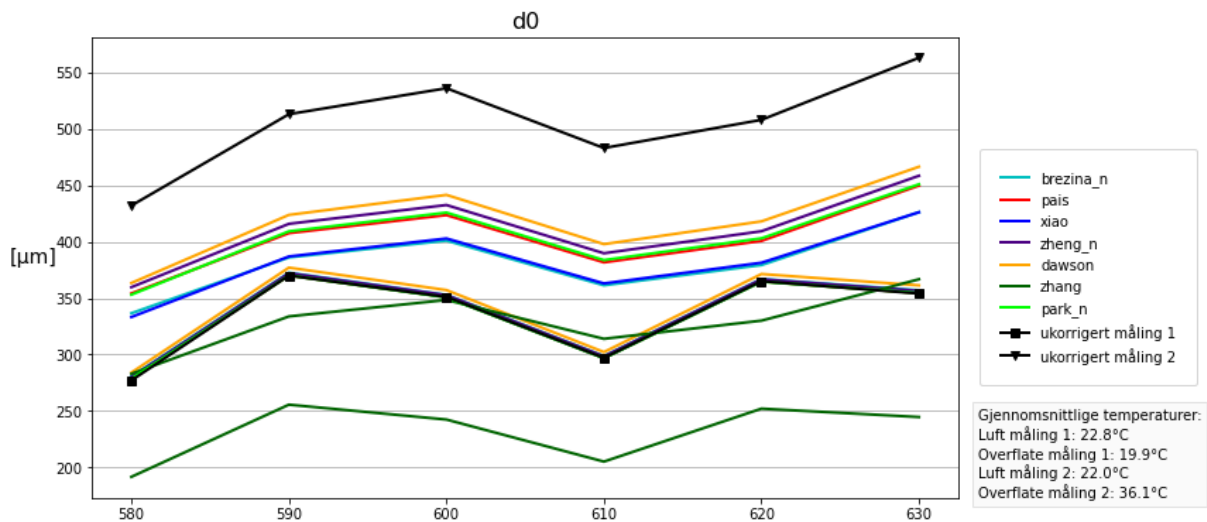
North 10

Figur 65 viser temperaturutviklingen på delstrekningen under målingene.

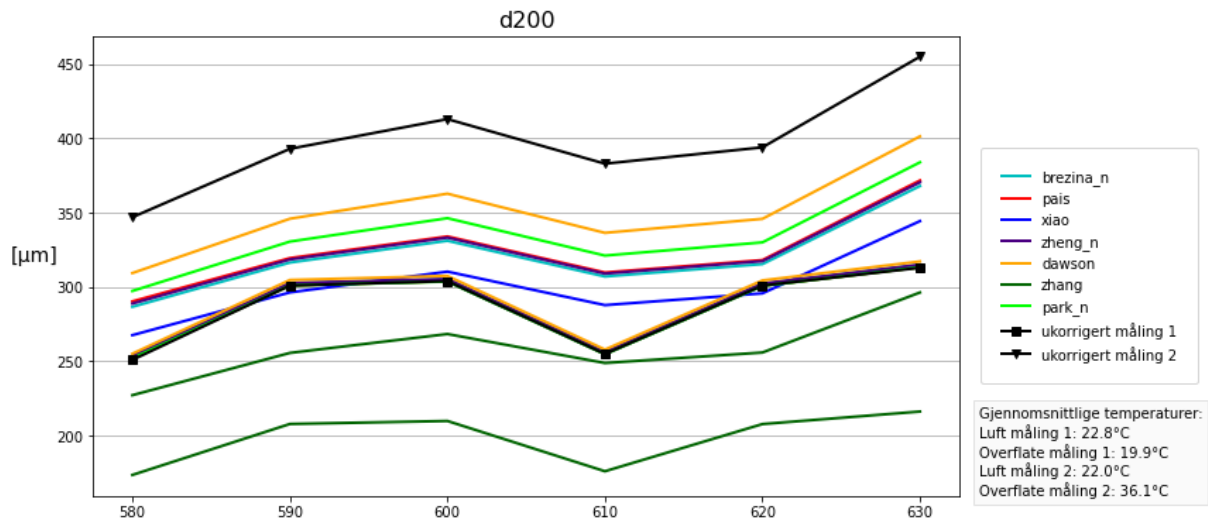


Figur 65 Temperaturutvikling på NCAT test track seksjon N10

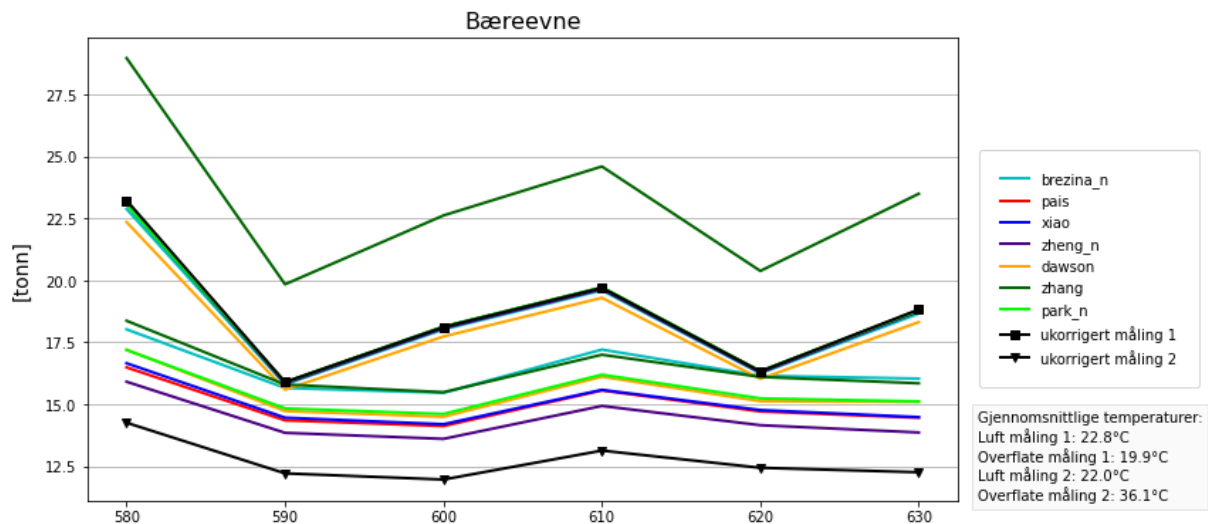
Figur 66, Figur 67, Figur 68 og Figur 69 viser ukorrigerede og korrigerede verdier av henholdsvis d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} for alle korreksjonsmodellene.



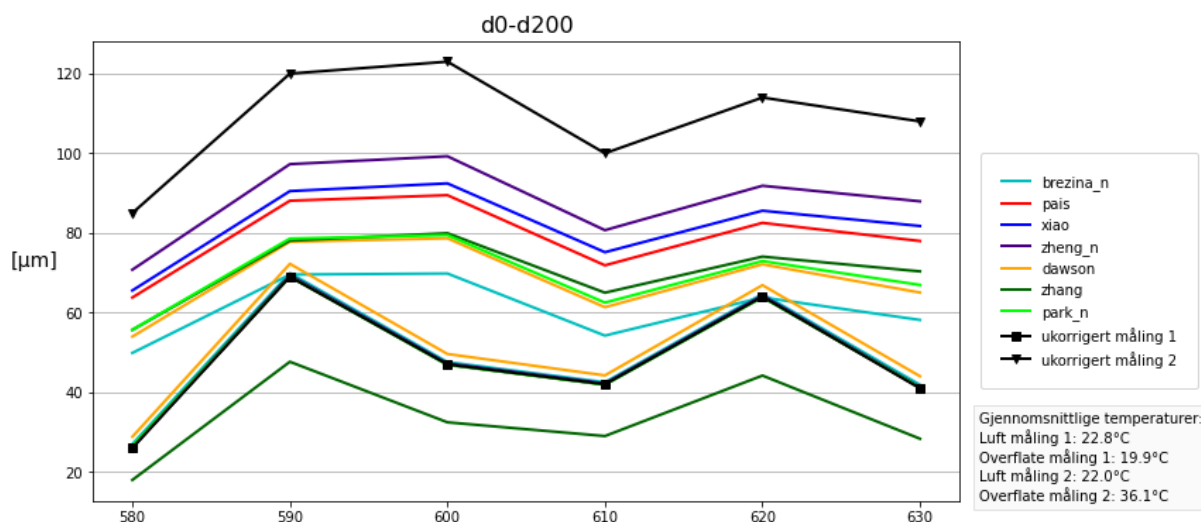
Figur 66 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 for alle korreksjonsmodeller på NCAT test track seksjon N10



Figur 67 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av d_{200} for alle korreksjonsmodeller på NCAT test track seksjon N10



Figur 68 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av bæreevne for alle korreksjonsmodeller på NCAT test track seksjon N10



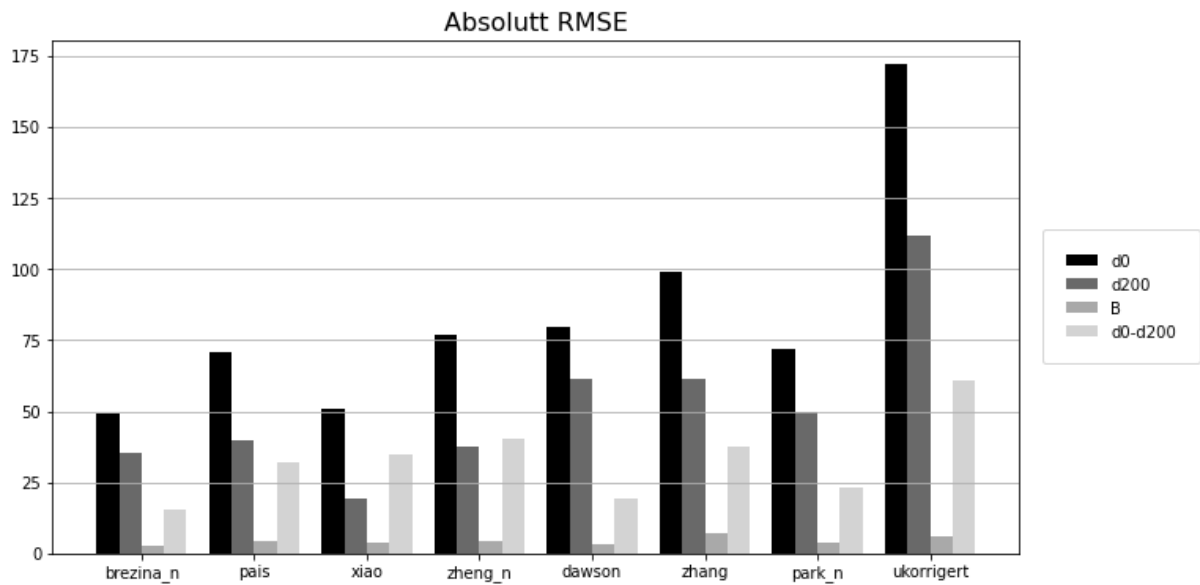
Figur 69 Plott av ukorrigerte og korrigerede verdier av d_0 - d_{200} for alle korreksjonsmodeller på NCAT test track seksjon N10

Tabell 14 viser RMSE-verdier for hver av parameterne for alle de forskjellige korreksjonsmodellene, i tillegg til sammenligningsparameteren A som viser det sammenlagte resultatet for delstrekningen. Tabellen viser at det er Brezina_n som gir den beste korreksjonen på denne delstrekningen.

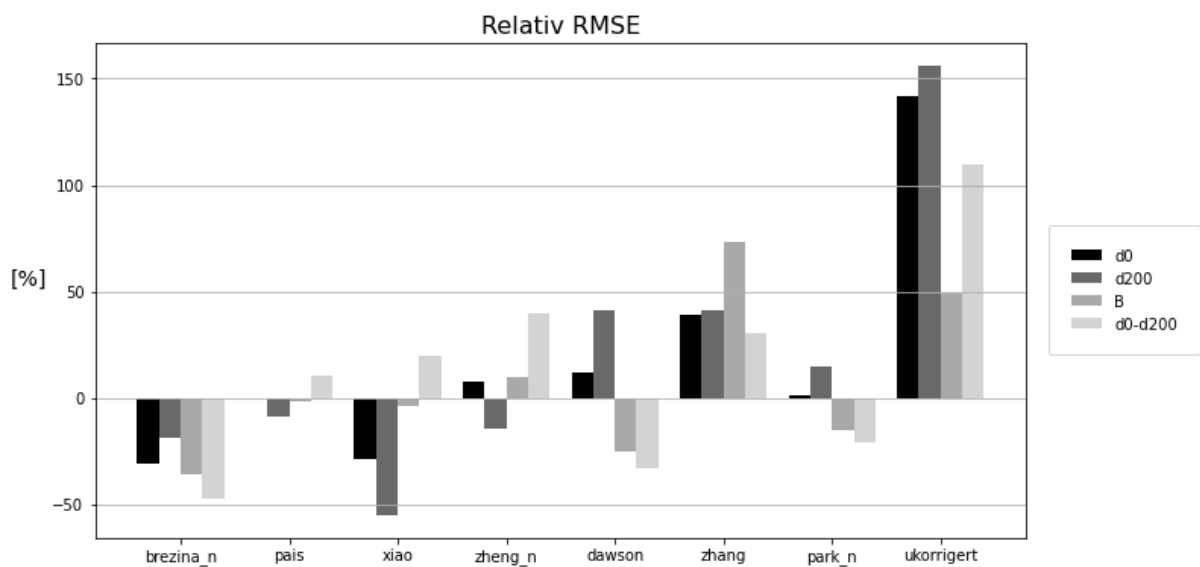
Tabell 14 RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på NCAT test track seksjon N10

| Modell | RMSE | | | | |
|------------|--------|--------|------|---------|--------|
| | d0 | d200 | B | d0-d200 | A |
| brezina_n | 49.21 | 35.48 | 2.67 | 15.39 | -33.11 |
| pais | 70.69 | 39.64 | 4.11 | 32.09 | -0.18 |
| xiao | 50.7 | 19.5 | 4.02 | 34.83 | -16.99 |
| zheng_n | 76.65 | 37.34 | 4.59 | 40.59 | 10.76 |
| dawson | 79.56 | 61.45 | 3.14 | 19.44 | -1.23 |
| zhang | 98.77 | 61.41 | 7.25 | 37.76 | 45.76 |
| park_n | 71.95 | 49.98 | 3.55 | 23.01 | -5.01 |
| ukorrigert | 171.96 | 111.62 | 6.24 | 60.84 | 114.25 |

Verdiene i tabellen er illustrert i Figur 70, som viser et plott av absolutte RMSE-verdier. Figur 71 viser et plott av relative RMSE-verdier.

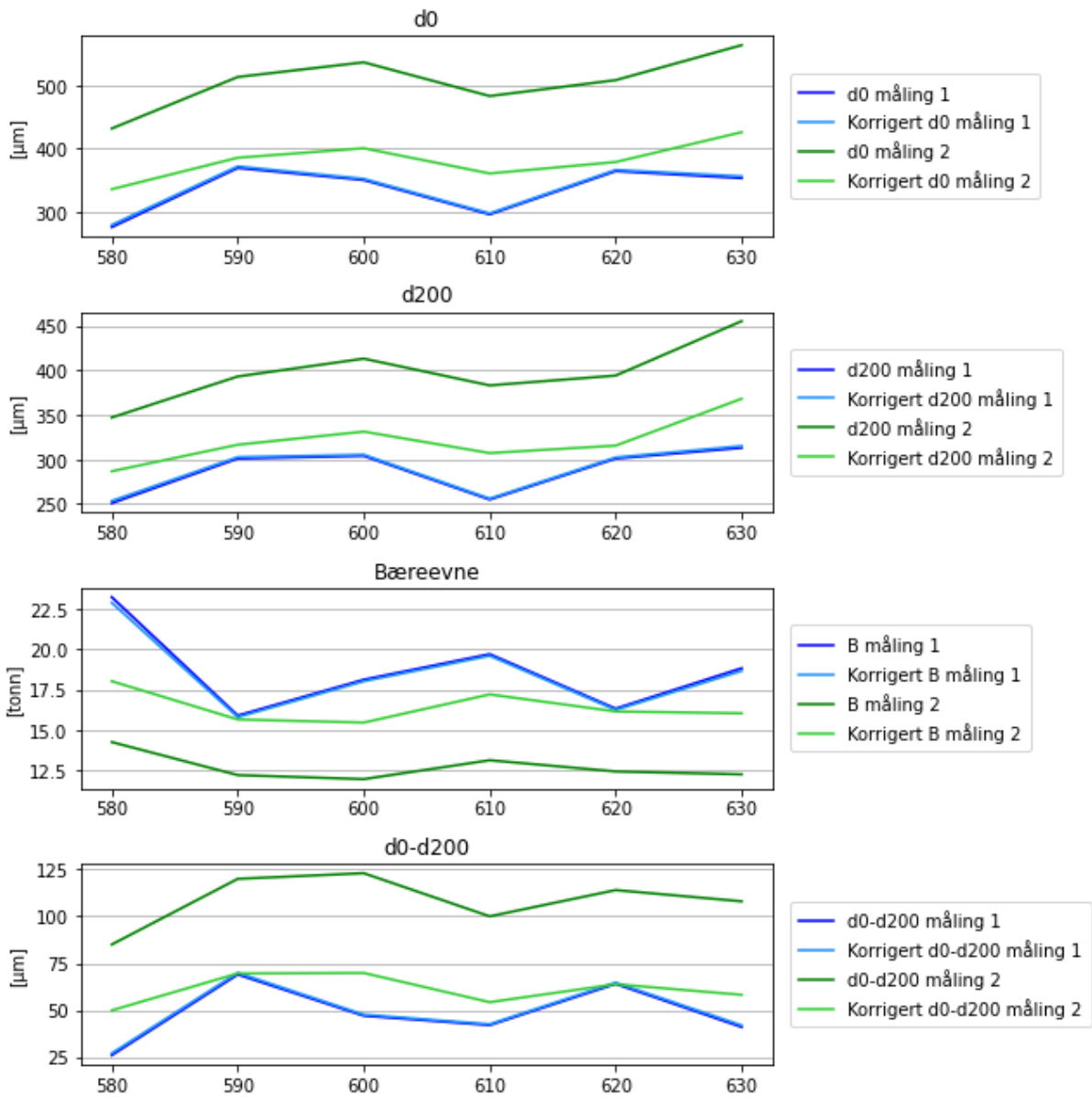


Figur 70 Plott av absolutte RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på NCAT test track seksjon N10



Figur 71 Plott av relative RMSE-verdier for nedbøyningsparametere på NCAT test track seksjon N10

Figur 72 viser et plott av ukorrigerede og korrigerede verdier for d_0 , d_{200} , bæreevne og $d_0 - d_{200}$, for én korreksjonsmodell. Korreksjonsmodellen er den som gir best resultat på delstrekningen, i dette tilfellet Brezina_n.



Figur 72 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av d_0 , d_{200} , bæreevne og d_0-d_{200} på NCAT test track seksjon N10

Vedlegg 3

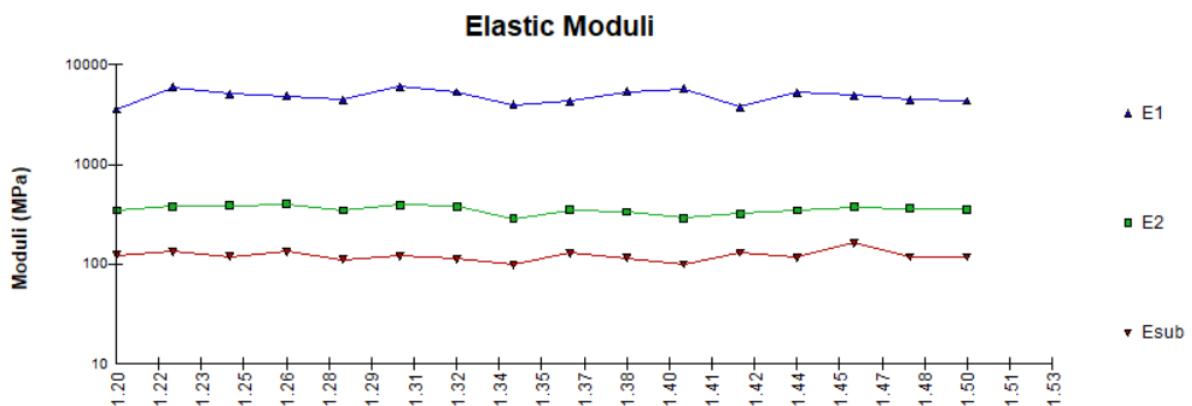
Resultat for korreksjon av E-moduler

Fv 704

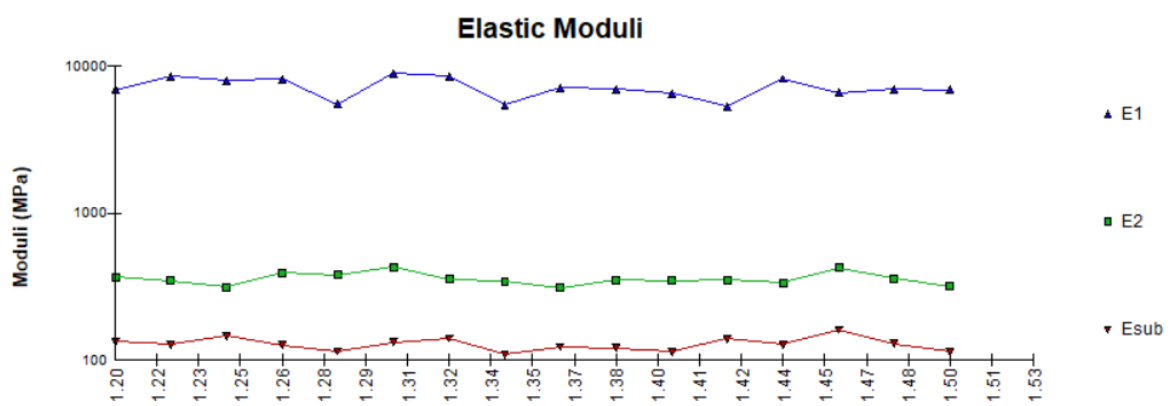
S2D1 m1200-1500 GS-vei

På denne delstrekningen er dekketemperaturen utenfor det definerte gyldighetsområdet til korreksjonsmodellen Zhou ved måling 2 (6,5°C, minimum er 10°C). Modellen er likevel inkludert i de videre beregningene.

Figur 73 og Figur 74 viser et plott av de etterregnedede E-modulene fra Elmod for henholdsvis måling 1 og måling 2. De gjennomsnittlige E-modulene er gitt i Tabell 15.



Figur 73 Etterregnedede E-moduler for måling 1 på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei

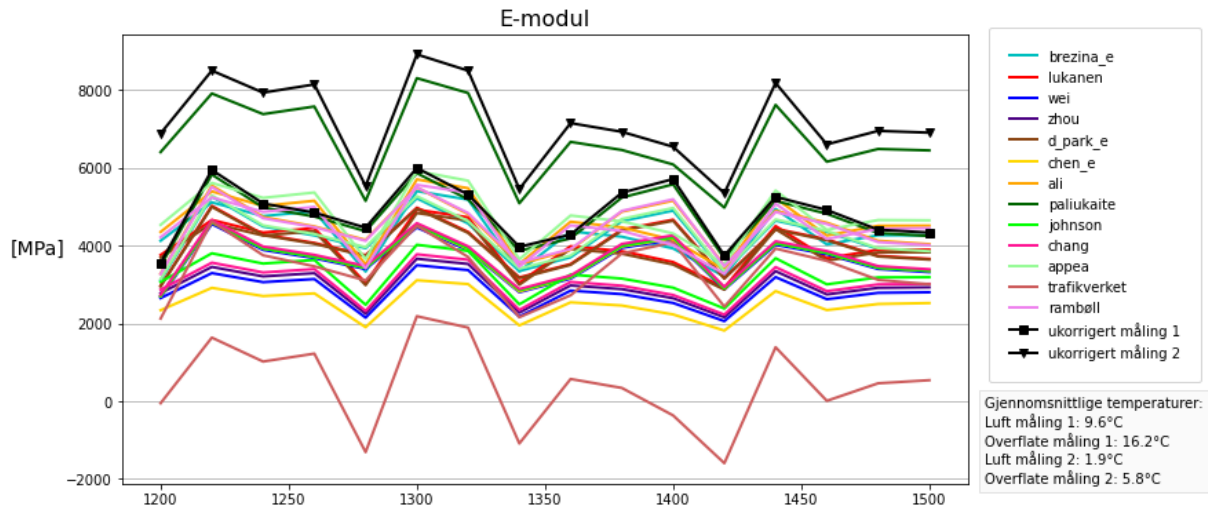


Figur 74 Etterregnedede E-moduler for måling 2 på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei

Tabell 15 Gjennomsnittlige etterregnede E-moduler for Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei

| Måling 1 | | | Måling 2 | | |
|----------|------|-----|----------|------|-----|
| E1 | 4826 | MPa | E1 | 7156 | MPa |
| E2 | 355 | MPa | E2 | 360 | MPa |
| E3 | 122 | MPa | E3 | 130 | MPa |

Figur 75 viser ukorrigerede og korrigerede verdier av E1 for alle korreksjonsmodellene.



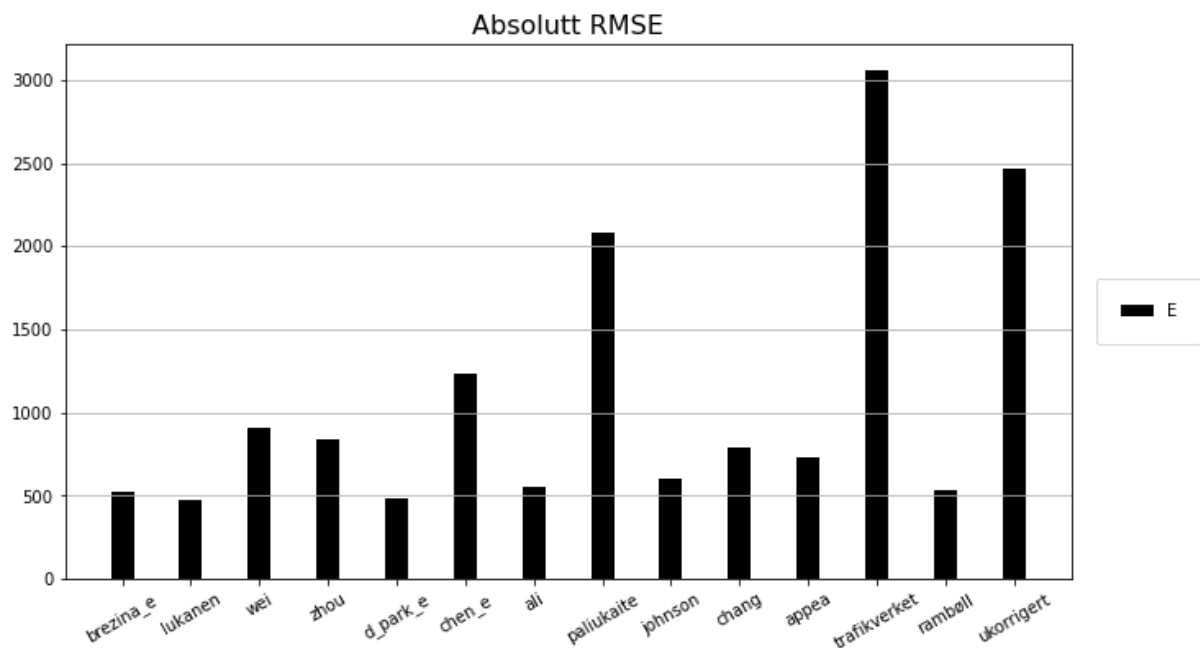
Figur 75 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av E1 for alle korreksjonsmodeller på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei

Tabell 16 viser RMSE-verdier for de korrigerede E-modulene for alle de forskjellige korreksjonsmodellene. Tabellen viser at det er Lukanen som gir den beste korreksjonen på denne delstrekningen.

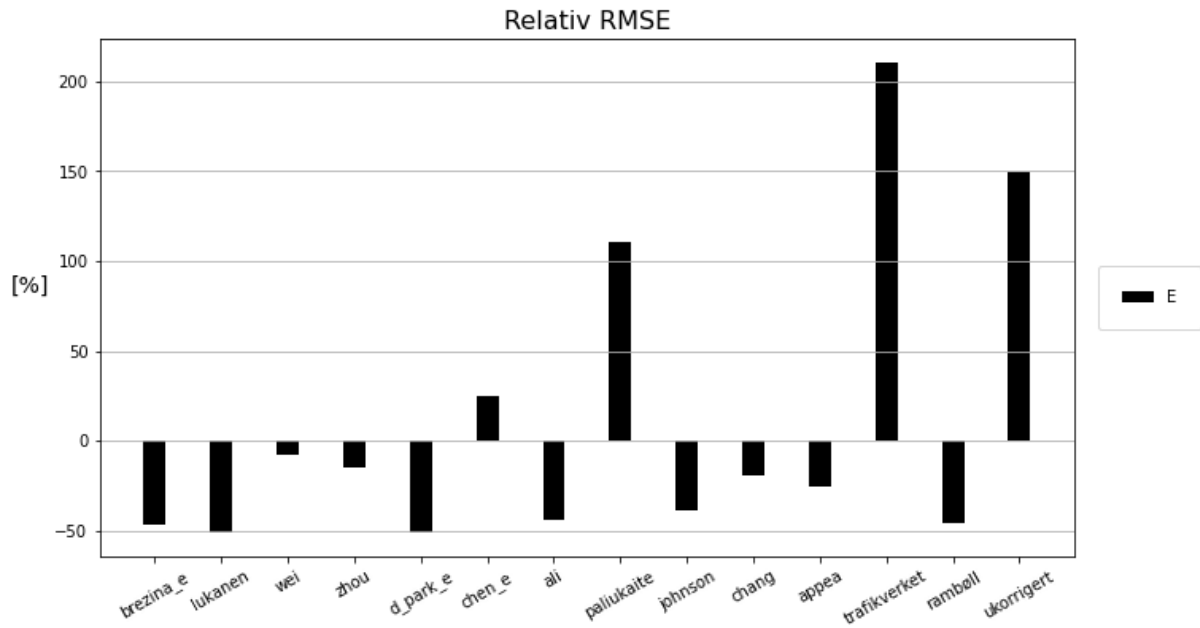
Tabell 16 RMSE-verdier for E-moduler på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei

| Modell | RMSE |
|--------------|------|
| | E |
| brezina_e | 522 |
| lukanen | 479 |
| wei | 909 |
| zhou | 840 |
| d_park_e | 483 |
| chen_e | 1229 |
| ali | 552 |
| paliukaite | 2080 |
| johnson | 600 |
| chang | 793 |
| appea | 733 |
| trafikverket | 3062 |
| rambøll | 537 |
| ukorrigert | 2463 |

Verdiene i tabellen er illustrert i Figur 76, som viser et plott av absolutte RMSE-verdier. Figur 77 viser et plott av relative RMSE-verdier.

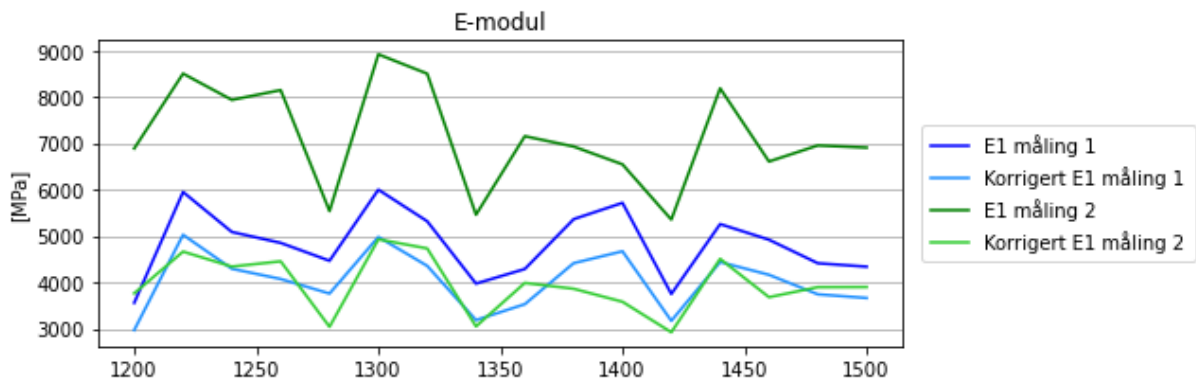


Figur 76 Plott av absolutte RMSE-verdier for E1 på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei



Figur 77 Plott av relative RMSE-verdier for E1 på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei

Figur 78 viser et plott av ukorrigerte og korrigerte E-moduler for én korreksjonsmodell. Korreksjonsmodellen er den som gir best resultat på delstrekningen, i dette tilfellet Lukanen.



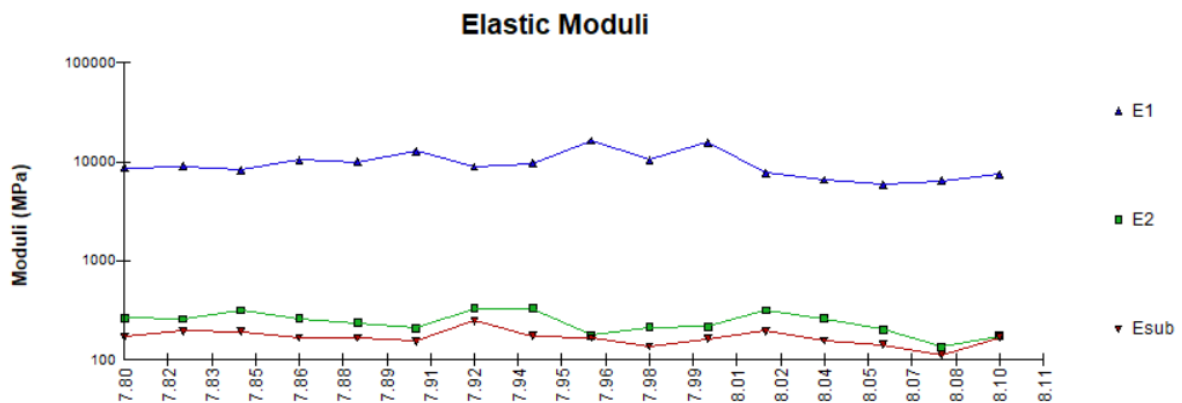
Figur 78 Plott av ukorrigerte og korrigerte E-moduler på Fv 704 S2D1 m1200-1500 GS-vei

Fv 6612

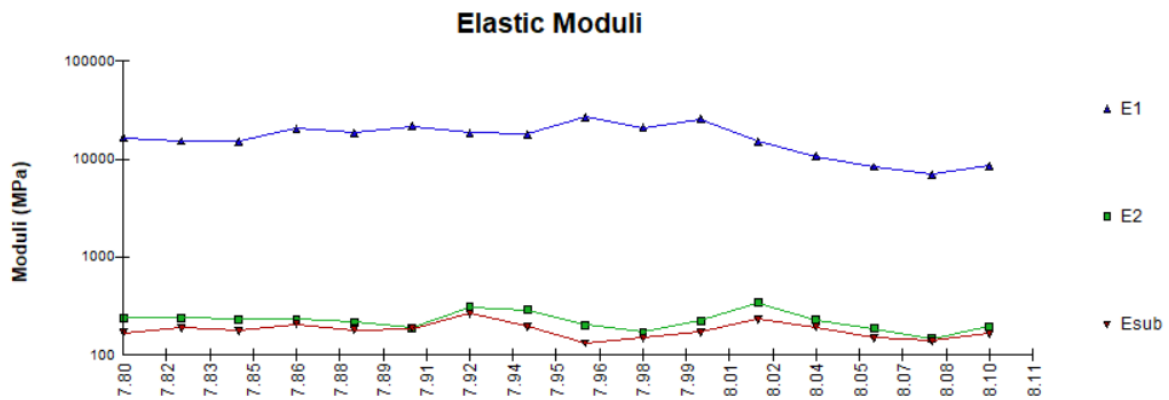
S1D1 Felt 1 m7800-8100

På denne delstrekningen er dekketemperaturen utenfor det definerte gyldighetsområdet til korreksjonsmodellen Zhou ved måling 2 (6,4°C, minimum er 10°C). Modellen er likevel inkludert i de videre beregningene.

Figur 79 og Figur 80 viser et plott av de etterregnede E-modulene fra Elmod for henholdsvis måling 1 og måling 2. De gjennomsnittlige E-modulene er gitt i Tabell 17.



Figur 79 Etterregnede E-moduler for måling 1 på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100

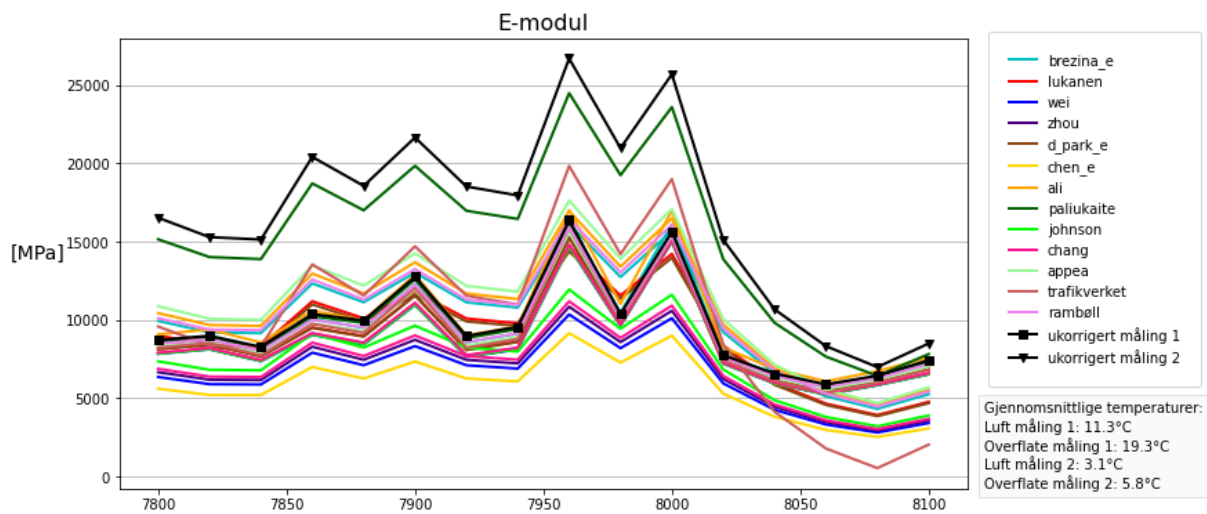


Figur 80 Etterregnede E-moduler for måling 2 på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100

Tabell 17 Gjennomsnittlige etterregnede E-moduler for Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100

| Måling 1 | | | Måling 2 | | |
|----------|------|-----|----------|-------|-----|
| E1 | 9633 | MPa | E1 | 16694 | MPa |
| E2 | 246 | MPa | E2 | 230 | MPa |
| E3 | 171 | MPa | E3 | 183 | MPa |

Figur 81 viser ukorrigererte og korrigererte verdier av E1 for alle korreksjonsmodellene.



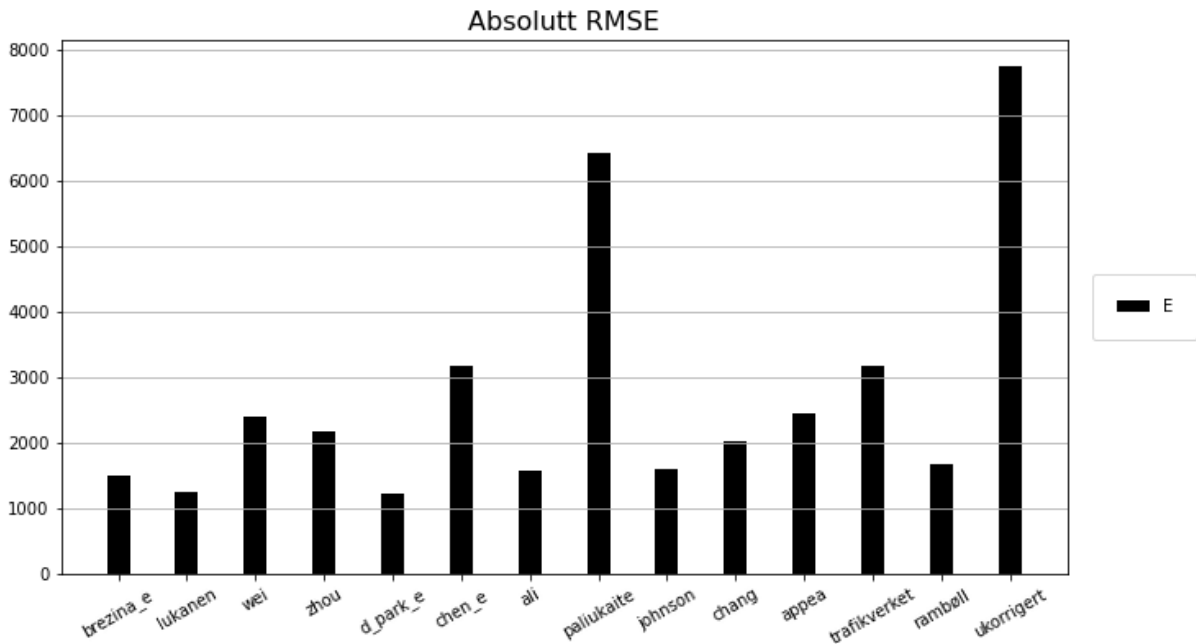
Figur 81 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av E1 for alle korreksjonsmodeller på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100

Tabell 18 viser RMSE-verdier for de korrigererte E-modulene for alle de forskjellige korreksjonsmodellene. Tabellen viser at det er D_park_e som gir den beste korreksjonen på denne delstrekningen.

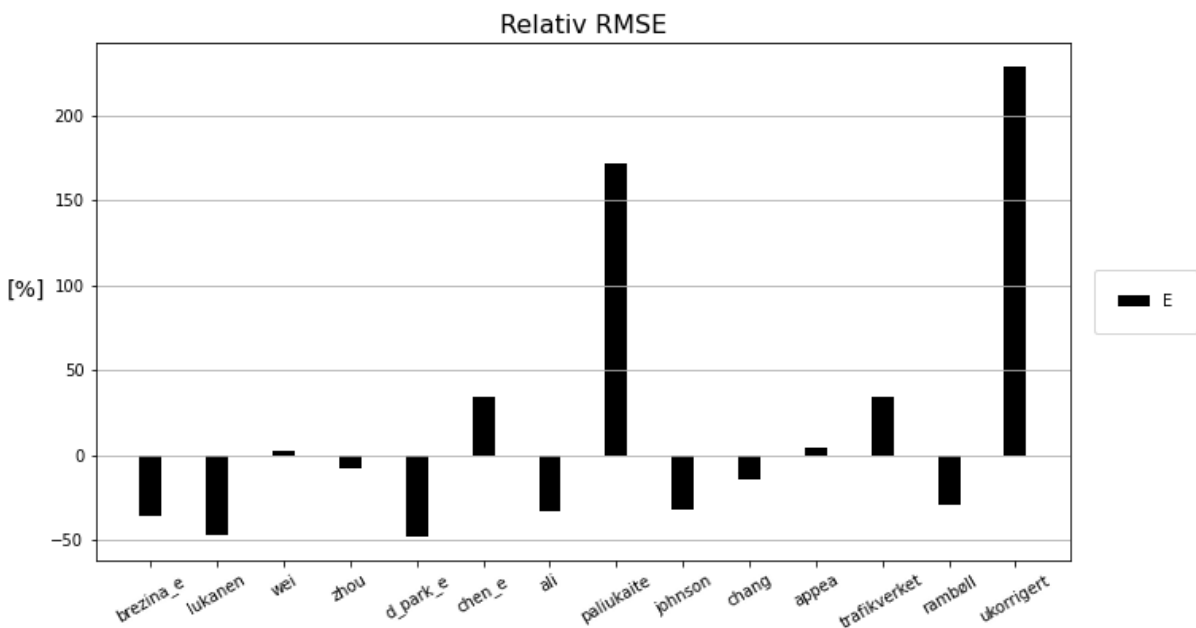
Tabell 18 RMSE-verdier for E-moduler på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100

| Modell | RMSE |
|--------------|------|
| | E |
| brezina_e | 1510 |
| lukanen | 1256 |
| wei | 2414 |
| zhou | 2175 |
| d_park_e | 1219 |
| chen_e | 3172 |
| ali | 1581 |
| paliukaite | 6415 |
| johnson | 1602 |
| chang | 2016 |
| appea | 2461 |
| trafikverket | 3173 |
| rambøll | 1678 |
| ukorrigert | 7755 |

Verdiene i tabellen er illustrert i Figur 82, som viser et plott av absolutte RMSE-verdier. Figur 83 viser et plott av relative RMSE-verdier.

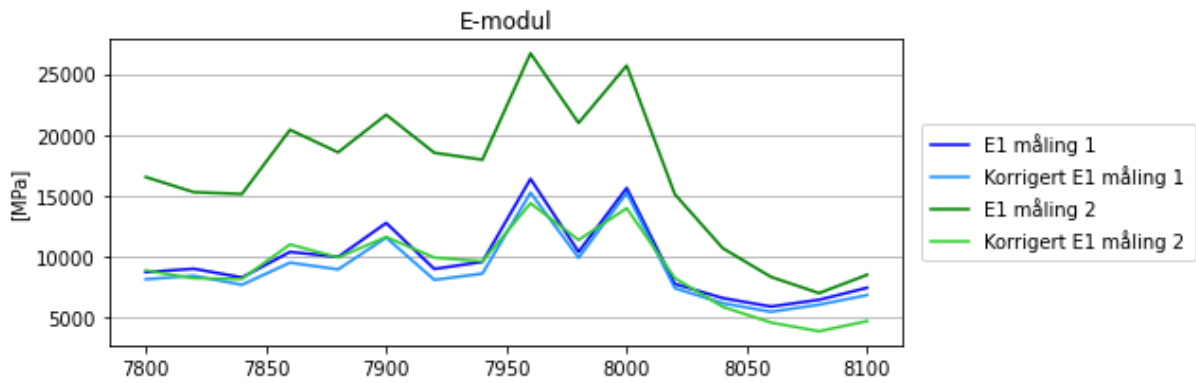


Figur 82 Plott av absolutte RMSE-verdier for E1 på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100



Figur 83 Plott av relative RMSE-verdier for E1 på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100

Figur 84 viser et plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler for én korreksjonsmodell. Korreksjonsmodellen er den som gir best resultat på delstrekningen, i dette tilfellet D_park_e.

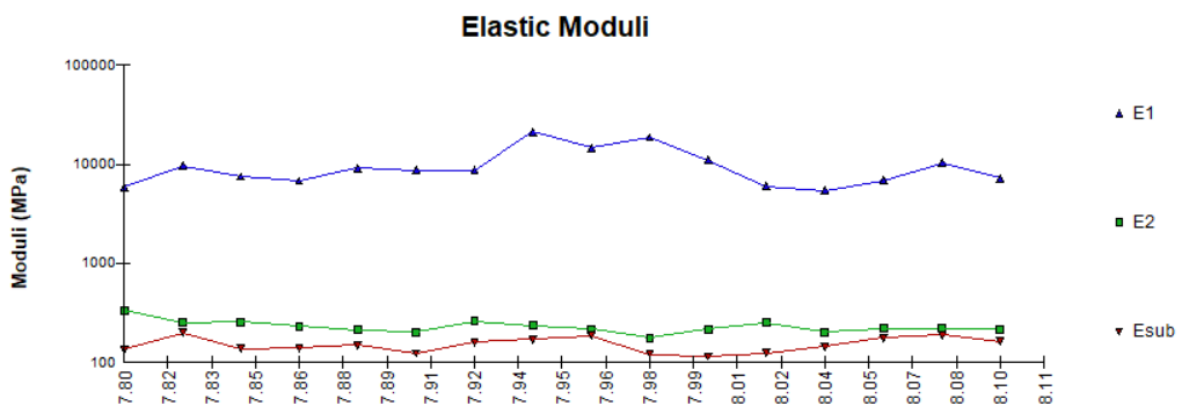


Figur 84 Plott av ukorrigererte og korrigerte E-moduler på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100

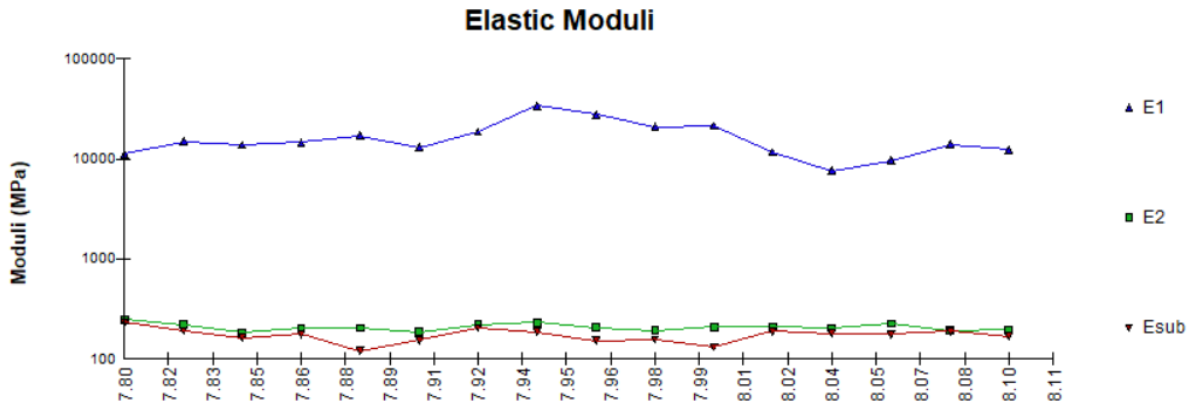
S1D1 Felt 2 m7800-8100

På denne delstrekningen er dekketemperaturen utenfor det definerte gyldighetsområdet til korreksjonsmodellen Zhou ved måling 2 (6,8°C, minimum er 10°C). Modellen er likevel inkludert i de videre beregningene.

Figur 85 og Figur 86 viser et plott av de etterregnede E-modulene fra Elmod for henholdsvis måling 1 og måling 2. De gjennomsnittlige E-modulene er gitt i Tabell 19.



Figur 85 Etterregnede E-moduler for måling 1 på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100

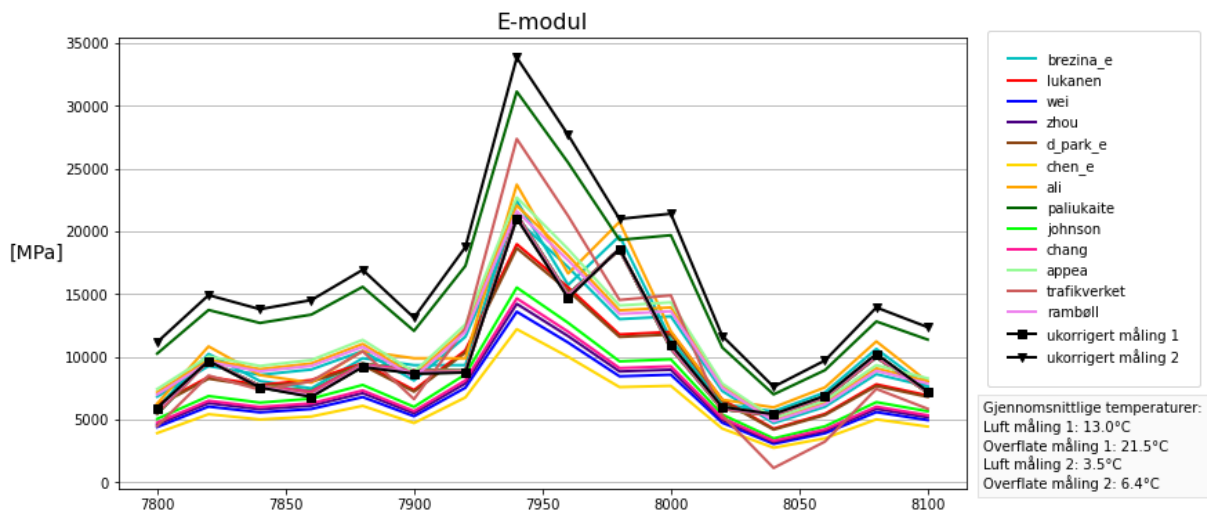


Figur 86 Etterregnede E-moduler for måling 2 på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100

Tabell 19 Gjennomsnittlige etterregnede E-moduler for Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100

| Måling 1 | | | Måling 2 | | |
|----------|------|-----|----------|-------|-----|
| E1 | 9846 | MPa | E1 | 16392 | MPa |
| E2 | 234 | MPa | E2 | 210 | MPa |
| E3 | 154 | MPa | E3 | 174 | MPa |

Figur 87 viser ukorrigererte og korrigererte verdier av E1 for alle korreksjonsmodellene.



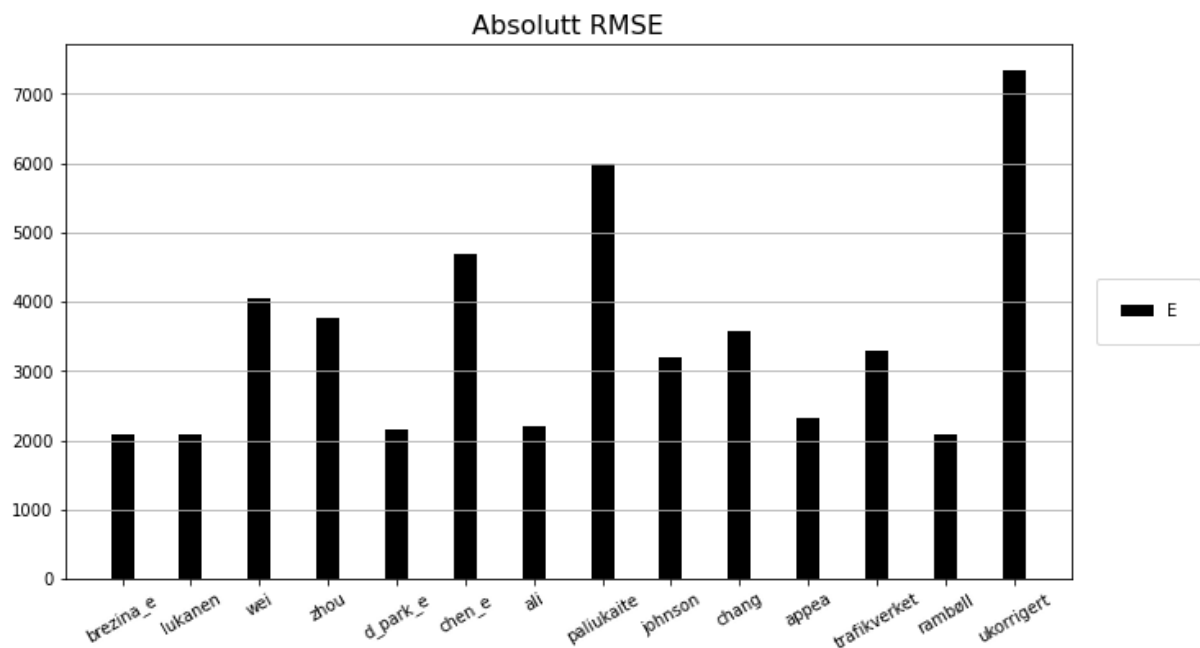
Figur 87 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av E1 for alle korreksjonsmodeller på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100

Tabell 20 viser RMSE-verdier for de korrigererte E-modulene for alle de forskjellige korreksjonsmodellene. Tabellen viser at det er Rambølls metode som gir den beste korreksjonen på denne delstrekningen.

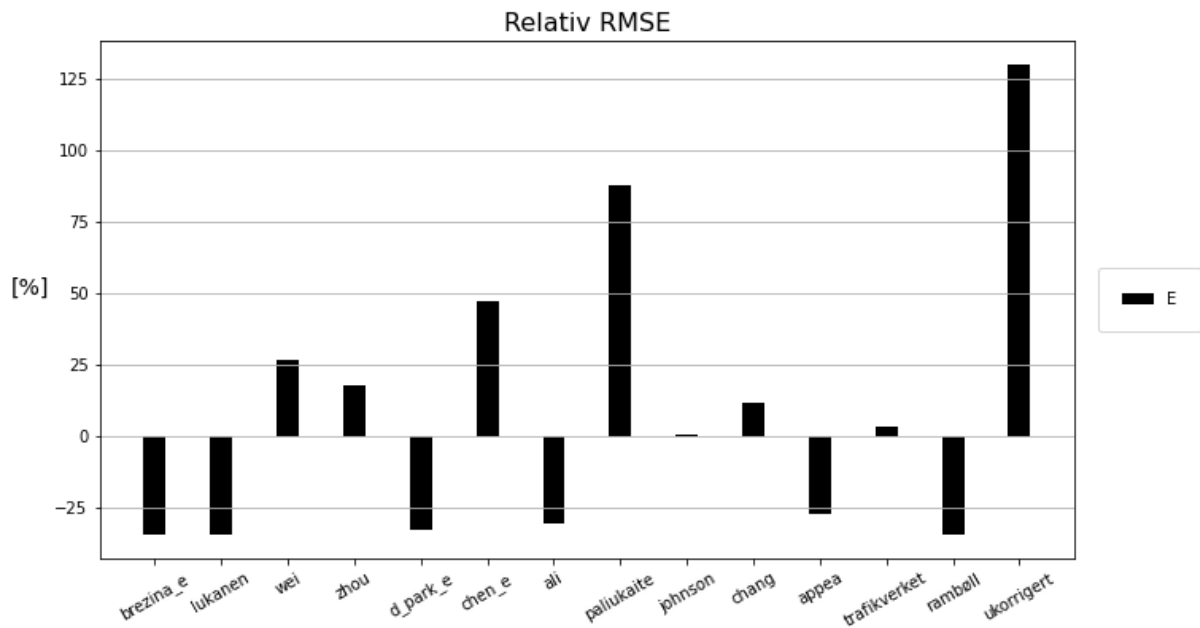
Tabell 20 RMSE-verdier for E-moduler på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100

| Modell | RMSE |
|--------------|------|
| | E |
| brezina_e | 2092 |
| lukanen | 2087 |
| wei | 4050 |
| zhou | 3765 |
| d_park_e | 2151 |
| chen_e | 4697 |
| ali | 2216 |
| paliukaite | 5999 |
| johnson | 3206 |
| chang | 3573 |
| appea | 2323 |
| trafikverket | 3301 |
| rambøll | 2087 |
| ukorrigert | 7353 |

Verdiene i tabellen er illustrert i Figur 88, som viser et plott av absolutte RMSE-verdier. Figur 89 viser et plott av relative RMSE-verdier.

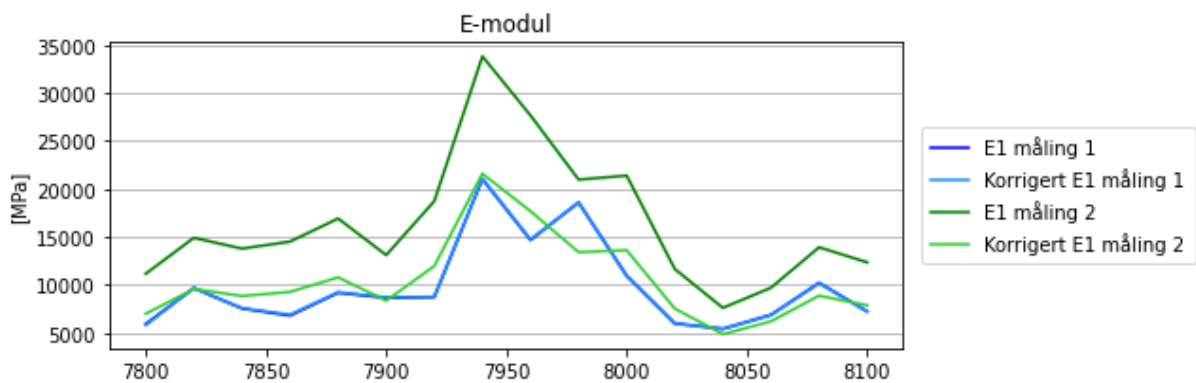


Figur 88 Plott av absolutte RMSE-verdier for E1 på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100



Figur 89 Plott av relative RMSE-verdier for E1 på Fv 6612 S1D1 Felt 2 m7800-8100

Figur 90 viser et plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler for én korreksjonsmodell. Korreksjonsmodellen er den som gir best resultat på delstrekningen, i dette tilfellet Rambølls metode.

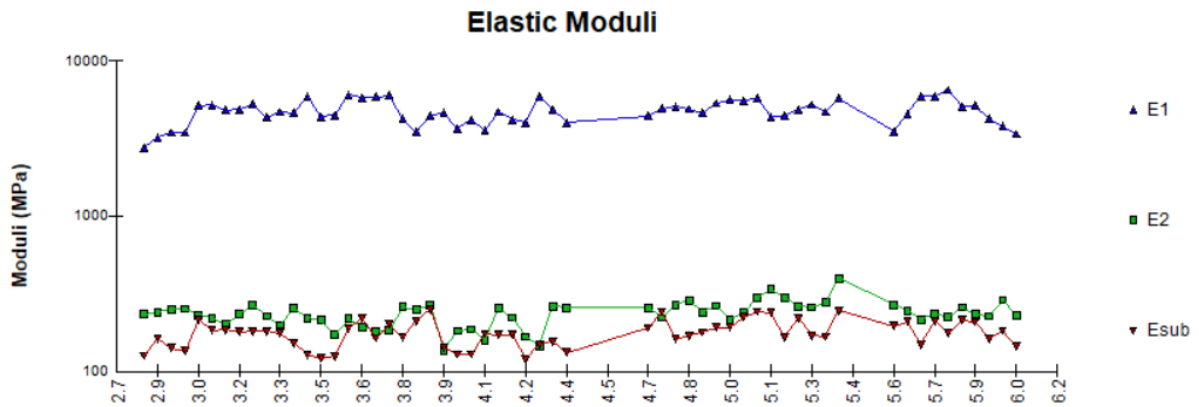


Figur 90 Plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler på Fv 6612 S1D1 Felt 1 m7800-8100

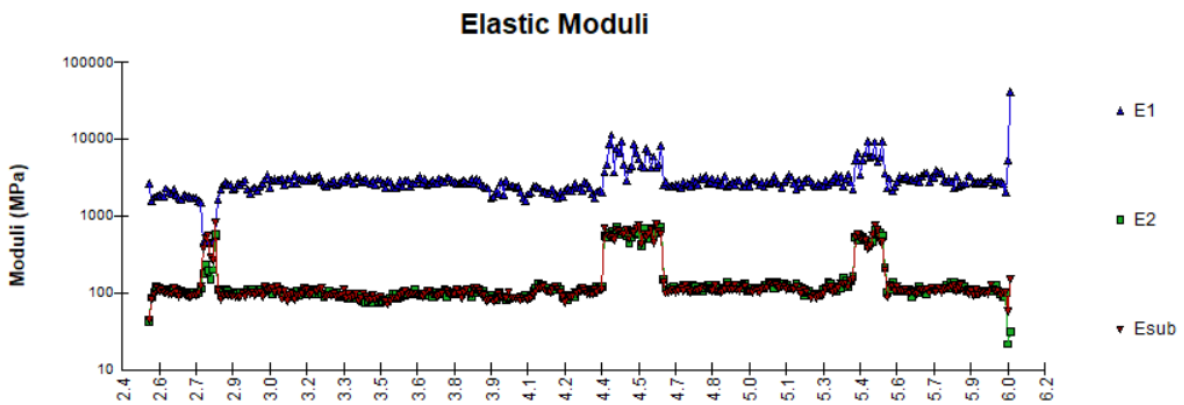
Rv 36

S3D1 m2800-6000

Figur 91 og Figur 92 viser et plott av de etterregned E-modulene fra Elmod for henholdsvis fallodd og Raptor. De gjennomsnittlige E-modulene er gitt i Tabell 21.



Figur 91 Etterregnede E-moduler for fallodd på Rv 36 S3D1 m2800-6000

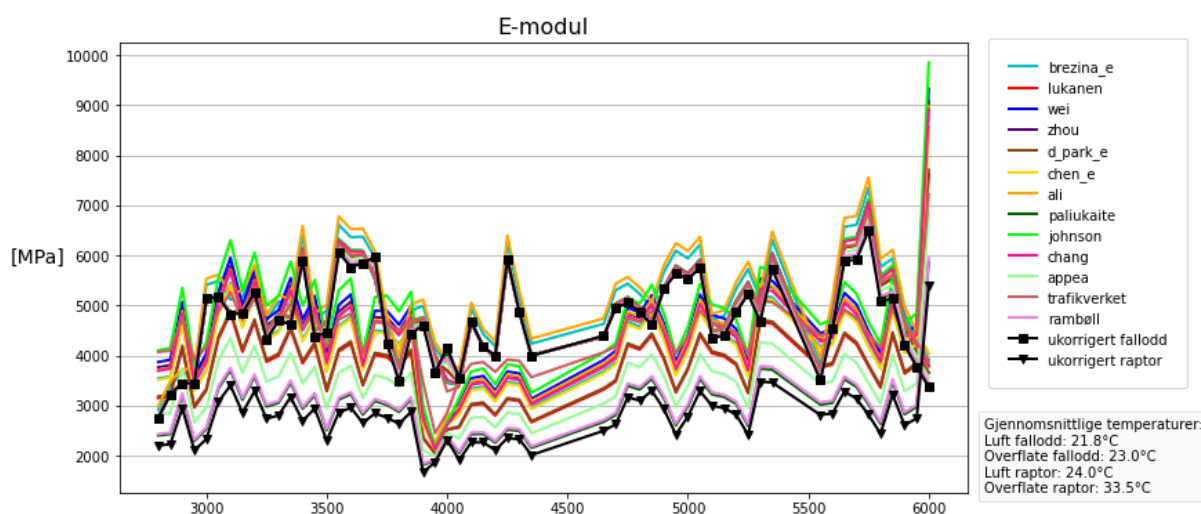


Figur 92 Etterregnede E-moduler for Raptor på Rv 36 S3D1 m2800-6000

Tabell 21 Gjennomsnittlige etterregnede E-moduler for Rv 36 S3D1 m2800-6000

| Fallodd | | | Raptor | | |
|---------|------|-----|--------|------|-----|
| E1 | 4721 | MPa | E1 | 2759 | MPa |
| E2 | 236 | MPa | E2 | 102 | MPa |
| E3 | 177 | MPa | E3 | 100 | MPa |

Figur 93 viser ukorrigererte og korrigererte verdier av E1 for alle korreksjonsmodellene.



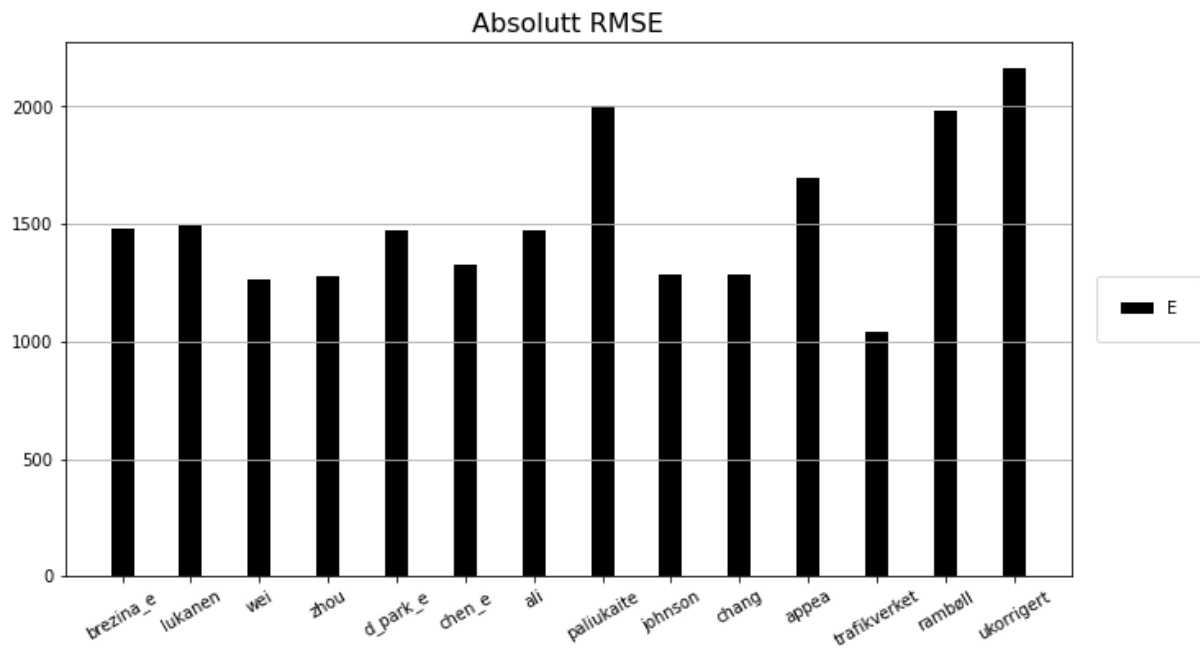
Figur 93 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av E1 for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S3D1 m2800-6000

Tabell 22 viser RMSE-verdier for de korrigererte E-modulene for alle de forskjellige korreksjonsmodellene. Tabellen viser at det er Trafikverkets metode som gir den beste korreksjonen på denne delstrekningen.

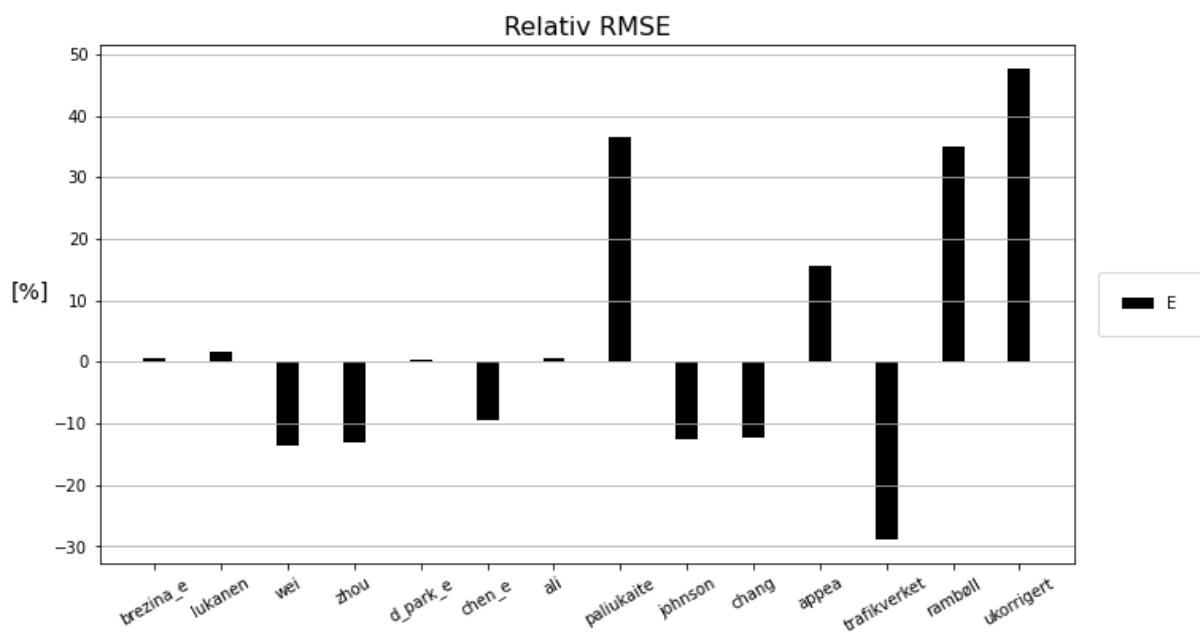
Tabell 22 RMSE-verdier for E-moduler på Rv 36 S3D1 m2800-6000

| Modell | RMSE |
|--------------|------|
| | E |
| brezina_e | 1477 |
| lukanen | 1492 |
| wei | 1265 |
| zhou | 1275 |
| d_park_e | 1474 |
| chen_e | 1326 |
| ali | 1475 |
| paliukaite | 2004 |
| johnson | 1282 |
| chang | 1286 |
| appea | 1694 |
| trafikverket | 1042 |
| rambøll | 1979 |
| ukorrigert | 2167 |

Verdiene i tabellen er illustrert i Figur 94, som viser et plott av absolutte RMSE-verdier. Figur 95 viser et plott av relative RMSE-verdier.

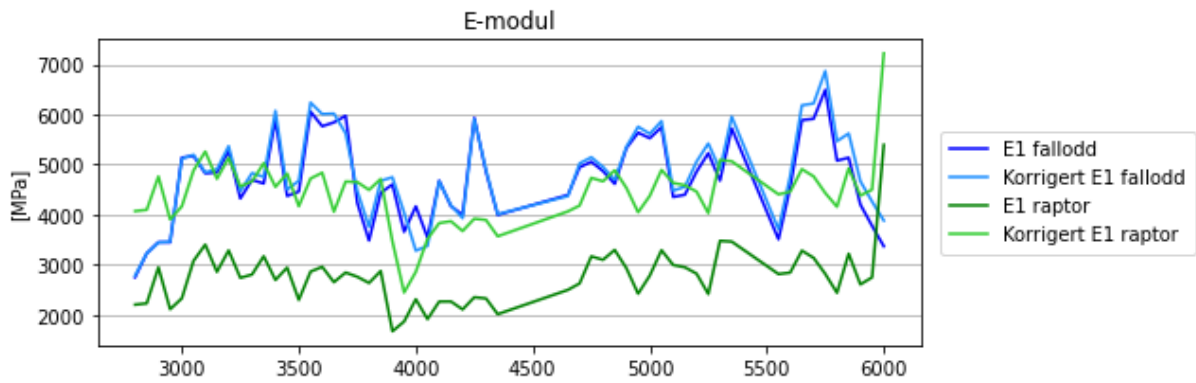


Figur 94 Plott av absolutte RMSE-verdier for E1 på Rv 36 S3D1 m2800-6000



Figur 95 Plott av relative RMSE-verdier for E1 på Rv 36 S3D1 m2800-6000

Figur 96 viser et plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler for én korreksjonsmodell. Korreksjonsmodellen er den som gir best resultat på delstrekningen, i dette tilfellet Trafikverkets metode.

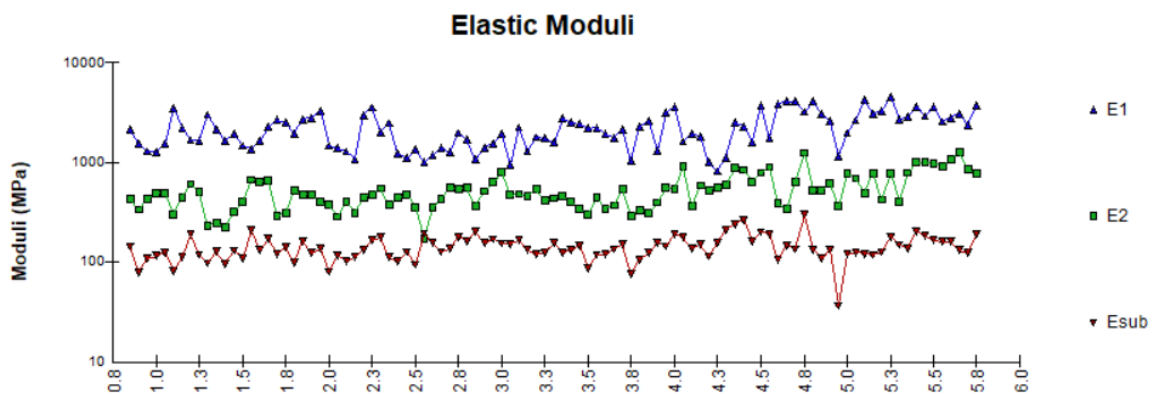


Figur 96 Plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler på Rv 36 S3D1 m2800-6000

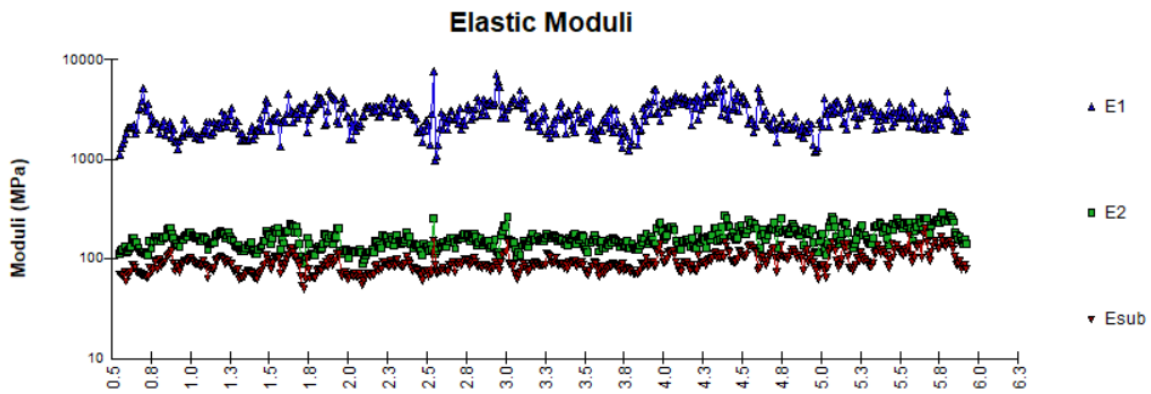
S11D1 m850-5750

På denne delstrekningen er dekketemperaturen utenfor det definerte gyldighetsområdet til korreksjonsmodellen Paliukaite for både falloddet og Raptor (30,9°C og 35,9°C, maksimum er 30°C). Modellen er likevel inkludert i de videre beregningene.

Figur 97 og Figur 98 viser et plott av de etterregnede E-modulene fra Elmod for henholdsvis fallodd og Raptor. De gjennomsnittlige E-modulene er gitt i Tabell 23.



Figur 97 Etterregnede E-moduler for fallodd på Rv 36 S11D1 m850-5750

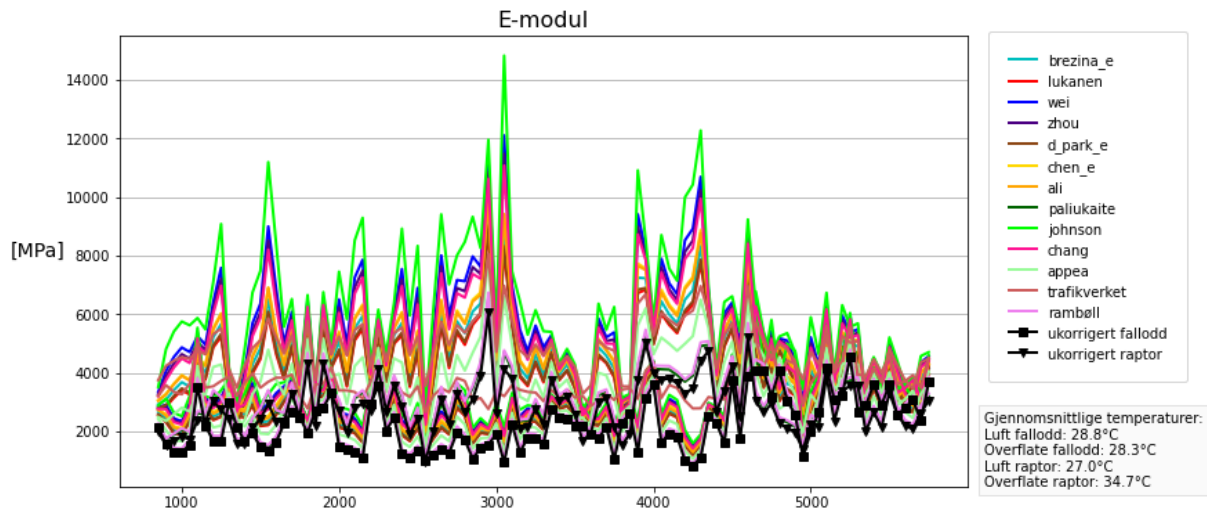


Figur 98 Etterregnede E-moduler for Raptor på Rv 36 S11D1 m850-5750

Tabell 23 Gjennomsnittlige etterregnede E-moduler for Rv 36 S11D1 m850-5750

| Fallodd | | | Raptor | | |
|---------|------|-----|--------|------|-----|
| E1 | 2216 | MPa | E1 | 2823 | MPa |
| E2 | 533 | MPa | E2 | 163 | MPa |
| E3 | 141 | MPa | E3 | 93 | MPa |

Figur 99 viser ukorrigererte og korrigererte verdier av E1 for alle korreksjonsmodellene.



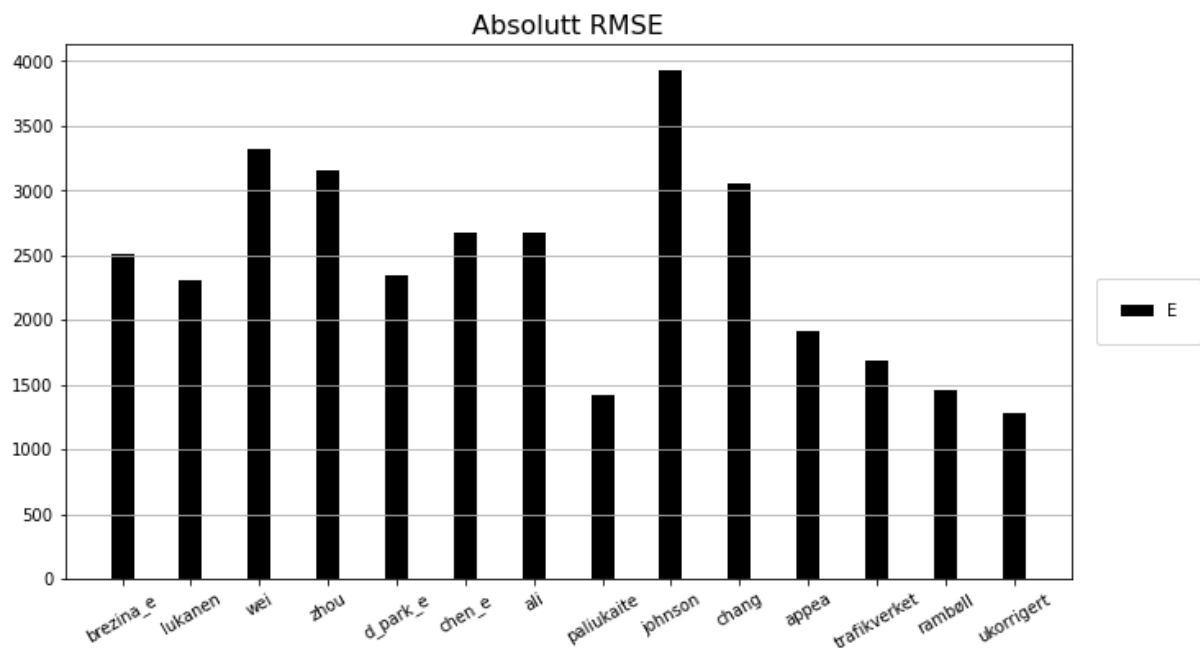
Figur 99 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av E1 for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S11D1 m850-5750

Tabell 24 viser RMSE-verdier for de korrigererte E-modulene for alle de forskjellige korreksjonsmodellene. Tabellen viser at det er Paliukaite som gir den beste korreksjonen på denne delstrekningen, til tross for at temperaturen er utenfor det definerte gyldighetsområdet.

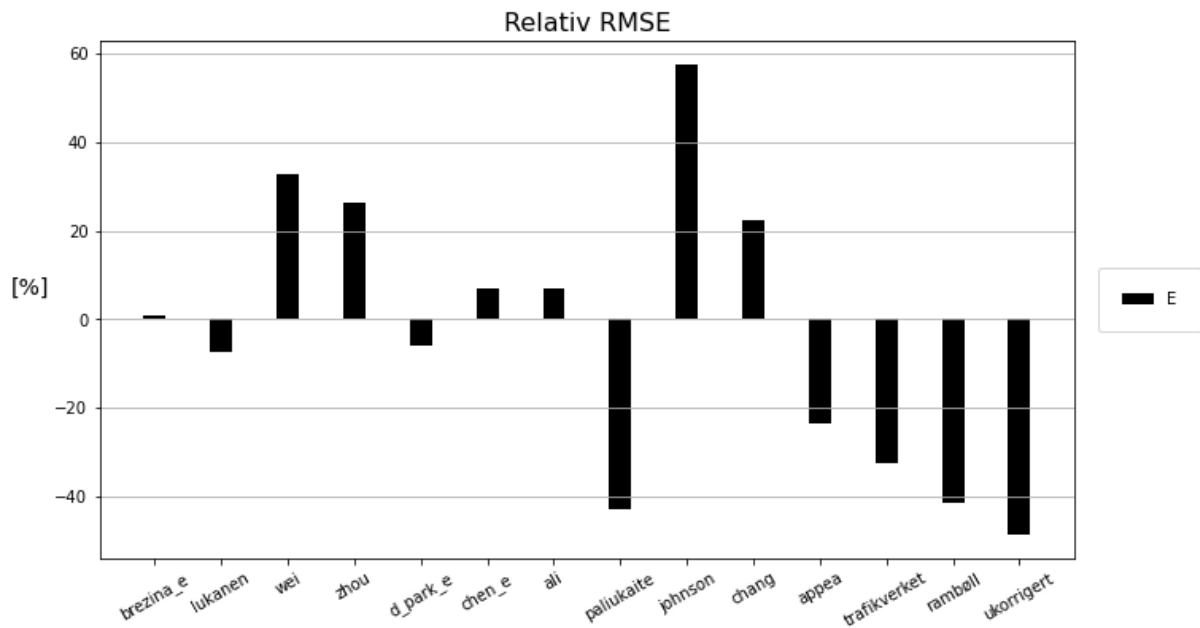
Tabell 24 RMSE-verdier for E-moduler på Rv 36 S11D1 m850-5750

| Modell | RMSE |
|--------------|------|
| | E |
| brezina_e | 2516 |
| lukanen | 2309 |
| wei | 3318 |
| zhou | 3158 |
| d_park_e | 2352 |
| chen_e | 2672 |
| ali | 2673 |
| paliukaite | 1425 |
| johnson | 3935 |
| chang | 3056 |
| appea | 1910 |
| trafikverket | 1684 |
| rambøll | 1459 |
| ukorrigert | 1279 |

Verdiene i tabellen er illustrert i Figur 100, som viser et plott av absolutte RMSE-verdier. Figur 101 viser et plott av relative RMSE-verdier.

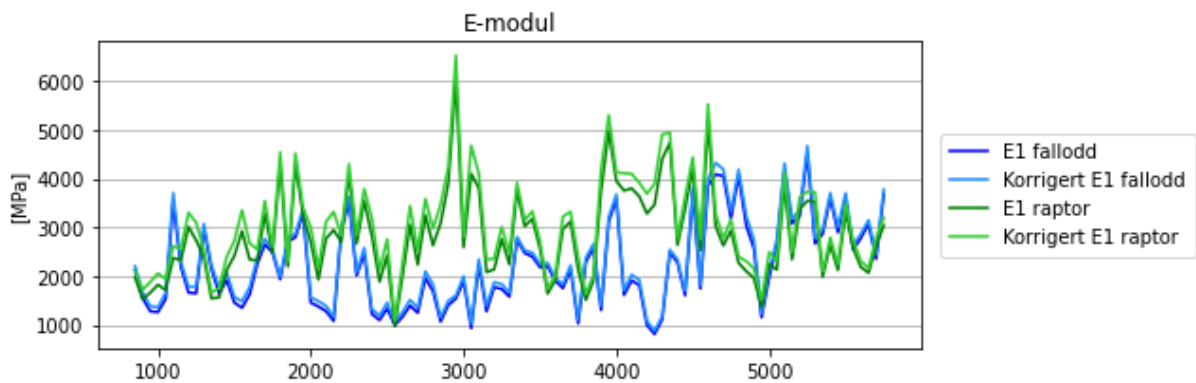


Figur 100 Plott av absolutte RMSE-verdier for E1 på Rv 36 S11D1 m850-5750



Figur 101 Plott av relative RMSE-verdier for E1 på Rv 36 S11D1 m850-5750

Figur 102 viser et plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler for én korreksjonsmodell. Korreksjonsmodellen er den som gir best resultat på delstrekningen, i dette tilfellet Paliukaite.

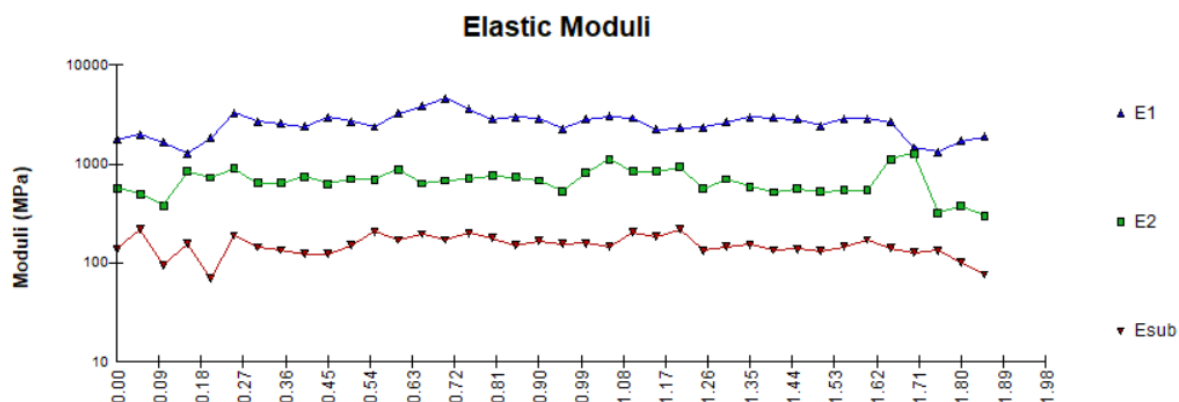


Figur 102 Plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler på Rv 36 S11D1 m850-5750

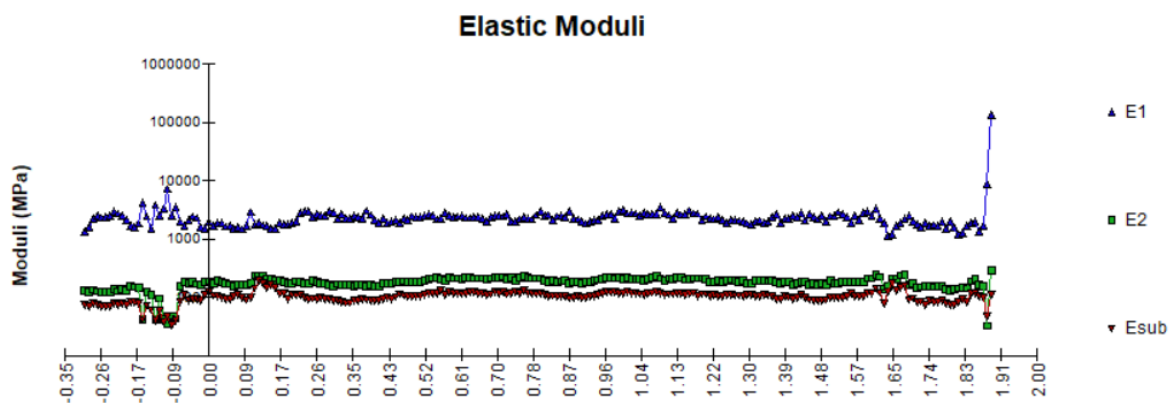
S12D1 m0-1850 fallodd vs Raptor

På denne delstrekningen er dekketemperaturen utenfor det definerte gyldighetsområdet til korreksjonsmodellen Paliukaite for Raptor (37,6°C, maksimum er 30°C). Modellen er likevel inkludert i de videre beregningene.

Figur 103 og Figur 104 viser et plott av de etterregnede E-modulene fra Elmod for henholdsvis fallodd og Raptor. De gjennomsnittlige E-modulene er gitt i Tabell 25.



Figur 103 Etterregnede E-moduler for fallodd på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor)

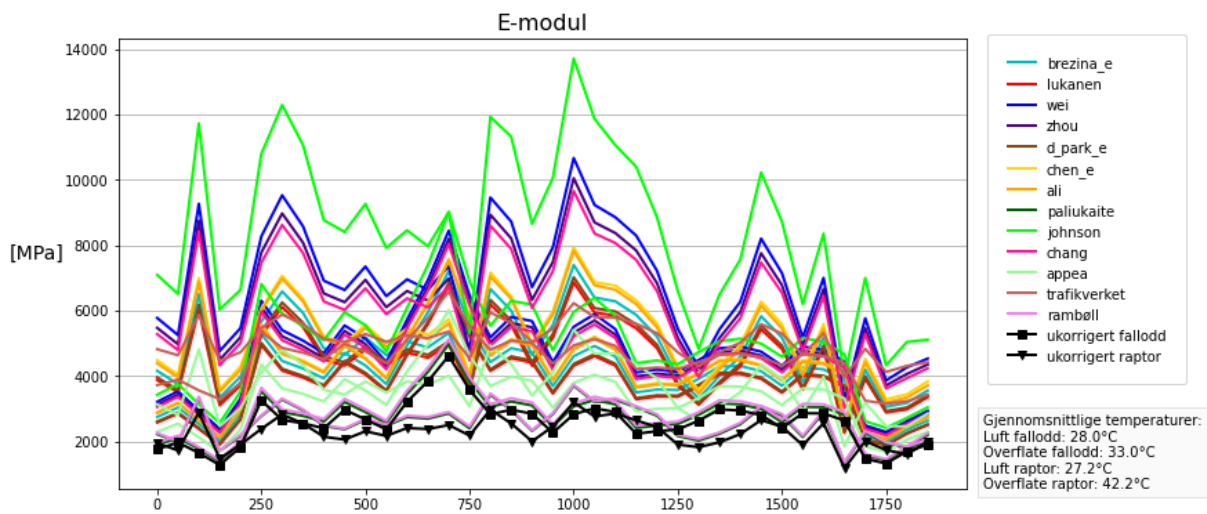


Figur 104 Etterregnede E-moduler for Raptor på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor)

Tabell 25 Gjennomsnittlige etterregnede E-moduler for Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor)

| Fallodd | | | Raptor | | |
|---------|------|-----|--------|------|-----|
| E1 | 2568 | MPa | E1 | 2253 | MPa |
| E2 | 687 | MPa | E2 | 187 | MPa |
| E3 | 153 | MPa | E3 | 108 | MPa |

Figur 105 viser ukorrigerede og korrigerte verdier av E1 for alle korreksjonsmodellene.



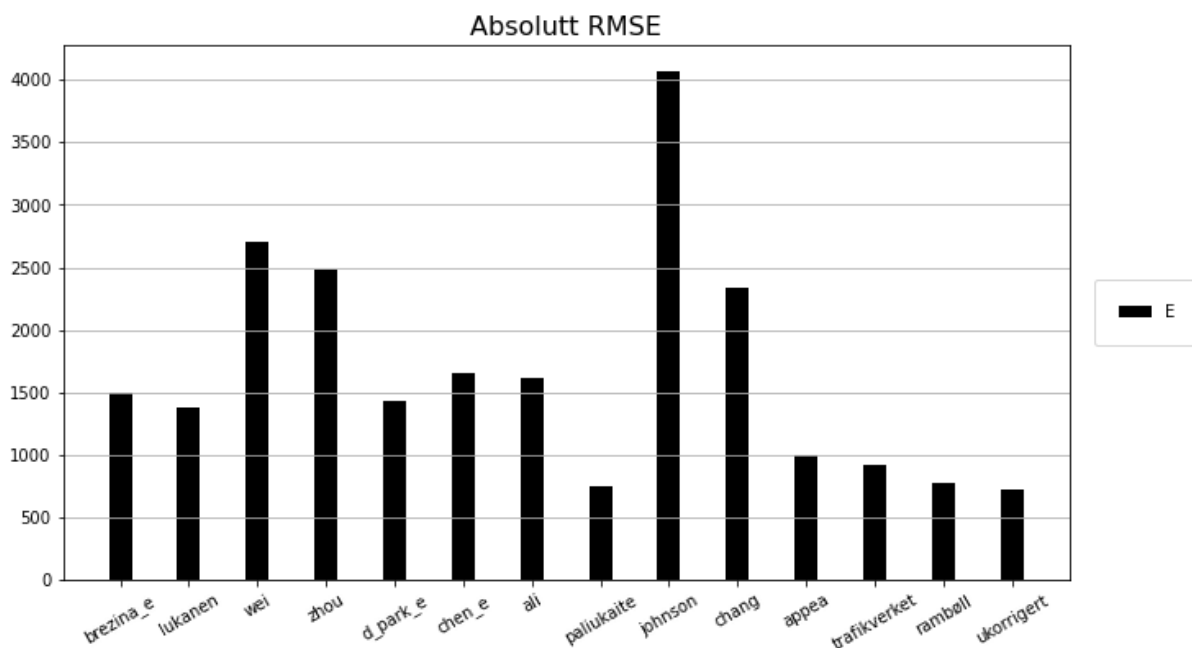
Figur 105 Plott av ukorrigerede og korrigerte verdier av E1 for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor)

Tabell 26 viser RMSE-verdier for de korrigerte E-modulene for alle de forskjellige korreksjonsmodellene. Tabellen viser at det er Paliukaite som gir den beste korreksjonen på denne delstrekningen, til tross for at temperaturen er utenfor det definerte gyldighetsområdet.

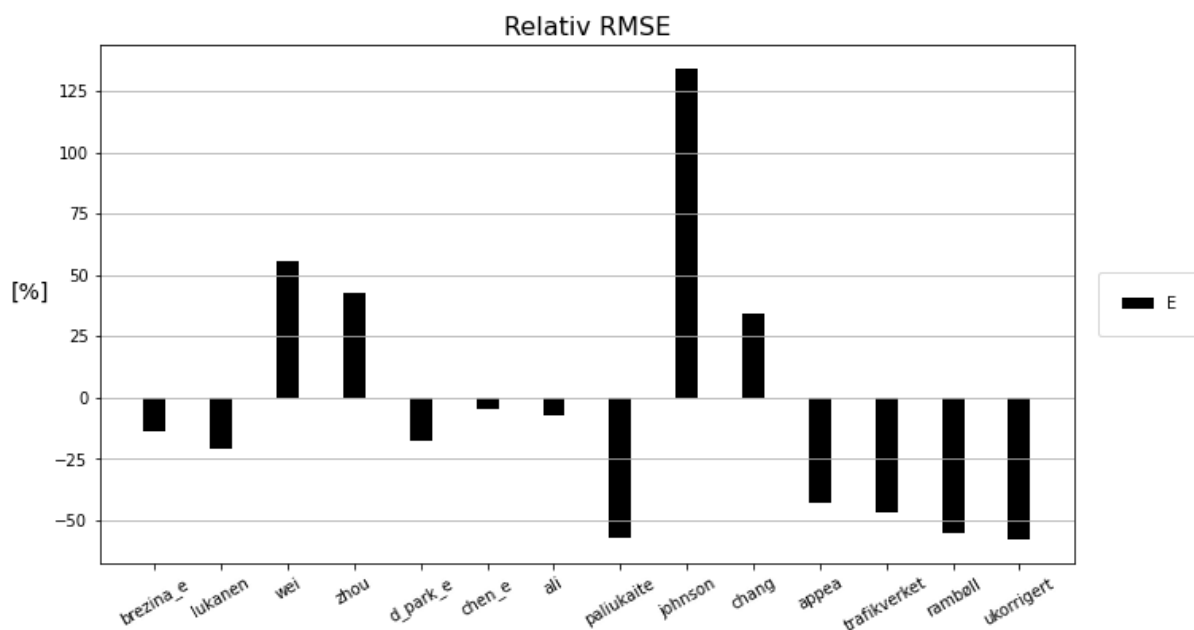
Tabell 26 RMSE-verdier for E-moduler på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor)

| Modell | RMSE |
|--------------|------|
| | E |
| brezina_e | 1501 |
| lukanen | 1379 |
| wei | 2708 |
| zhou | 2475 |
| d_park_e | 1427 |
| chen_e | 1652 |
| ali | 1610 |
| paliukaite | 745 |
| johnson | 4072 |
| chang | 2331 |
| appea | 994 |
| trafikverket | 924 |
| rambøll | 772 |
| ukorrigerert | 728 |

Verdiene i tabellen er illustrert i Figur 106, som viser et plott av absolutte RMSE-verdier. Figur 107 viser et plott av relative RMSE-verdier.

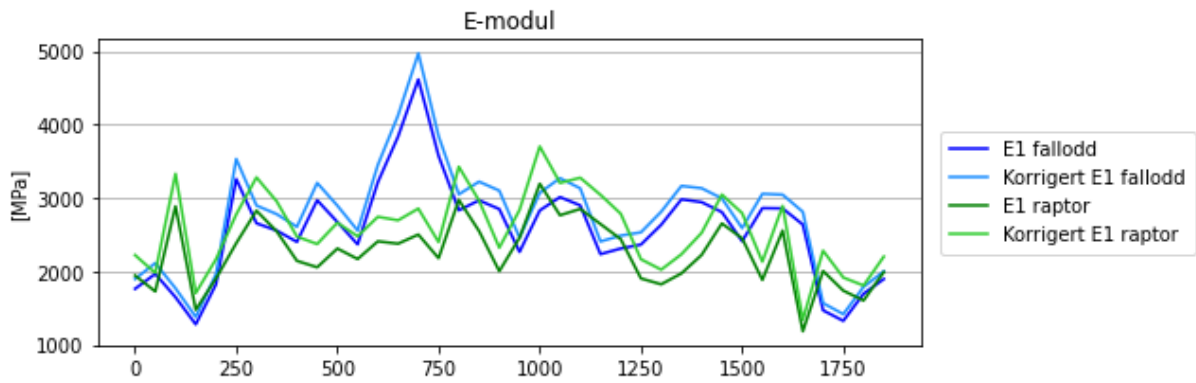


Figur 106 Plott av absolutte RMSE-verdier for E1 på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor)



Figur 107 Plott av relative RMSE-verdier for E1 på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor)

Figur 108 viser et plott av ukorrigerte og korrigerede E-moduler for én korreksjonsmodell. Korreksjonsmodellen er den som gir best resultat på delstrekningen, i dette tilfellet Paliukaite.

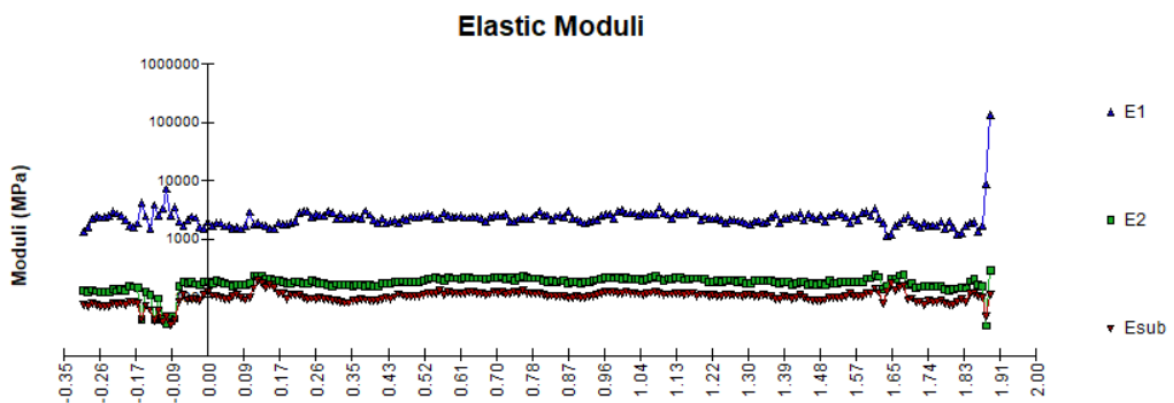


Figur 108 Plott av ukorrigererte og korrigererte E-moduler på Rv 36 S12D1 m0-1850 (fallodd vs Raptor)

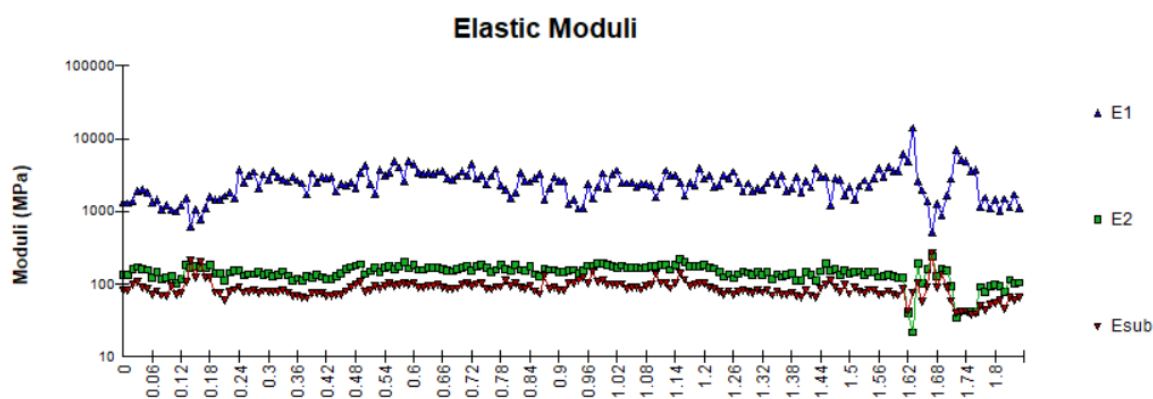
S12D1 m0-1850 Raptor vs Raptor

På denne delstrekningen er dekketemperaturen utenfor det definerte gyldighetsområdet til korreksjonsmodellen Paliukaite for både måling 1 og måling 2 (37,6°C og 32,9°C, maksimum er 30°C). Modellen er likevel inkludert i de videre beregningene.

Figur 109 og Figur 110 viser et plott av de etterregnede E-modulene fra Elmod for henholdsvis måling 1 og måling 2. De gjennomsnittlige E-modulene er gitt i Tabell 27.



Figur 109 Etterregnede E-moduler for måling 1 på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor)

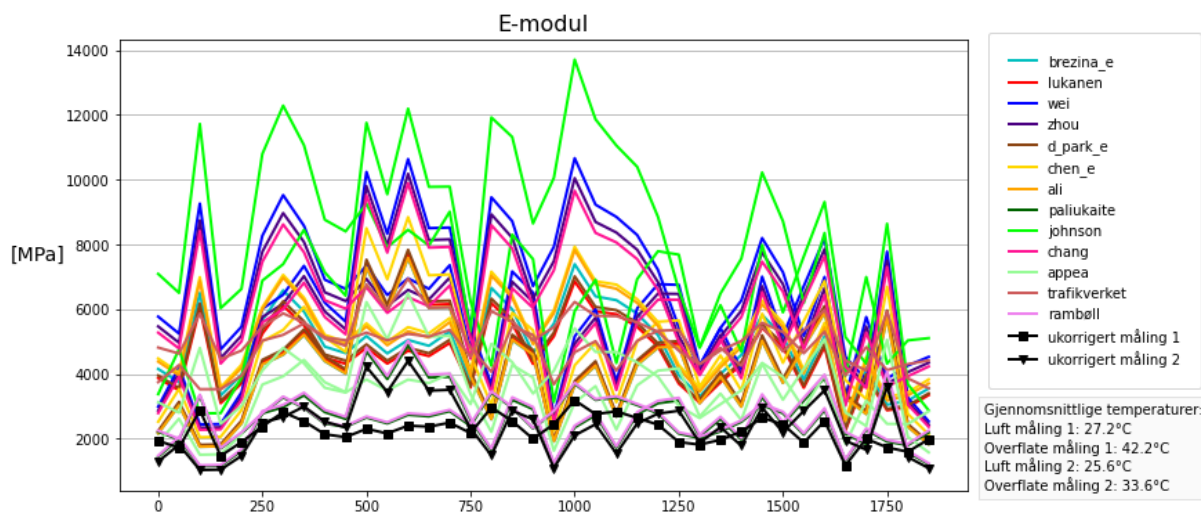


Figur 110 Etterregnede E-moduler for måling 2 på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor)

Tabell 27 Gjennomsnittlige etterregnede E-moduler for Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor)

| Måling 1 | | | Måling 2 | | |
|----------|------|-----|----------|------|-----|
| E1 | 2253 | MPa | E1 | 2387 | MPa |
| E2 | 187 | MPa | E2 | 146 | MPa |
| E3 | 108 | MPa | E3 | 86 | MPa |

Figur 111 viser ukorrigerede og korrigerede verdier av E1 for alle korreksjonsmodellene.



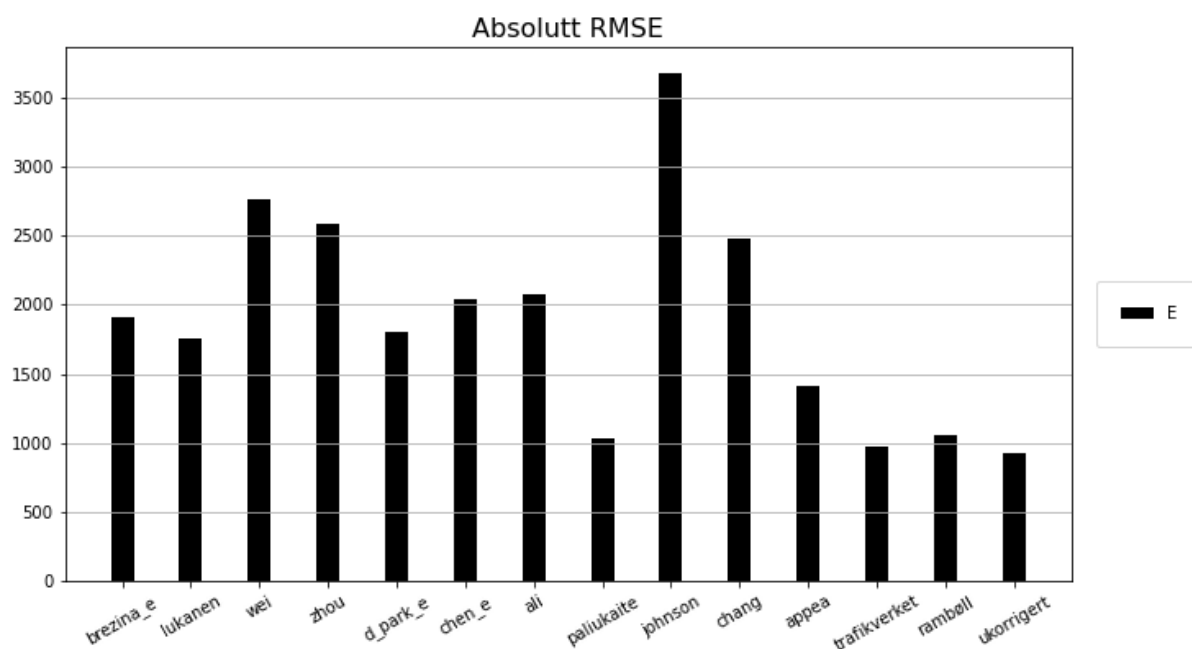
Figur 111 Plott av ukorrigerede og korrigerede verdier av E1 for alle korreksjonsmodeller på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor)

Tabell 28 viser RMSE-verdier for de korrigerede E-modulene for alle de forskjellige korreksjonsmodellene. Tabellen viser at det er Trafikverkets metode som gir den beste korreksjonen på denne delstrekningen.

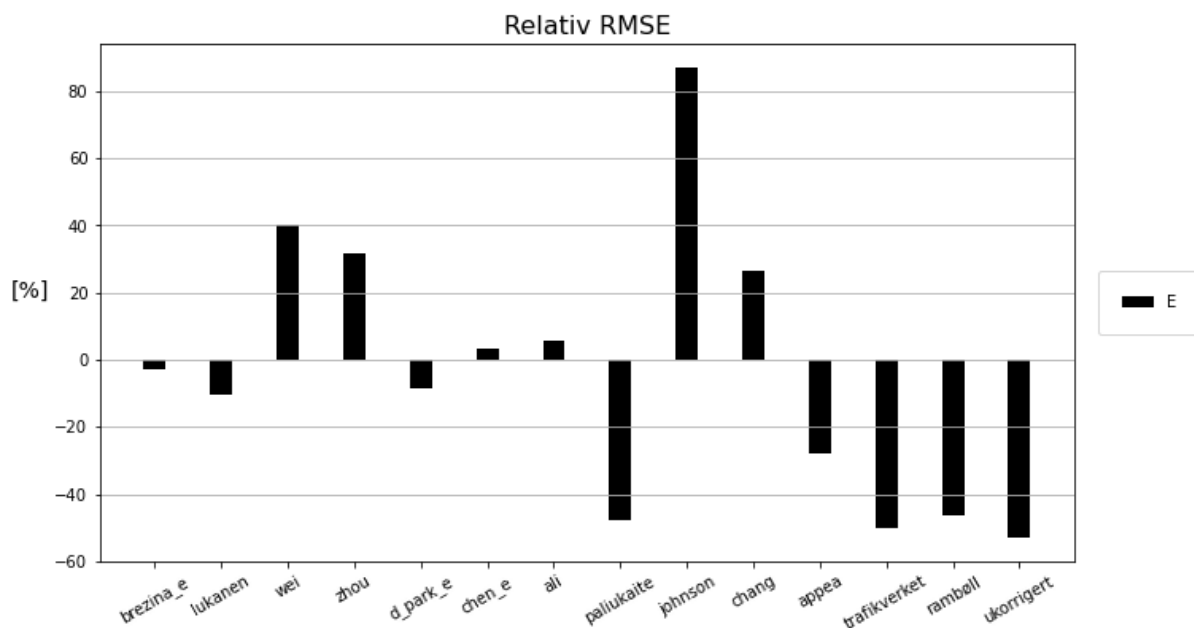
Tabell 28 RMSE-verdier for E-moduler på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor)

| Modell | RMSE |
|--------------|------|
| | E |
| brezina_e | 1914 |
| lukanen | 1761 |
| wei | 2757 |
| zhou | 2589 |
| d_park_e | 1800 |
| chen_e | 2034 |
| ali | 2074 |
| paliukaite | 1029 |
| johnson | 3679 |
| chang | 2484 |
| appea | 1413 |
| trafikverket | 979 |
| rambøll | 1052 |
| ukorrigert | 921 |

Verdiene i tabellen er illustrert i Figur 112, som viser et plott av absolutte RMSE-verdier. Figur 113 viser et plott av relative RMSE-verdier.

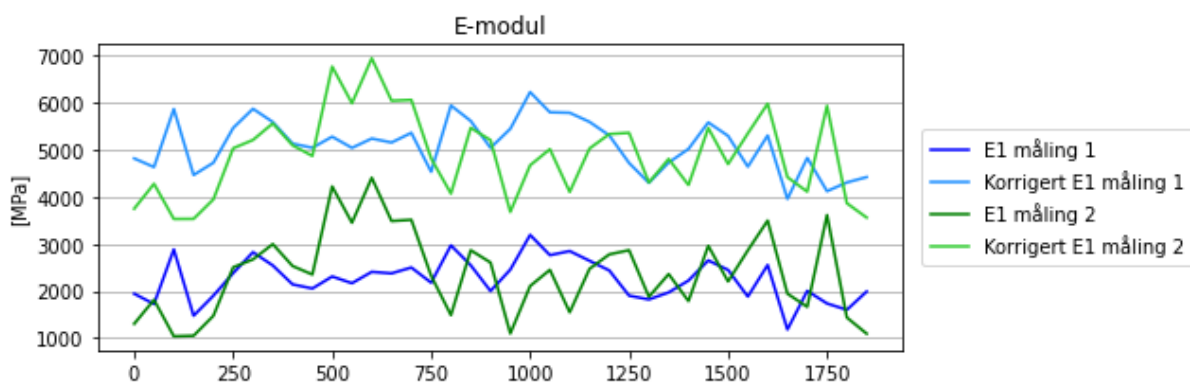


Figur 112 Plott av absolutte RMSE-verdier for E1 på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor)



Figur 113 Plott av relative RMSE-verdier for E1 på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor)

Figur 114 viser et plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler for én korreksjonsmodell. Korreksjonsmodellen er den som gir best resultat på delstrekningen, i dette tilfellet Trafikverkets metode.



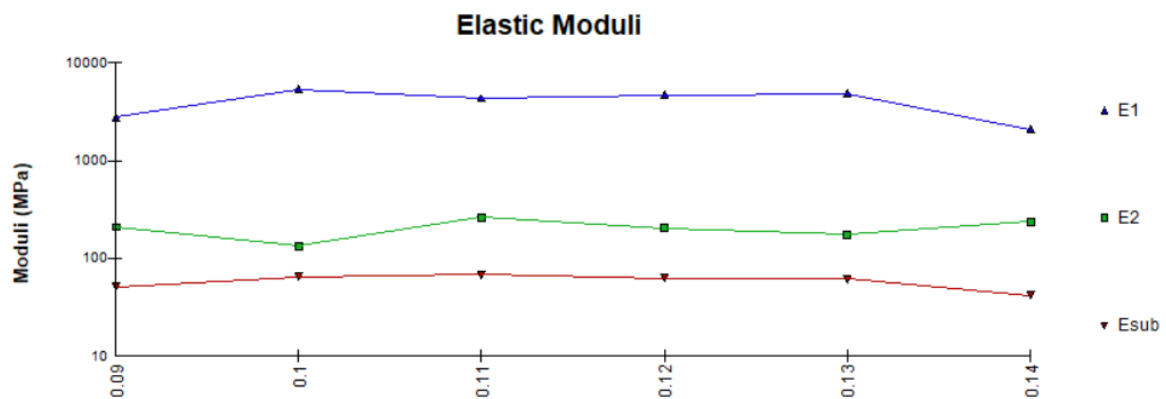
Figur 114 Plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler på Rv 36 S12D1 m0-1850 (Raptor vs Raptor)

NCAT test track

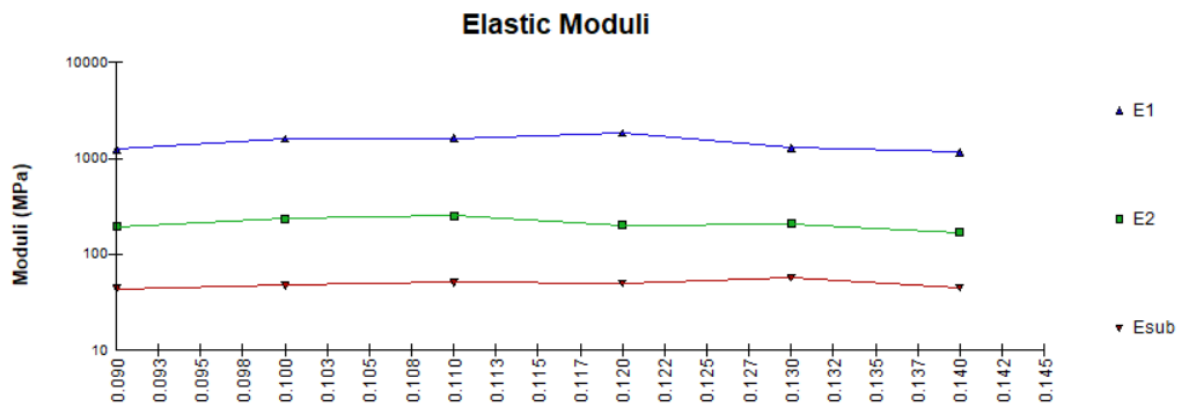
Seksjon N2

På denne delstrekningen er dekketemperaturen utenfor det definerte gyldighetsområdet til korreksjonsmodellen Paliukaite ved måling 2 (31,5°C, maksimum er 30°C). Modellen er likevel inkludert i de videre beregningene.

Figur 115 og Figur 116 viser et plott av de etterregnede E-modulene fra Elmod for henholdsvis måling 1 og måling 2. De gjennomsnittlige E-modulene er gitt i Tabell 29.



Figur 115 Etterregnede E-moduler for måling 1 på NCAT test track seksjon N2

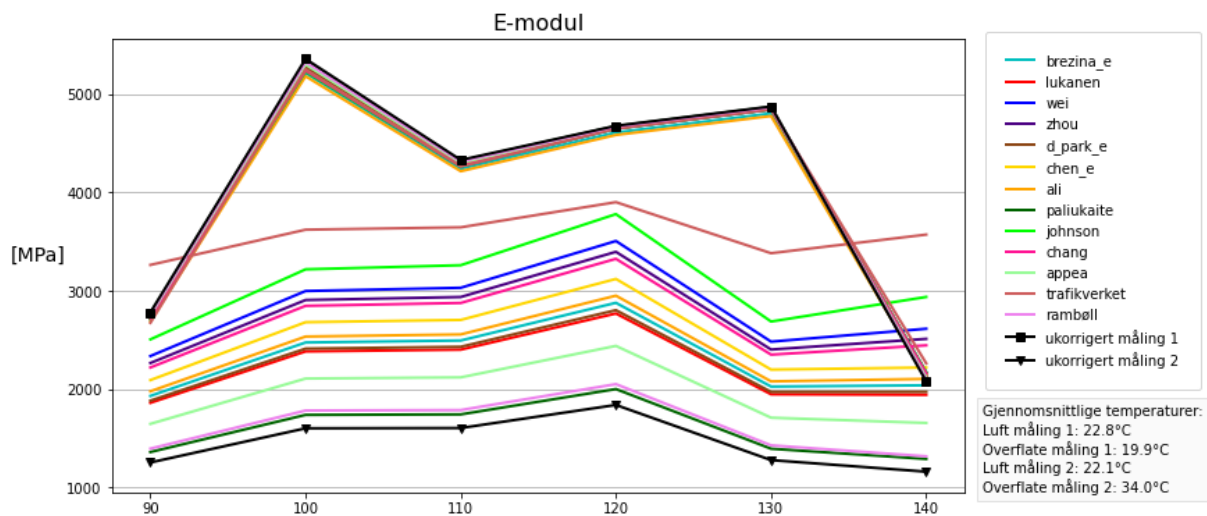


Figur 116 Etterregnede E-moduler for måling 2 på NCAT test track seksjon N2

Tabell 29 Gjennomsnittlige etterregnede E-moduler for NCAT test track seksjon N2

| Måling 1 | | | Måling 2 | | |
|----------|------|-----|----------|------|-----|
| E1 | 4015 | MPa | E1 | 1456 | MPa |
| E2 | 205 | MPa | E2 | 210 | MPa |
| E3 | 59 | MPa | E3 | 49 | MPa |

Figur 117 viser ukorrigerede og korrigerte verdier av E1 for alle korreksjonsmodellene.



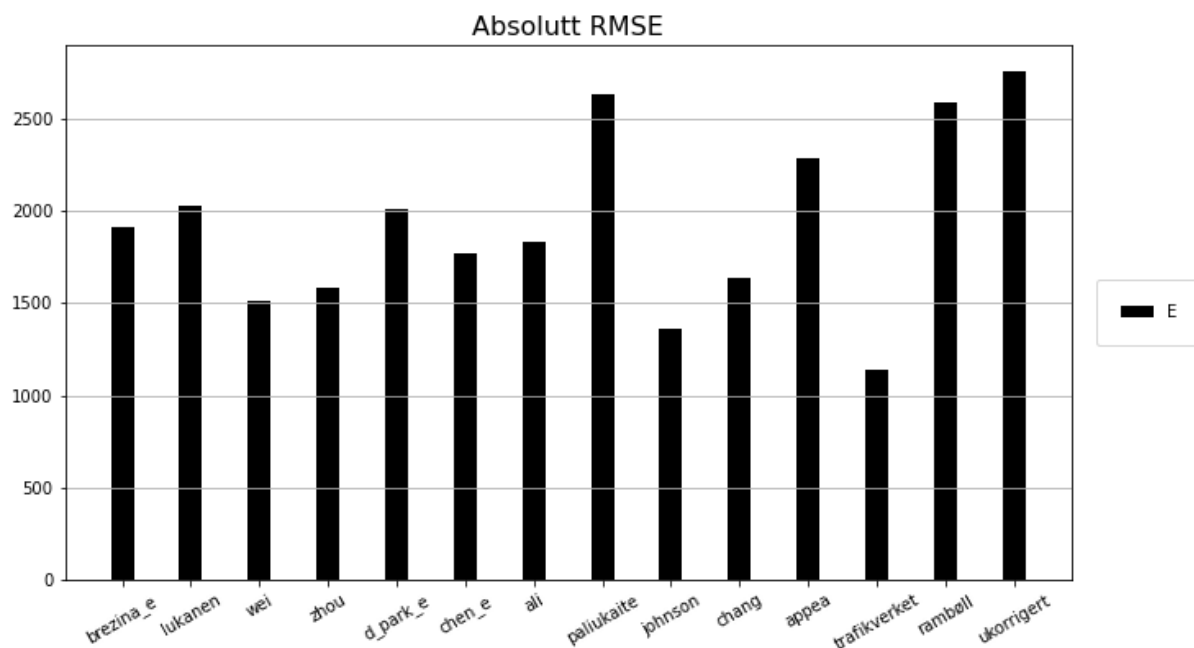
Figur 117 Plott av ukorrigerede og korrigerte verdier av E1 for alle korreksjonsmodeller på NCAT test track seksjon N2

Tabell 30 viser RMSE-verdier for de korrigerte E-modulene for alle de forskjellige korreksjonsmodellene. Tabellen viser at det er Trafikverkets metode som gir den beste korreksjonen på denne delstrekningen.

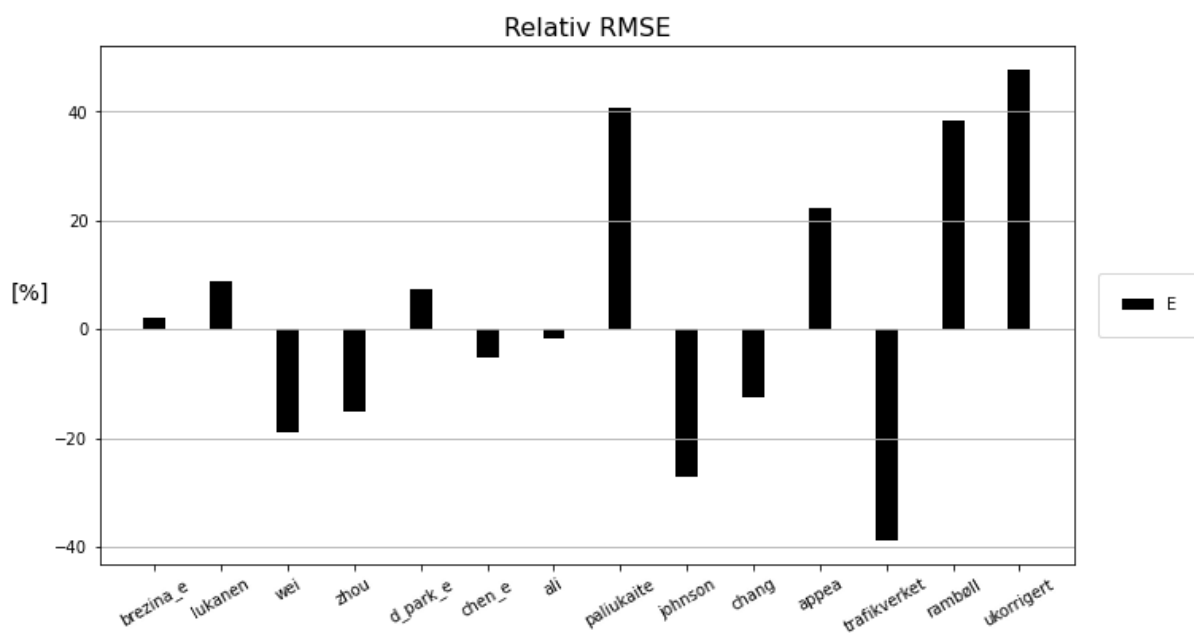
Tabell 30 RMSE-verdier for E-moduler på NCAT test track seksjon N2

| Modell | RMSE |
|--------------|------|
| | E |
| brezina_e | 1909 |
| lukanen | 2031 |
| wei | 1512 |
| zhou | 1584 |
| d_park_e | 2005 |
| chen_e | 1767 |
| ali | 1835 |
| paliukaite | 2628 |
| johnson | 1359 |
| chang | 1632 |
| appea | 2282 |
| trafikverket | 1140 |
| rambøll | 2584 |
| ukorrigeret | 2758 |

Verdiene i tabellen er illustrert i Figur 118, som viser et plott av absolutte RMSE-verdier. Figur 119 viser et plott av relative RMSE-verdier.

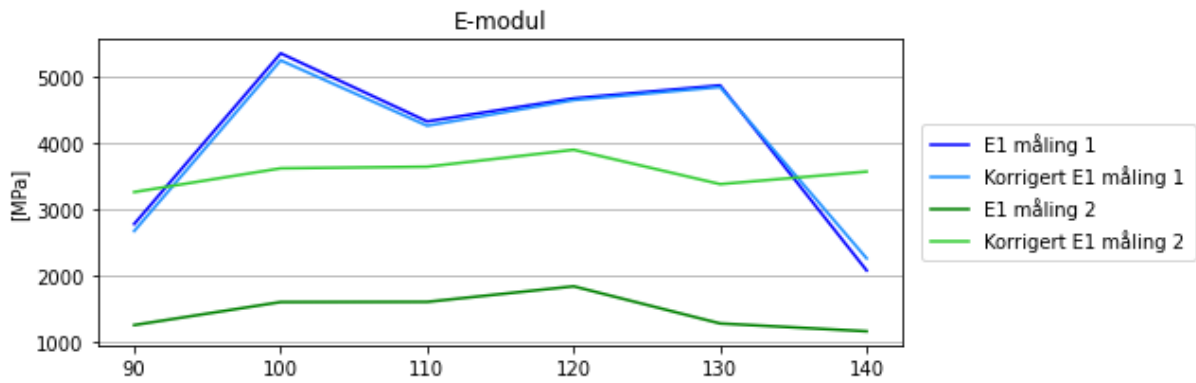


Figur 118 Plott av absolutte RMSE-verdier for E1 på NCAT test track seksjon N2



Figur 119 Plott av relative RMSE-verdier for E1 på NCAT test track seksjon N2

Figur 120 viser et plott av ukorrigerede og korrigerede E-moduler for én korreksjonsmodell. Korreksjonsmodellen er den som gir best resultat på delstrekningen, i dette tilfellet Trafikverkets metode.

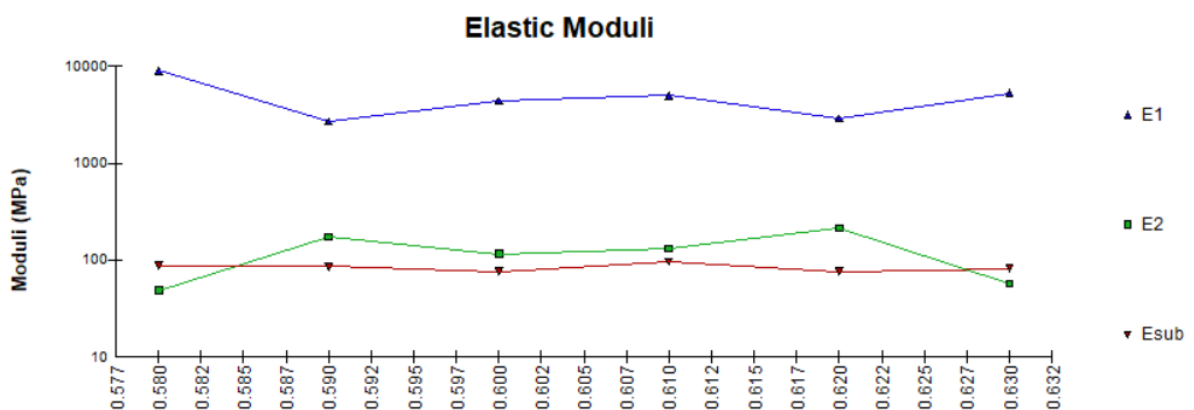


Figur 120 Plott av ukorrigerede og korrigerte E-moduler på NCAT test track seksjon N2

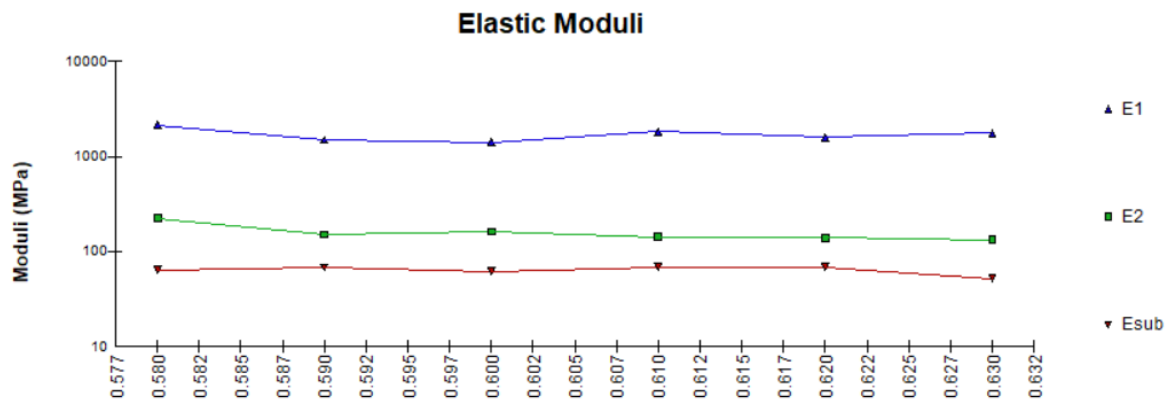
Seksjon N10

På denne delstrekningen er dekketemperaturen utenfor det definerte gyldighetsområdet til korreksjonsmodellen Paliukaite ved måling 2 (30,4°C, maksimum er 30°C). Modellen er likevel inkludert i de videre beregningene.

Figur 121 og Figur 122 viser et plott av de etterregnede E-modulene fra Elmod for henholdsvis måling 1 og måling 2. De gjennomsnittlige E-modulene er gitt i Tabell 31.



Figur 121 Etterregnede E-moduler for måling 1 på NCAT test track seksjon N10

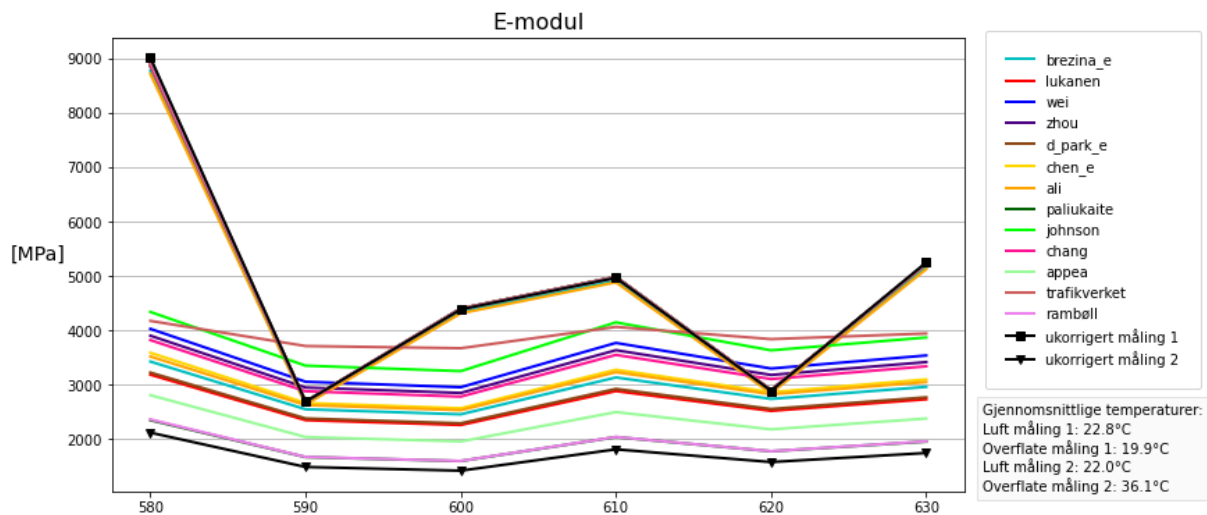


Figur 122 Etterregnede E-moduler for måling 2 på NCAT test track seksjon N10

Tabell 31 Gjennomsnittlige etterregnede E-moduler for NCAT test track seksjon N10

| Måling 1 | | | Måling 2 | | |
|----------|------|-----|----------|------|-----|
| E1 | 4863 | MPa | E1 | 1695 | MPa |
| E2 | 124 | MPa | E2 | 159 | MPa |
| E3 | 84 | MPa | E3 | 64 | MPa |

Figur 123 viser ukorrigererte og korrigererte verdier av E1 for alle korreksjonsmodellene.



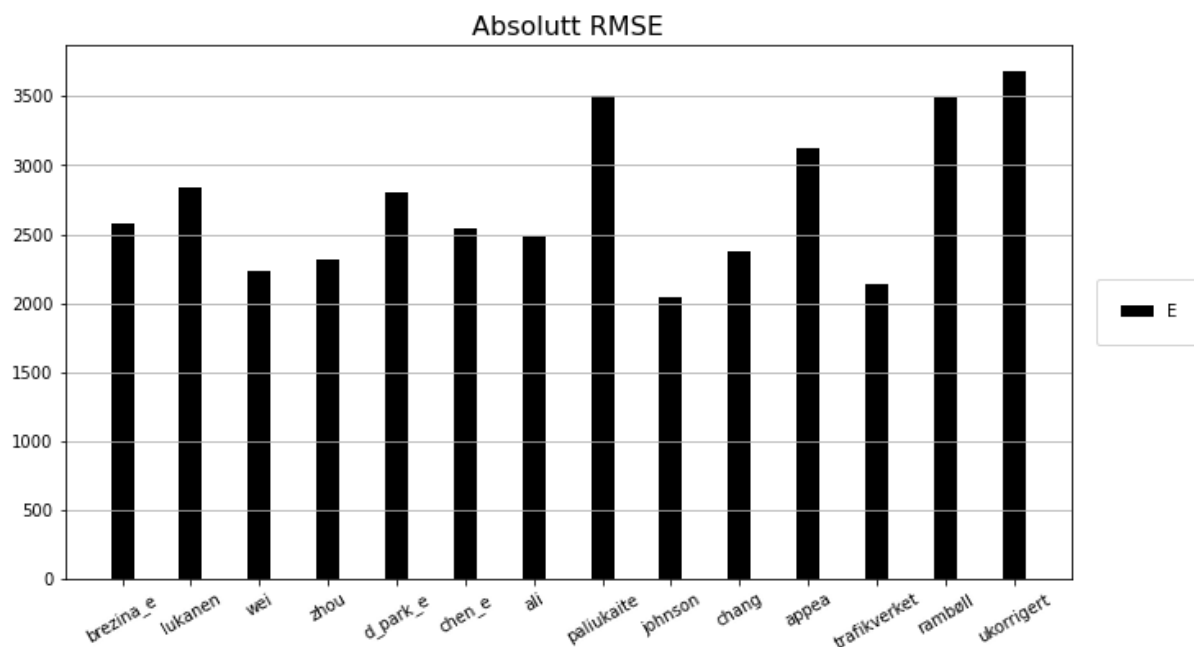
Figur 123 Plott av ukorrigererte og korrigererte verdier av E1 for alle korreksjonsmodeller på NCAT test track seksjon N10

Tabell 32 viser RMSE-verdier for de korrigererte E-modulene for alle de forskjellige korreksjonsmodellene. Tabellen viser at det er Johnson som gir den beste korreksjonen på denne delstrekningen.

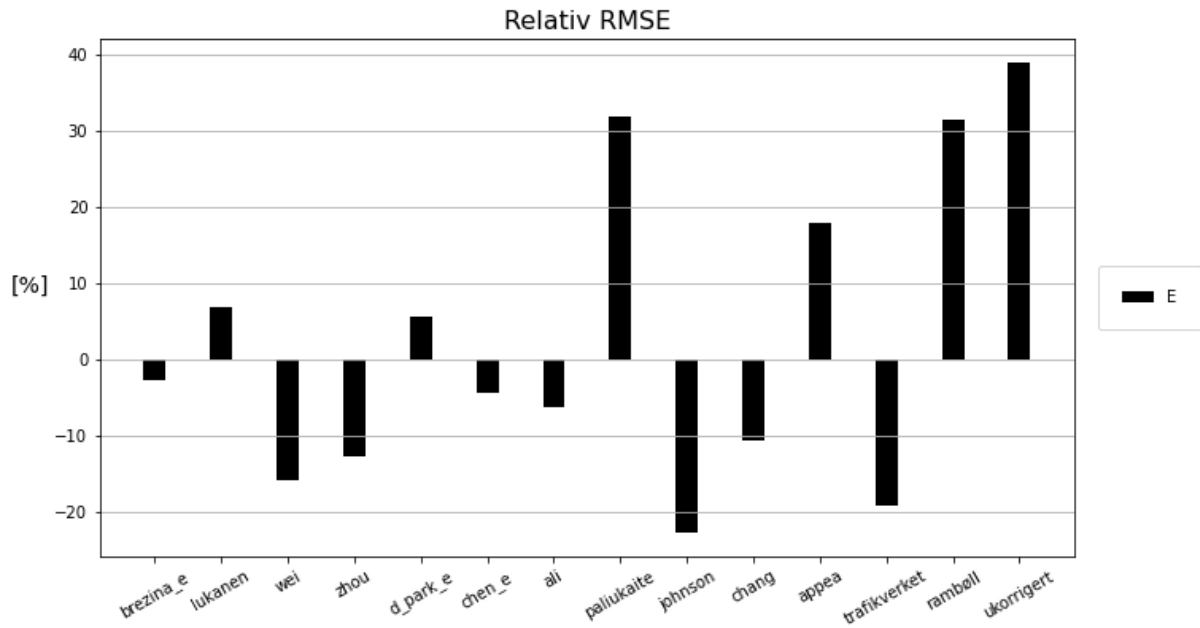
Tabell 32 RMSE-verdier for E-moduler på NCAT test track seksjon N10

| Modell | RMSE |
|--------------|------|
| | E |
| brezina_e | 2582 |
| lukanen | 2833 |
| wei | 2234 |
| zhou | 2316 |
| d_park_e | 2804 |
| chen_e | 2537 |
| ali | 2488 |
| paliukaite | 3497 |
| johnson | 2049 |
| chang | 2371 |
| appea | 3128 |
| trafikverket | 2143 |
| rambøll | 3488 |
| ukorrigert | 3686 |

Verdiene i tabellen er illustrert i Figur 124, som viser et plott av absolutte RMSE-verdier. Figur 125 viser et plott av relative RMSE-verdier.

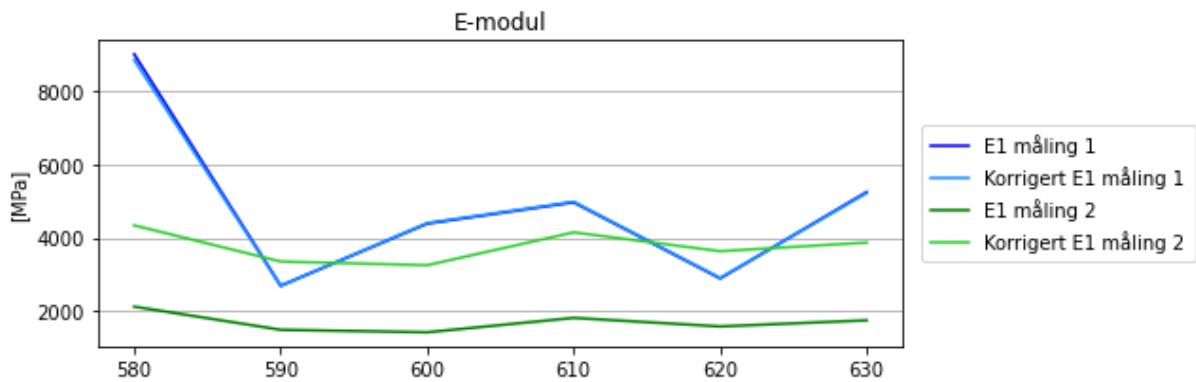


Figur 124 Plott av absolutte RMSE-verdier for E1 på NCAT test track seksjon N10



Figur 125 Plott av relative RMSE-verdier for E1 på NCAT test track seksjon N10

Figur 126 viser et plott av ukorrigerte og korrigerte E-moduler for én korreksjonsmodell. Korreksjonsmodellen er den som gir best resultat på delstrekningen, i dette tilfellet Johnson.



Figur 126 Plott av ukorrigerte og korrigerte E-moduler på NCAT test track seksjon N10

Vedlegg 4

Sammenlagt resultat ekskludert data fra Rv 36

Resultatet for hver enkelt delstrekning er fortsatt det samme. Det eneste som er annerledes her er at dataene fra Rv 36 er utelatt fra sluttresultatet.

Tabell 33 Sammenlagt resultat av nedbøyningskorreksjon ekskludert data fra Rv 36

| Modell | A | | |
|------------|--------|--------|--------|
| | BELLS | BELLS3 | Lai |
| brezina_n | -26.12 | -24.86 | 20.67 |
| pais | 19.85 | 27.44 | 27.88 |
| xiao | -4.13 | -7.92 | -32.25 |
| zheng_n | 3.44 | 6.62 | 10.27 |
| dawson | 2.34 | -1.61 | -28.04 |
| zhang | 20.12 | 17.83 | -6.08 |
| park_n | -15.50 | -17.51 | 7.55 |
| ukorrigert | 75.59 | 68.71 | 23.77 |

Tabell 34 Sammenlagt resultat av E-modulkorreksjon ekskludert data fra Rv 36

| Modell | RMSE _{tot,j} | | |
|--------------|-----------------------|--------|------|
| | BELLS | BELLS3 | Lai |
| brezina_e | 1605 | 1536 | 2752 |
| lukanen | 1586 | 1450 | 2506 |
| wei | 2431 | 1941 | 3342 |
| zhou | 2282 | 1832 | 3195 |
| d_park_e | 1596 | 1439 | 2526 |
| chen_e | 2929 | 2500 | 3255 |
| ali | 1645 | 1579 | 2997 |
| paliukaite | 4337 | 4340 | 4440 |
| johnson | 1885 | 1448 | 3557 |
| chang | 2184 | 1761 | 3101 |
| appea | 1963 | 1970 | 2600 |
| trafikverket | 3302 | 3099 | 3945 |
| rambøll | 1872 | 1713 | 1991 |
| ukorrigert | 5229 | 5229 | 5229 |

Tabell 35 Sammenlagt resultat for korreksjon av bæreevne ekskludert data fra Rv 36

| Modell | RMSE _{tot,j} | | |
|---------------------------|-----------------------|--------|------|
| | BELLS | BELLS3 | Lai |
| brezina_n | 1.35 | 1.32 | 4.15 |
| pais | 2.62 | 2.80 | 3.95 |
| xiao | 1.57 | 1.57 | 1.57 |
| zheng_n | 2.17 | 2.26 | 3.03 |
| dawson | 2.01 | 2.01 | 2.01 |
| zhang | 3.38 | 3.41 | 3.66 |
| park_n | 1.59 | 1.48 | 3.63 |
| SVV overflatetemp | 1.37 | 1.37 | 1.37 |
| SVV estimert dekketemp | 1.59 | 1.57 | 2.80 |
| ukorrigert | 3.35 | 3.35 | 3.35 |

