

Norges miljø- og biovitenskapelige
universitet
Fakultet for miljøvitenskap og teknologi
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Masteroppgave 2014
30 stp

Kontinuerlig kompakteringskontroll for asfalt

Continuous Compaction Control for Asphalt

John-André Egeli

Forord

Dette er en oppgave som markerer avslutningen på en femårig skolegang ved Norges miljø og biovitenskapelige universitet, våren 2014. Dette er en oppgave innen veiteknologi, hvor oppgaveskriver er første mann ut ved dette universitetet på dette fagfeltet.

Det har vært veldig lærerikt å kunne skrive en oppgave innen veiteknologi, da jeg egentlig går studieretning for Vann og miljøteknikk ved Institutt for matematiske realfag og teknologi. Dette hadde ikke vært mulig uten at Statens vegvesen startet opp med å holde forelesninger innen veiteknologi. Oppgaven hadde ikke vært kjent for meg uten at Jan Vaslestad fra Statens vegvesen gjorde meg kjent med muligheten for dette.

Jeg vil rette en stor takk til Berthe-Julienne Dongmo-Engeland, Geir Berntsen og Kristin Torgersen ved Region øst hos Statens vegvesen, som har gitt meg god veiledning til oppgaven.

I tillegg vil jeg takke Hege Sato og Cecilie Sogn Arvidsen for innspill og korrekturlesning av oppgaven.

Ås, mai 2014

John-André Egeli

Sammendrag

Kompakteringen av asfalt er et viktig aspekt for levetiden på dekket. Et godt kompaktert dekke med et ideelt hulrom vil ha en optimal levetid. Det spesielle med asfalt er at den må kompakteres imens den enda er varm. Blir temperaturen for lav, er ikke asfalten egnet til å bli bearbeidet. En kontinuerlig kompakteringskontroll er ment å gi valsefører, entreprenør og byggherre kontroll på kompakteringsarbeidet både under og etter dekkeleggingen. Oppgaven har som intensjon å se om dette er et verktøy som er egnet å bli brukt i Norge, om bruk av IR-skanner til måling av temperatur har noe for seg og om en kan komme med krav til bruk av et slikt verktøy.

Opgaven tar først for seg en beskrivelse av teori om asfalt og viktigheten i kompakteringen av denne. Videre blir det gitt en beskrivelse av dagens kontrollmetoder i inn og utland, samt retningslinjer som er utarbeidet i USA på feltet. Teorien avsluttes med å beskrive de kontrollmetoder som valseleverandørene tilbyr per i dag.

Opgaven tar så for seg et forsøksfelt langs E6 Gran til Langeland i Sørums kommuner. Det ble her analysert data fra arbeidet valsene utførte. Det ble benyttet en vals fra Dynapac og Hamm under arbeidet. Forsøkene ble basert på begge systemene.

Dessverre ble datagrunnlaget dårlig da valse fra Dynapac til tider hadde stor unøyaktighet og forstyrrelser når overfartene ble registrert. Valse fra Hamm leverte bedre posisjonsdata. Begge hadde noen forstyrrelser i temperaturmålingene sine ved bruk av IR-skanninger.

Leverandørenes systemer hadde sine fordeler og ulemper. Dynapac kunne levere en statistikk over andelen kompaktert dekke både statisk og med vibrasjon. Ulempen var at dataene var vanskelig å tolke da det var så mye forstyrrelser i bildene. Hamm hadde fordelen av at man kunne gå inn og analysere punkter. Det kunne vært ønskelig at man kunne gå inn og velge ut partier som man ønsket å se nærmere på, samt få utarbeidet statistikk over dette området.

Kontinuerlig kompakteringskontroll og bruk av IR-skanning til kompakteringsarbeidet virker å ha noe for seg. Flere forsøk på området bør gjennomføres for å øke kunnskapen innen fagfeltet.

Det ble utarbeidet forslag til krav som kan stilles i fremtidige asfaltkontrakter. Entreprenør må kunne levere en nøyaktighet i målingene sine på minst 10 cm. Valsene må benytte samme system og kunne kommunisere sammen. Antallet overfarter bør bestemmes med bakgrunn i valseforsøk. Målingene skal gjøres med det koordinatsystemet byggherren bestemmer. Isotopmålerens plassering bør dokumenteres med bruk av koordinater. Man kan da enkelt finne igjen målepunktet i veibanen på leverandørenes systemer.

Abstract

Compaction of asphalt determines much of the life of the pavement. A well compacted pavement with an ideal density will have an optimal life. The special thing about asphalt is that it must be compacted while it's still warm. If the temperature is too low, the asphalt won't be suitable to be compacted. A continuous compaction control is intended to provide rolling operator, contractor and builder control of the compaction work both during and after paving. This assignment intends to see if this is a tool suitable for use in Norway, if the use of IR scanner for measuring temperature have anything to offer and if you can come up with requirements for the use of such tools.

This assignment begins with a description of the theory of asphalt and the importance of compaction control. It was also given a description of the current control methods at home and abroad, as well as guidelines developed in the United States on this subject. The theory ends with a description of the control methods that are available from suppliers today.

The assignment used a test strip along the E6 from Gran to Langeland in Sørumsund Municipality. The data from the rollers was then analyzed. Rollers from Dynapac and Hamm were used. The rollers used their suppliers' individual system for compaction control.

Unfortunately, the data provided from Dynapac roller had a lot of interference when the compaction runs were recorded. The roller from Hamm delivered better position data. Both had some disturbances in temperature measurements using their IR scans.

Suppliers' systems had their advantages and disadvantages. Dynapac delivered statistics on the proportion of compacted pavement with both static and vibration runs. The downside was that the data were difficult to interpret as there was so much interference in the pictures. Hamm had the advantage that one could go in and analyze a pinpoint location. It could be desirable to be able to go in and choose the parts that you wanted to look into and draw up statistics on this site.

Continuous compaction control and use of IR scanning for compaction work has its advantages. More research in this area should be conducted to increase knowledge on this subject.

A set of requirements are proposed that can be set in future asphalt contracts. Contractor must be able to provide accuracy in their measurements of at least 10 cm. The rollers must use the same system and be able to communicate with each other. The number of passes should be determined on the basis of rolling experiments. Measurements shall be made using the coordinate system that the builder decides. When nuclear gauges are used, the measurements should be documented with the use of coordinates for pinpointing the location on the road. One can then easily locate the point of measurement in the systems from the suppliers.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Sammendrag	iii
Abstract	v
Liste over figurer	xi
Liste over tabeller.....	xvii
Liste over forkortelser	xix
1 Innledning.....	1
1.1 Målsetting.....	1
1.2 Problemstilling.....	1
1.3 Fremgangsmåte og struktur	2
1.4 Oppgavens begrensninger.....	2
2 Teori.....	3
2.1 Asfalt.....	3
2.2 Dekkeleggingen	5
2.2.1 Valsing	6
2.2.2 Hulrominnhold	7
2.2.3 Bearbeiding av asfalt	8
2.2.4 Fagmessig utførelse.....	10
3 Metode	11
3.1 Generelt.....	11
3.2 Kontroll.....	11
3.3 Praksis utenfor Norge.....	15
3.3.1 Australia.....	15
3.3.2 EU	15
3.3.3 Sverige	15
3.3.4 Tyskland.....	16
3.3.5 USA	16
3.4 Retningslinjer - kontinuerlig kompakteringskontroll.....	17
3.5 Løsninger for kontinuerlig kompakteringskontroll.....	18
3.6 Kompaktering med vals	18
3.6.1 Statisk linjelast.....	18
3.6.2 Vibrasjon fra vals	19

3.6.3 Oscillasjon.....	20
3.6.4 Dynamisk kompaktering.....	20
3.7 Leverandørens løsninger for asfaltkompaktering	24
3.7.1 Dynapac.....	24
3.7.2 Hamm	33
4 Feltforsøk.....	41
4.1 Generelt.....	41
4.2 Utstyr som ble benyttet under dekkeleggingen.....	44
4.3 AB16	46
4.3.1 Risikoområder fra utlegger.....	47
4.3.2 Målepunkt 30	49
4.3.3 Målepunkt 24	52
4.3.4 Målepunkt 31	55
4.3.5 Målepunkt 25	58
4.3.6 Målepunkt 26	61
4.3.7 Målepunkt 32	63
4.3.8 Målepunkt 27	66
4.4 SKA16.....	69
4.4.1 Risikoområder fra utlegger.....	70
4.4.2 Målepunkt 89	73
4.4.3 Målepunkt 90	76
4.4.4 Målepunkt 91	79
4.4.5 Målepunkt 92	83
5 Diskusjon	87
5.1 Sammenstilling av data	87
5.1.1 Vurdering AB16	87
5.1.2 Vurdering SKA16.....	88
5.1.3 Generelt for kontroll av dekkeleggingen.....	91
5.2 Forslag til krav i konkurransegrunnlag for asfaltkontraktene.....	92
5.3 Optimalisering av dekkekvalitet	92
5.3.1 Entreprenør	92
5.3.2 Valsefører	93
5.3.3 Byggherre	93
6 Konklusjon	95

7 Veien videre.....	97
8 Referanser	99
9 Vedlegg.....	101
Vedlegg 1 – Samlest statistikk AB16 PMB.....	101
Vedlegg 2 – Samlest statistikk SKA16 PMB	101
Vedlegg 3 – Leggerapport AB16 PMB 20.06.2013	101
Vedlegg 4 – Leggerapport SKA16 PMB 11.07.2013.....	101

Liste over figurer

Figur 1 Viser en korngraderingskurve for steinmaterialene i de ulike dekketyperne. Topeka er ikke lenger en aktuell sort å benytte til vegdekker i dag, annet enn at det har vært nyttet til fuktmembran mellom brodekket og asfaltlag. (Ekeli 1996)	4
Figur 2 Viser hvordan asfalten leveres fra trailer, over i en feeder, som så leverer asfalten jevnt frem til utlegger. (Dynapac 2008)	5
Figur 3 Viser en prinsippskisse over hvordan kompakteringsarbeidet kan utføres. (BOMAG 2009).....	6
Figur 4 Viser Hamm sin anbefalte bruk av kompaktering ved gitte temperaturintervall. (Schröder et al. 2008).....	6
Figur 5 Er et eksempel på en grafisk fremstilling for arbeidsområdet kompaktering bør foregå innenfor. (Telle 2012)	8
Figur 6 Viser et røntgenbilde fra en borkjerneprøve. De ulike bildene viser ulike faser av en asfaltblanding. a) Et originalt grått røntgenbilde. b) Hulrom av luft vist som hvitt. c) Filler materiale vist som hvitt. d) Grovere steinmateriale vist i hvitt. (Arambula et al. 2008).....	9
Figur 7 Viser en illustrasjon av en isotopmåler. (Troxler Electronic Laboratories 2009)	12
Figur 8 Viser ulike kompakteringsmetoder (Ekeli 1996)	19
Figur 9 Viser statisk linjelast (Dynapac 2011).....	19
Figur 10 Visualiserer vibrasjoner fra valsetrommelen. (Dynapac 2011)	19
Figur 11 Viser oscillasjonsprinsippet til valsene levert fra Hamm.(Hamm 2014b)	20
Figur 12 Viser en Fourier- transformasjon (Wolfram 2014).....	21
Figur 13 Viser avlesningen av de ulike frekvenser etter en Fourier-transformasjon for CMV. (FHWA 2011).....	22
Figur 14 Viser avlesningen av de ulike frekvenser etter en Fourier-transformasjon for CCV. Dette er avlesninger som gjøres etter hvert som stivheten øker i materialet. (FHWA 2011)	22
Figur 15 Viser hvordan man vurderer nøyaktigheten av Dillution of Precision (DOP). (Poole)	26
Figur 16 Viser operatørskjermen fra en Dynapac DCA-A. (Atlas Copco 2014).....	27
Figur 17 Viser hvordan utstyret er montert på valsen. Vi kan se GPS mottaker montert på taket, operatørskjerm i førerhuset og temperatursensor i front. Dynapac leverer temperatursensor framme og bak på valsen. Operatørskjermen er vist i Figur 16. (Dynapac 2010).....	28
Figur 18 Viser et utklipp hvor det spilles av et opptak med en vals fra Dynapac ved dekkelegging 20.6.2013 på E6.	29
Figur 19 Viser et utklipp med en vals fra Dynapac ved dekkelegging 20.6.2013 på E6. Det vises her temperatur fra første overfart med valsen. Man kan velge mellom å se den estimerte temperatur fra første eller siste overfart.	30
Figur 20 Viser et utklipp med en vals fra Dynapac ved dekkelegging 20.6.2013 på E6. Vi kan her se antall overfarter totalt. Som vist kan man se ønskede parametere som antall overfarter totalt og for overfarter statisk eller med vibrasjon. Man kan velge mellom å se antallet over eller under den angitte minimumstemperatur.	31
Figur 21 Viser et utklipp fra analyseverktøyet til Dynapac etter at deres vals har vært med ved dekkelegging 20.6.2013 på E6. Analyseprogrammet kan utarbeide og vise statistikk over hele dekkeleggingen som har blitt spilt inn.	32
Figur 22 Viser en visualisering av hvordan HMV verdien leses av fra akselerometeret. (Hamm 2014b)	33

Figur 23 Viser hvordan infrarød sensor leser av temperaturen av asfaltens overflate. (Hamm 2014b)	34
Figur 24 Viser displayet hos valseførereren hvor han kan se to parametere til samme tid. Her er det vist antall overfarter og temperatur. (Hamm 2014b)	35
Figur 25 Viser DGNSS mottaker. Denne mottakeren kan bruke satellittsignaler fra amerikanske GPS og russiske GLONASS. (Hamm 2014b)	35
Figur 26 Viser hvordan valsene er koblet sammen og gir nåtidsinformasjon til valseførererne om asfaltens tilstand. (Hamm 2014b)	36
Figur 27 Viser et utklipp fra HCQ under dekkelegging på E6 21.6.2013. Her vises antall overfarter og temperatur på de to hovedvinduene. I midten vises punktanalyse av temperatur ved de respektive overfartene	37
Figur 28 Viser et utklipp fra HCQ under dekkelegging på E6 21.6.2013. Her vises antall overfarter og temperatur på de to hovedvinduene. I midten vises punktanalyse av tetthetsestimering	38
Figur 29 Viser et utklipp fra HCQ under dekkelegging på E6 21.6.2013. Her vises antall overfarter og temperatur på de to hovedvinduene. I midten vises punktanalyse av oppnådde HVM verdier	38
Figur 30 Viser et utklipp fra HCQ under dekkelegging på E6 21.6.2013. Her vises antall overfarter og temperatur på de to hovedvinduene utført med Oscillasjon mellom 20 og 140 °C. I midten vises hvilke filterinnstillinger som kan benyttes	39
Figur 31 Viser Statens Vegvesens hulrommålinger fra dekkeleggingen med AB16	42
Figur 32 Viser Statens Vegvesens hulrommålinger fra dekkeleggingen med SKA16	42
Figur 33 Viser start og slutt på dekkefornyningen med AB16 den 20.6.2013. Kartet er hentet fra vegdata.no. «Inneholder data under norsk lisens for offentlige data (NLOD) tilgjengeliggjort av Statens vegvesen»	43
Figur 34 Viser start og slutt på dekkefornyningen med SKA16 den 11.7.2013. Kartet er hentet fra vegdata.no. «Inneholder data under norsk lisens for offentlige data (NLOD) tilgjengeliggjort av Statens vegvesen»	43
Figur 35 Bilde av vals fra Dynapac som ble nyttet under dekkeleggingen. Foto: Karoline Vaager	44
Figur 36 Bilde av vals fra Hamm som ble nyttet under dekkeleggingen. Foto: Karoline Vaager	45
Figur 37 Grafisk illustrasjon av de ulike typer overfarter fra Tabell 3	46
Figur 38 Statistikk som analyseprogrammet DCA-A utarbeidet for hele dekkeleggingen	47
Figur 39 Utvalgt strekning som ble dekkelagt, med risikoareal markert. (Telle 2013)	47
Figur 40 Viser utleggerens hastighet under dekkeleggingen. (Telle 2013)	48
Figur 41 Viser utvalgte risikoarealer hvor det har vært lassbytter til utlegger. (Telle 2013)	48
Figur 42 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur først overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T _{min} som var satt til 100 °C	49
Figur 43 Viser alle typer overfarter som er utført av valsen fra Hamm mellom 10 og 150 °C. Ruten med punktanalyse i midten angir temperaturen for hver overfart	50
Figur 44 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon	50
Figur 45 Overfarter fra Hamm utført mellom 10 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon	51

Figur 46 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur først overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{min} som var satt til 100 °C.	52
Figur 47 Viser alle typer overfarter som er utført av valsen fra Hamm mellom 10 og 150 °C.....	53
Figur 48 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.	53
Figur 49 Overfarter fra Hamm utført mellom 10 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.	54
Figur 50 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur først overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{min} som var satt til 100 °C.	55
Figur 51 Alle typer overfarter som er utført av valsen fra Hamm mellom 10 og 150 °C.	56
Figur 52 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.	56
Figur 53 Overfarter fra Hamm utført mellom 10 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.	57
Figur 54 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur først overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{min} som var satt til 100 °C.	58
Figur 55 Alle typer overfarter som er utført av valsen fra Hamm mellom 10 og 150 °C.	59
Figur 56 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.	59
Figur 57 Overfarter fra Hamm utført mellom 10 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.	60
Figur 58 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur først overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{min} som var satt til 100 °C.	61
Figur 59 Alle typer overfarter som er utført av valsen fra Hamm mellom 10 og 150 °C.	61
Figur 60 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.	62
Figur 61 Overfarter fra Hamm utført mellom 10 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.	62

Figur 62 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur først overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{min} som var satt til 100 °C.	63
Figur 63 Alle typer overfarter som er utført av valsen fra Hamm mellom 10 og 150 °C.	64
Figur 64 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.	64
Figur 65 Overfarter fra Hamm utført mellom 10 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.	65
Figur 66 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur først overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{min} som var satt til 100 °C.	66
Figur 67 Alle typer overfarter som er utført av valsen fra Hamm mellom 10 og 150 °C.	67
Figur 68 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.	67
Figur 69 Overfarter fra Hamm utført mellom 70 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.	68
Figur 70 Overfarter fra Hamm utført mellom 10 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.	68
Figur 71 Grafisk illustrasjon av de ulike typer overfarter fra Tabell 4.	69
Figur 72 Statistikk som analyseprogrammet har utarbeidet fra hele dekkeleggingen.	70
Figur 73 Utvalgt strekning som ble dekkelagt, med risikoareal markert. (Telle 2013)	70
Figur 74 Utleggerens hastighet under dekkeleggingen. (Telle 2013).....	71
Figur 75 Utvalgt risikoareal hvor det har vært lassbytter til utleggeren. (Telle 2013).....	71
Figur 76 Resterende utvalgte risikoområde hvor det har vært lassbytter til utleggeren. (Telle 2013)	72
Figur 77 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur først overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{min} som var satt til 100 °C.	73
Figur 78 Alle typer overfarter som er utført av valsen fra Hamm mellom 10 og 150 °C.	74
Figur 79 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.	74
Figur 80 Overfarter fra Hamm utført mellom 10 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.	75
Figur 81 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur først overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter	

både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{min} som var satt til 100 °C.	76
Figur 82 Alle typer overfarter som er utført av valsen fra Hamm mellom 10 og 150 °C.	77
Figur 83 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon. 77	
Figur 84 Overfarter fra Hamm utført mellom 10 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon. 78	
Figur 85 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur først overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{min} som var satt til 100 °C.	79
Figur 86 Alle typer overfarter som er utført av valsen fra Hamm mellom 10 og 150 °C.	80
Figur 87 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon. 80	
Figur 88 Vibrasjoner mellom 70 og 80 °C. Bildet til venstre viser antall overfarter, mens venstre bildet angir temperaturen ved siste overfart.	81
Figur 89 Overfarter fra Hamm utført mellom 10 og 70 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon. 81	
Figur 90 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur først overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{min} som var satt til 100 °C.	83
Figur 91 Alle typer overfarter som er utført av valsen fra Hamm mellom 10 og 150 °C.	84
Figur 92 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon. 84	
Figur 93 Overfarter fra Hamm utført mellom 10 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon. 85	

Liste over tabeller

Tabell 1 Viser Figur 631.3 fra Hb 018. Det spesifiseres her nærmere krav som settes til temperatur med tanke på produksjon og initialtemperatur ved utlegging. (Statens Vegvesen 2011).....	13
Tabell 2 Figur 631.4 fra Håndbok 018. Viser toleranser, hulromsprosent og komprimeringsgrad som må oppnås for de respektive dekketyperne.....	14
Tabell 3 Oversikt over de avleste data fra utvalgte målepunkter med SKA16. Tabellen angir målepunktene, deres plassering med kilometerverdi, hulrominnhold, definerte risikosoner i rapport fra Telle, samt en grovt avlest hastighet på utlegger i områdene hvor målepunktene befant seg. Overfarter samlet er oppsummert fra begge leverandører. Overfarter Hamm ble filtrert ut og sortert for seg da dette var mulig hos denne leverandøren. Målepunkt 26 og 27 hadde godkjent hulrom og er markert i grønt.	46
Tabell 4 Oversikt over de avleste data fra utvalgte målepunkter med SKA16. Tabellen angir målepunktene, deres plassering med kilometerverdi, hulrominnhold, definerte risikosoner i rapport fra Telle, samt en grovt avlest hastighet på utlegger i områdene hvor målepunktene befant seg. Overfarter samlet er oppsummert fra begge leverandører. Overfarter Hamm ble filtrert ut og sortert for seg da dette var mulig hos denne leverandøren. Målepunkt 89 og 91 hadde godkjent hulrom og er markert i grønt.	69

Liste over forkortelser

- CCC - Continuous Compaction Control
- CMV - Compaction Meter Value
- CCV - Compaction Control Value
- DCA-A - Dynapac Compaction Analyzer for Asphalt
- DGNSS - Differential Global Navigation Satellite System
- Evib - E-modul målinger av målte vibrasjoner fra leverandøren BOMAG
- FHWA - Federal Highway Administration
- Fiber - Laget av eksempelvis cellulose
- Filler - Steinmateriale med kornstørrelse < 0,063 mm
- GPS - Global Positioning System
- HCM - Hamm Compaction Meter
- HCQ - Hamm Compaction Quality
- HDOP - Horizontal Dilution of Precision
- HVM - Hamm Meter Value
- HTM - Hamm Temperature Meter
- IC - Intelligent Compaction
- ICMV - Intelligent Compaction Measurement Value
- NTNU - Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
- PMB - Polymer – modifisert bitumen
- RTK GPS - Real Time Kinematic GPS
- UTM - Universal Transverse Mercator

1 Innledning

1.1 Målsetting

Bakgrunnen for temaet som er valgt er å kunne oppnå en lengre levetid på vegene i forbindelse med dekkelegging. Dersom vi kan oppnå en redusert nedbrytning av veiene våre, vil flere av de avsatte midlene til vegbygging kunne nyttes bedre.

Kompaktering av asfalt er et arbeid som påvirkes av mange parametere. Da særlig materialkvalitet, klimatiske forhold, valsenes egenskaper og valseførerens kompaktering av massene.

Det en ønsker å få innsikt i med denne oppgaven er å se hvordan vi i Norge kan nyttegjøre oss av kontinuerlig kompakteringskontroll. Dagens kontroll avhenger av at kontrollingeniøren har godt og trent syn i å velge ut de partier hvor kvaliteten er dårlig.

Det har tidligere blitt skrevet en masteroppgave innenfor emnet kontinuerlig kompakteringskontroll (CCC) av Marit Fladvad i 2012, da hun var student ved NTNU. Hun tok da for seg bruk av kompakteringskontroll i forhold til granulære materialer. Denne oppgaven vil fokusere på nytten av kompakteringskontroll ved dekkelegging av asfalt.

Dersom kontinuerlig kompakteringskontroll skal være aktuell, må den nye teknologien medføre at man kan utføre kontrollen raskere og enklere enn det som gjøres i dag.

Teknologien skal være et dokumentasjonsverktøy som gir en oversikt over hele kompakteringsarbeidet.

1.2 Problemstilling

Denne oppgaven har som formål å kunne belyse hvordan nye kontrollmetoder for kompakteringskontroll kan benyttes for norske forhold.

Opgaven er derfor definert med følgende problemstilling:

- Kan kontinuerlig kompakteringskontroll være et egnet verktøy for å kunne dokumentere at asfaltarbeider er utført i henhold til kontrakt?
- Kan IR-skanninger være en parameter som en del av kontinuerlig kompakteringskontroll?
- Hvilke krav er fornuftig å stille for å kunne si om kompakteringen er utført godt nok?

1.3 Fremgangsmåte og struktur

Problemstillingen denne oppgaven tar for seg, vil bli forsøkt besvart ved en beskrivelse av teori og analyse av ulike kontrollmetoder for dekkelegging av en strekning på E6 ved Jessheim. Oppgaven vil først søke å belyse de teoretiske forutsetninger for asfalt og viktigheten i kompaktering av denne. Videre vil en beskrivelse av dagens kontrollmetoder i inn og utland bli beskrevet. Forsøk på bruk av kontinuerlig kompakteringskontroll vil så bli beskrevet. En avsluttende del av det teoretiske grunnlaget vil søke å gi en forståelse av de ulike kontrollmetoder som leverandørene tilbyr per i dag. Dette grunnlaget vil underbygge analysen av de ulike kontrollmetoder som er nyttet under dekkeleggingen på E6. Analysen vil så oppsummere kontrollmetodene og gi anbefalinger til krav i fremtidige kontrakter ved dekkelegginger. Avslutningsvis gis det en konklusjon og anbefaling for videre arbeid innenfor fagfeltet.

1.4 Oppgavens begrensninger

Det ble ikke tatt ut borkjerneprøver fra forsøksfeltet som skulle analyseres. Dette grunnet at tidspunktet for masteroppgaven gjorde at dette ikke var praktisk mulig. Dette medførte at en i analysen av arbeidet som ble gjort, kun har forholdt seg til isotopmålinger og entreprenørens data fra valsene.

Utvalget ble noe begrenset da det ikke forelå data fra begge valser på alle målepunkter.

2 Teori

2.1 Asfalt

Asfalt er en homogen blanding av steinmaterialer og bitumen, med tilsetningsstoffer for å bedre asfaltens egenskaper. Steinmaterialene er tilslag til asfalten og utgjør ca. 95-vektprosent av asfaltdekket. Bitumen er den tyngste delen etter destilleringen av råolje ved oljeraffineriene. Man kan også si at bitumenet er de største molekylene eller langkjedede hydrokarbonene i oljen.

Bitumenet er et bindemiddel som binder steinmaterialene sammen. Dets egenskaper slik som viskositet endrer seg med temperaturen. Men hvor mye den endrer seg avhenger av stivhetsgraden i bindemiddelet. Viskositeten beskriver motstandsevnen mot deformasjon for væsker. Det er typisk at bitumenet blir sprøere med årene grunnet oksidasjon.

I Norge baseres valget av asfaltens egenskaper med parametere som ÅDT(Årsdøgntrafikk), hastighetsnivå (rullende, stillestående), klima (temperatur, nedbør), sted (i eller utenfor tett bebyggelse – støy/støv, bruk av piggdekk). Veiens tilstand og bæreevne er også viktig. En myk vei bør også benytte et mykt bindemiddel.

Disse parameterne ender opp med en utarbeidelse av en arbeidsresept. Tidligere erfaringer og laboratorieundersøkelser fastsetter proporsjoneringen som asfalten skal settes sammen til. Sammensetningen er gitt ved en kornfordeling innenfor grensekurver, grenseverdier for bindemiddelinhold og ved angivelse av type bindemiddel.

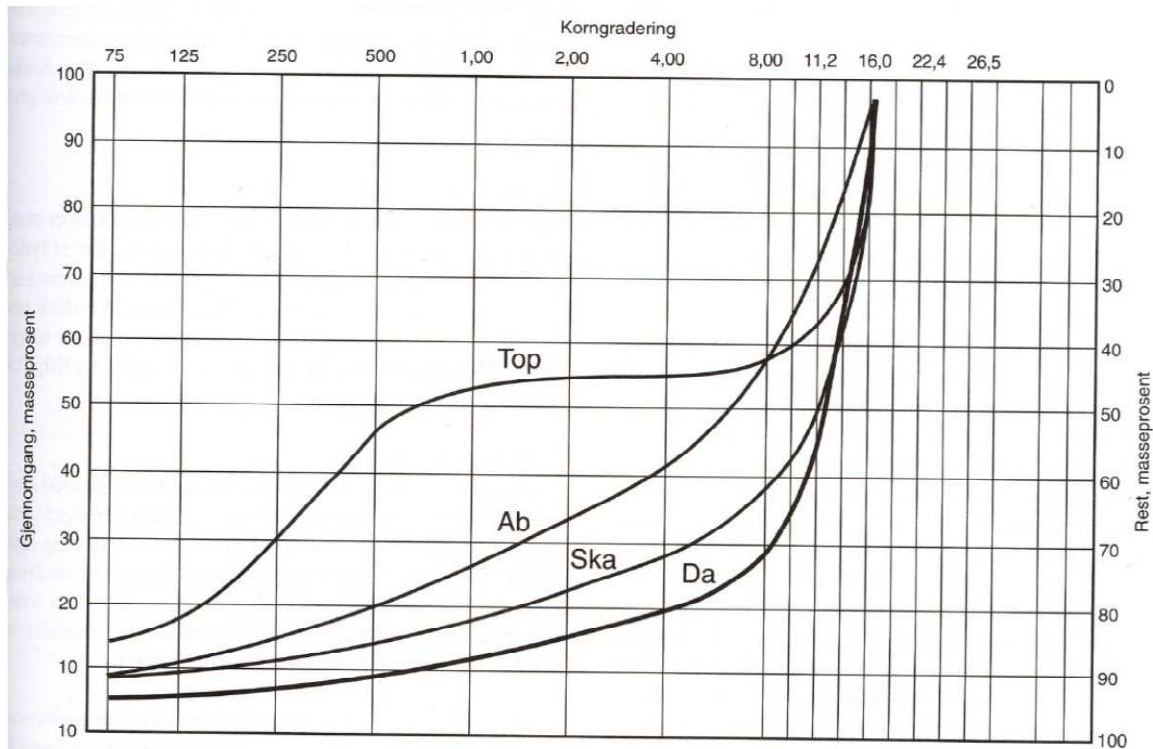
Bruken av steinmaterialene i tilslaget for asfalt gjøres ved å analysere kornform, korngradering og mekanisk styrke. Mekanisk styrke gir krav til nedknusingsmotstand (Los Angeles-verdi), motstandsevne mot piggdekkslitasje (Mølleverdi), flisighetsindeks (FI) og knusningsgrad C.

Der hvor mørtelen eller finstoffdelen i asfalten ikke har tilstrekkelig med filler, må dette tilsettes på asfaltverket. Dette for å sikre at asfalten får en god vedheft mellom tilslaget og bitumenet. Det er vanlig og kun tilsette kalk og kalles fremmedfiller. Kalk har også den evnen at den motvirker oppherding (oksidasjon) av bindemiddelet. Ved å utstette herdingen, forlenger man dekkets levetid.

Dersom tilslaget har en sammensetning av surt steinmateriale, vil det kunne være vanskelig å få en god vedheft mellom tilslag og bitumen. En høy surhetsgrad innebærer at steinoverflaten vil være negativt ladet. Ved å tilsette amin i bitumenet økes den positive ladningen og vedheftet mellom bindemiddel og tilslag vil bedre seg. Andre tilsetninger kan være sement, fettsyre og kalk.

En annen faktor som er avgjørende for god vedheft, er at vann ikke er tilstede i blandingen. Vann har den egenskapen at den lettere hefter seg til overflaten av steinen enn det bitumenet gjør. Dette løses ved å tørke steinmaterialene før miksing på asfaltverket og ved bruk av vedheftingsmiddel. Men man vil aldri klare å bli kvitt vannet helt.

Ved veier som har en høy trafikkmengde vil det være nødvendig med et dekke som har en god motstand mot slitasje. Det kan da være aktuelt å bruke skjelettasfalt. Den ønskede økningen av slitajemotstand og stabilitet gjør at dekketyper har en høy andel av grove steinmaterialer samt bindemiddel og filler. Det vil da være nødvendig å tilsette fiber for å hindre separasjon og bindemiddelavrenning i tilslaget.



Figur 1 Viser en korngraderingskurve for steinmaterialene i de ulike dekketyper. Topeka er ikke lenger en aktuell sort å benytte til vegdekker i dag, annet enn at det har vært nyttet til fuktmembran mellom brodekket og asfaltlag. (Ekeli 1996)

Man kan optimalisere asfalten for å oppnå de ønskede egenskaper for steinmaterialer og bitumen, som munner ut i en arbeidsresept. For å bedre asfaltens ytelser vil det være aktuelt å nytte ett polymer - modifisert bitumen (PMB). PMB bidrar til å holde steinmassen på plass. De forbedringer man oppnår i dekket er redusert sporutvikling (deformasjon), mindre utmatting og lavtemperaturoppsprekking, bedre motstand mot kjemikalier og aldring. Endringene man gjør gir en økning i mykningspunkt og viskositet, redusert penetrasjon og et lavere Fraas bruddpunkt. Den økte levetiden man oppnår fra en dekkelegging med PMB vil kunne forsvare de økte kostnadene det innebærer med modifiseringen.

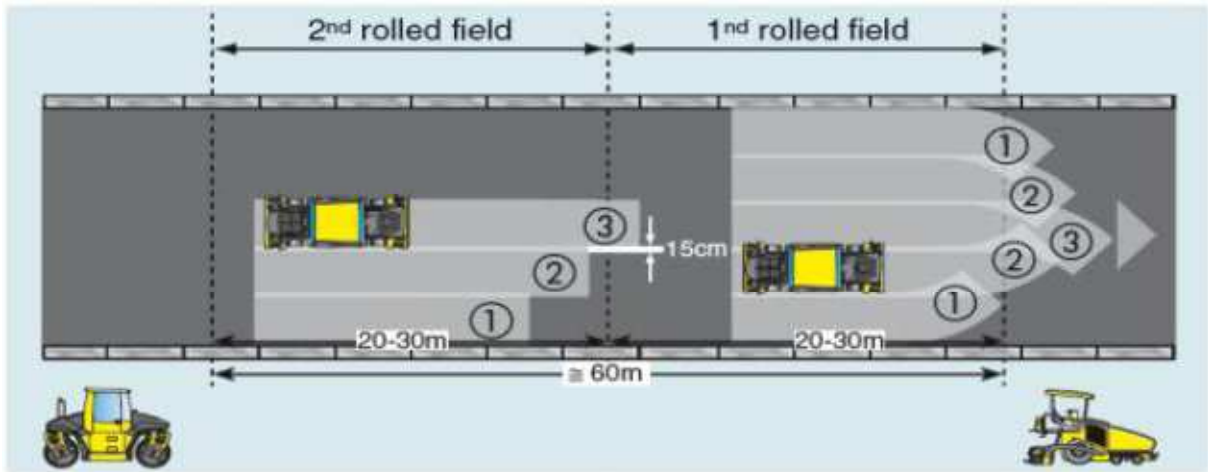
2.2 Dekkeleggingen

Asfaltreseptene produseres i en asfaltfabrikk før den transporteres ut til leveransstedet. Er det snakk om en dekkefornying vil det være aktuelt å planfrese, eventuelt legge et opprettingslag for å få veien jevnst mulig før nytt dekke legges ut. Når det er trauet ut og rengjort etter fresingen, vil man sprøyte på asfaltlim (Bitumenemulsjon) for å sikre at man får en god vedheft mellom underlaget og nytt dekke.

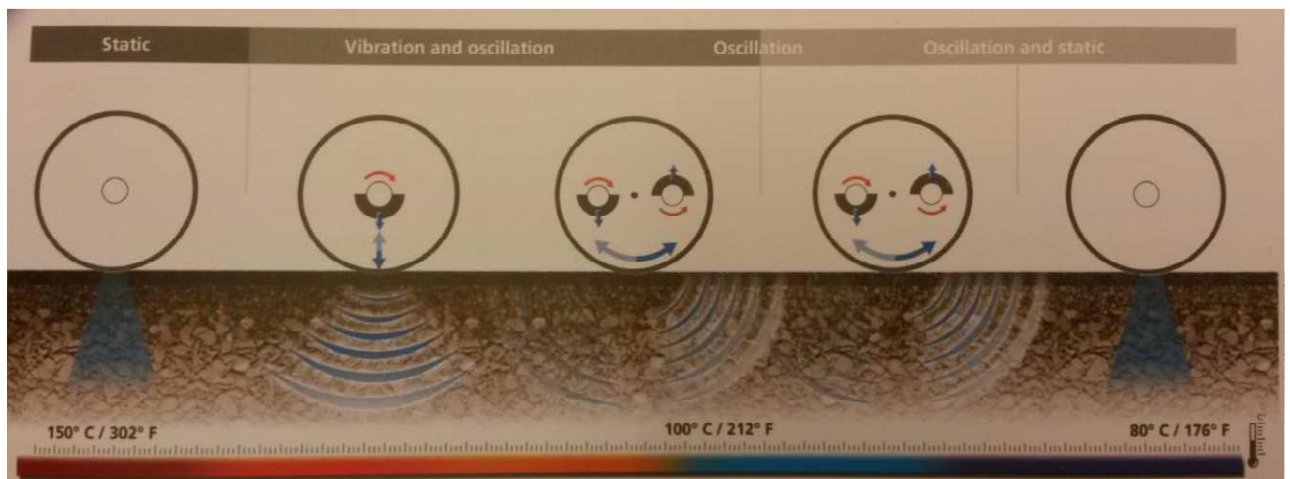
Figur 2 viser hvordan asfalten mottas og leveres til utleggeren som legger dekket. Asfalten leveres normalt direkte til utleggeren, med det kan også leveres via en feeder som man ser i midten på figur 2. Feederen har til hensikt å levere asfalt jevnt til utleggeren, slik at denne får færrest mulig stans. Utleggeren skal normalt ha en hastighet på 4-5 m/min.



Figur 2 Viser hvordan asfalten leveres fra trailer, over i en feeder, som så leverer asfalten jevnt frem til utlegger. (Dynapac 2008)



Figur 3 Viser en prinsippskisse over hvordan kompakteringsarbeidet kan utføres. (BOMAG 2009)



Figur 4 Viser Hamm sin anbefalte bruk av kompaktering ved gitte temperaturintervall. (Schröder et al. 2008)

2.2.1 Valsing

Som vist i Figur 3 har leverandøren Bomag gitt et eksempel på hvordan valsene skal bearbeide asfalten etter utleggeren. Valsene bør ligge så tett på utlegger som mulig for å ha mest mulig tid til rådighet for kompaktering av dekket. Fremste vals etter utlegger kompakterer asfalten først statisk, deretter med vibrasjon. Andre vals fortsetter dette arbeidet, og gjør finpussen av kompakteringen. Et eksempel på hvordan asfalten bearbeides innenfor gitte temperaturintervall er vist i Figur 4. Det viktigste arbeidet gjøres av fremste vals, da den setter premissene for lukking og pakking av asfaltdekket. Den statiske kompakteringen som gjøres først er fordelaktig fordi man lukker overflaten, noe som begrenser varmetapet i asfaltmassen. Dette forlenger tiden man har til rådighet for å kompaktere dekket.

Generelt er det en tommelfingerregel at valsen bør kompaktere dekket først med minimum fire overfarer med god overlapping bakover og tre til fire overfarer med forsiktig vibrering (lav amplitude). (Ekeli 1996)

Hamm oppgir at en typisk hastighet på valsen når man bearbeider asfalt ligger mellom tre til seks km/t. (Schröder et al. 2008)

Den drivende valsetrommel skal normalt være nærmest utlegger, gitt at det ikke er for bratt terreng. Det er viktig at tromlene holdes fuktig med vann, for å unngå at asfalten fester seg til trommelen. Tilført vannmengde må ikke bli for høy da dette kan bidra til unødig nedkjøling av dekket. Mer om hvordan valsene bearbeider asfalten vil bli omtalt i kapittel 3.6 Kompaktering med vals.

Asfaltens bearbeidbarhet er temperaturavhengig. Dette innebærer at asfalten bør bearbeides innenfor gitte temperaturintervall. Kompakteringen bør ikke foregå under det definerte mykningspunkt til asfaltreseptens bindemiddel. Et eksempel på dette er vist i Figur 5. For å få en indikasjon på hvor god kompakteringen har vært, måler man hulrom i asfalten. En indikasjon på et hulrom kan man få ved å gjøre isotopmålinger, men en endelig bekreftelse oppnås bare ved å hente ut borkjerneprøver og gjøre laboratorieforsk.

2.2.2 Hulrominnhold

Hulrominnhold defineres av vegvesenet som:

«Med hulrominnhold menes den volumprosent av dekket som ved en temperatur ved 25 °C ikke er fylt av steinmateriale eller bitumen. »

(Statens vegvesen 2007, nr. 14.564)

Hulrommet som oppnås, er målt opp i mot en kompakteringsprøve i laboratoriet også kalt Marshall - metoden. Kompaktdensiteten man oppnår med Marshall - metoden er en ideell tetthet som oppnås basert på erfaringer av ønskede kvaliteter i asfalten.

Hulrommet som det stilles krav om i HB 018 er den oppnådde endringen i prosent som stilles for at en har oppnådd en tilfredsstillende kompakteringsgrad. Marshall – kravet som stilles, er et sovende krav og vegvesenet fokuserer på hulrommet.

Asfaltfabrikkene produserer asfalten etter standardiserte krav for de massetyperne som skal utarbeides. Spesifikasjonene gjelder innenfor CE - godkjenningen i Europa. Resepten produseres med tillatte variasjoner. Asfaltfabrikken vil kunne ha noen avvik opp i mot den massen som faktisk leveres ut. Variasjonene som oppstår vil være vanskelig å unngå, da det eksempelvis i tilslaget vil være variasjoner i de ulike kornstørrelser og sammensetning av disse. Den teoretiske densitet som man benytter som referansekilde er derfor ønskelig at man måler ut ifra samme sats som legges ute. Dette vil gi et mer riktig bilde av det ønskede hulrom man vil oppnå.

Hulrominnholdet kan beregnes etter følgende formel:

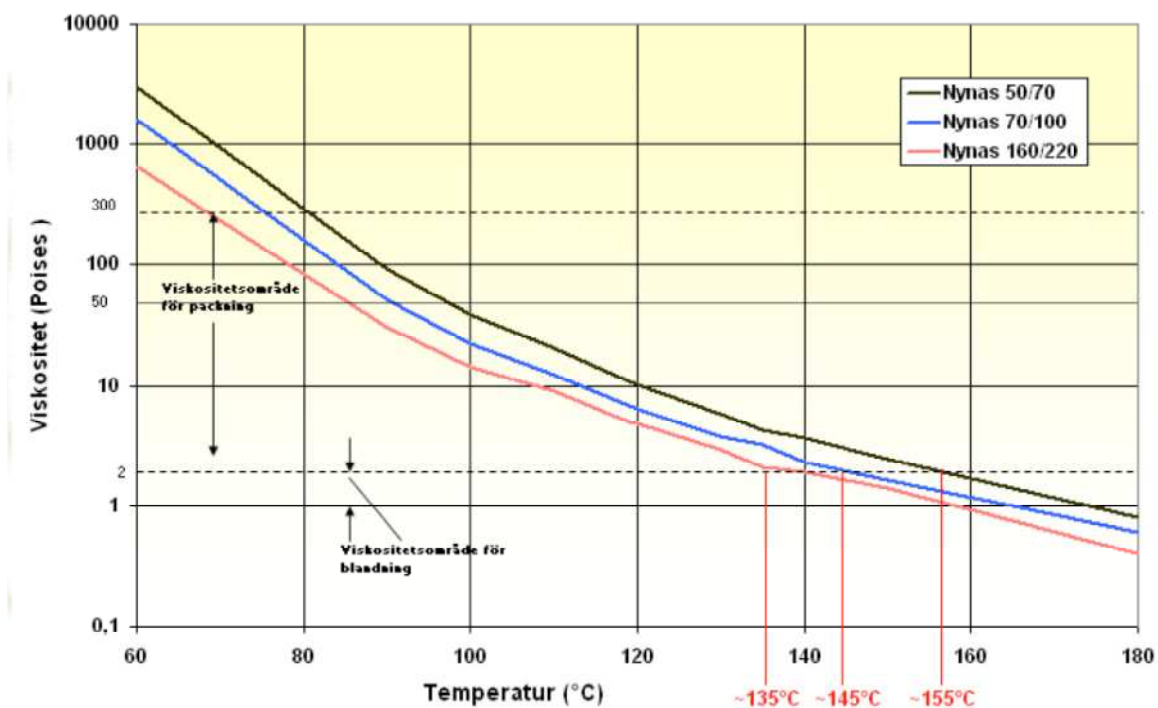
$$V_0 = \frac{\rho_{s(maks)} - \rho_d}{\rho_{s(maks)}} * 100$$

Hvor:

V_0 = hulrommet i prosent

$\rho_{s(maks)}$ = prøvens maksimum densitet, eller ideelle tetthet målt i samme sats som lagt dekke.

ρ_d = prøvens densitet



Figur 5 Er et eksempel på en grafisk fremstilling for arbeidsområdet kompaktering bør foregå innenfor. (Telle 2012)

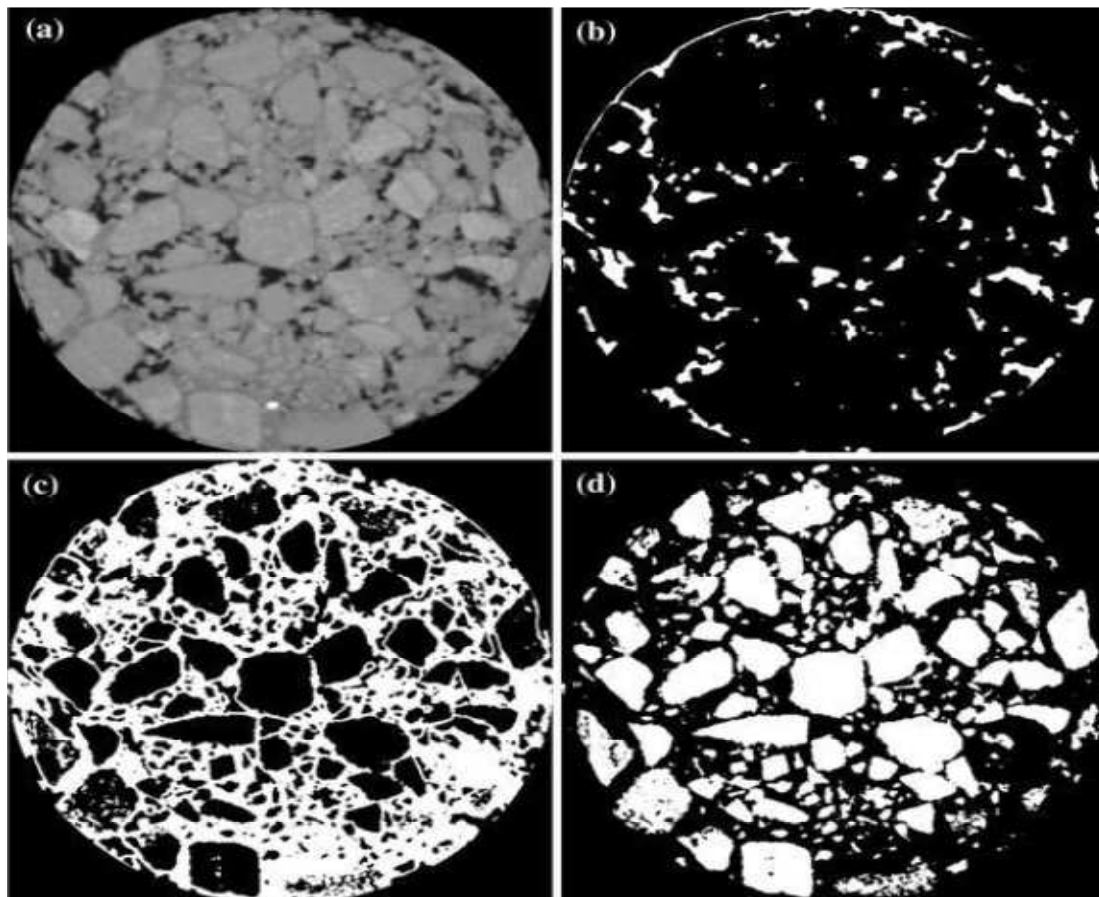
2.2.3 Bearbeiding av asfalt

Som tidligere nevnt er asfalten temperaturavhengig når den bearbeides. Vi ønsker og kompaktere asfalten, fordi en økt tetthet gjør at den tåler mer belastning og levetiden forlenges. Blir asfaltens temperatur for lav, blir den gjerne for stiv til å kunne oppnå et ønsket hulrom. Dette innebærer at hulrommet blir for stort, og det er en risiko for nedknusning av steinmaterialene i asfalten. Et for stort hulrom kan føre til at dekket får redusert slitestyrke, etterkompaktering, sporutvikling og steinslipp med hulldannelse som resultat. Er ikke kompakteringen tilstrekkelig utført, vil det også medføre en økt oksidasjon av bindemiddelet. Disse faktorene vil igjen medføre at behovet for dekkefornyng må gjennomføres tidligere enn nødvendig, med de ekstra kostnader dette innebærer.

Blir asfalten overkompaktet, innebærer det at man har bearbeidet asfalten for mye. Man risikerer da blødninger og ujevnheter i asfalten. Massen vil også kunne bli ustabil. Hvis massen i seg selv er riktig proporsjonert, vil dette sjelden forekomme.

Bitumenfylt hulrom beskriver hvor godt proporsjonert asfalten er i forholdet mellom tilslag og bitumen. Dersom det er godt proporsjonert vil man sikre at steinskjellet er lukket, noe som vil øke holdbarheten av dekket. Dette fordi luft ikke kommer til og oksiderer bitumenet, og vann får ikke mulighet til å jobbe. Det er viktig at det ikke er tilsatt for mye bindemiddel. Er bindemiddelandelen for høy vil man risikere at asfalten blir ustabil. En vil også kunne risikere at asfalten blir overkompaktet etter kun en til to overfarer med valse.

Det er også viktig å merke seg at asfalten ikke må varmes opp for mye, da dette herder asfalten og vil senke dens levetid fordi dekket blir stivt og sprøtt. For høy temperatur er også ugunstig for de som arbeider med dekkeleggingen, da avgasser fra arbeidet kan føre til helseplager.



Figur 6 Viser et røntgenbilde fra en borkjerneprøve. De ulike bildene viser ulike faser av en asfaltblanding. a) Et originalt grått røntgenbilde. b) Hulrom av luft vist som hvitt. c) Filler materiale vist som hvitt. d) Grovere steinmateriale vist i hvitt. (Arambula et al. 2008)

2.2.4 Fagmessig utførelse

Et godt resultat av dekkeleggingen avhenger av at det er gjort en god fagmessig utførelse i alle ledd. Dette innebærer at man ved tilvirkning på asfaltverket sikrer en riktig proporsjonering av asfaltmassene og sørger for at massene har en homogen blanding ved lagring.

Under transportfasen fra verket og til anlegg har sjåføren et stort ansvar. Ved pålasting fra siloene til planet bør han fordele lasten lagvis. Da typisk med lasting i rekkefølgen fremst, bakerst og i midten. Når sjåføren transporterer lasten må han sikre at temperaturen opprettholdes best mulig. Ved avlasting bør dette gjøres så rolig som mulig. Disse momentene ved på- og avlasting er viktig for å unngå at man får separasjon av tyngre og lettere materiale i asfalten.

Videre er det viktig at utlegger har en jevnest mulig fremdrift med færrest mulig stans. Dette fordi man i områdene med stans lettere får risikoområder hvor dekkeleggingen får dårligere kvalitet. Det er også viktig at screeden er riktig justert, at det er riktig mengde materiale i skruen og at man forlenger skruen når dette er nødvendig.

Ved kompaktering er det viktig at valsene får det tilstrekkelig antallet overfarter som man minimum må ha, innenfor de gitte temperaturintervall. Ellers får det de konsekvenser som tidligere nevnt over.

Det er viktig at entreprenøren nøye vurderer de klimatiske forhold før, under og etter arbeidet. Dette fordi lav utetemperatur, nedbør og spesielt vindforhold raskt senker asfaltens temperatur. Det vil da bli vanskeligere å oppnå en god dekkelegging og direkte påvirke hvor mye tid man har til rådighet for kompaktering. En større tykkelse på asfalten vil kunne være en hjelp for å øke tiden man har til rådighet for kompaktering.

3 Metode

3.1 Generelt

Statens vegvesen har et innarbeidet system for hvordan kontrollen av dekkeleggingen skal gjennomføres. Håndbok 018 spesifiserer hvilke dekketyper som kan velges når og hvilke krav som skal oppfylles til selve dekkelegging og utførelse. Håndbok 014 beskriver utførelsen av de ulike laboratorieanalyser, mens Håndbok 015 beskriver hvordan feltforsøk og prøvetaking skal gjennomføres. Teknologisk rapport nr.2505 – Reseptorienterte asfaltkontrakter beskriver hvordan kontroll og dokumentasjon til dekkeleggingen skal utføres.

Dette tar utgangspunkt i at vegvesenet som byggherre bestiller et ferdig lagt dekke basert på en asfaltresept med utgangspunkt i de ulike dekketyper fra Håndbok 018. Dette kalles en reseptorientert kontrakt eller også kalt enhetspriskontrakt. Dette gjøres vanligvis opp etter per tonn lagt asfalt. Oppgjør skjer like etter kontraktsavslutning. Arbeidet kontrolleres under dekkeleggingen hvor det følger en reklamasjonsperiode i etterkant. Avdekkes det mangler kan entreprenøren enten utbedre mangelen eller trekkes for dårlig utførelse.

En annen tilnærming som har vært brukt er funksjonskontrakter hvor en entreprenør garanterer for hvor stor sporutviklingen skal være. Entreprenøren må da bestemme kvaliteten på asfaltdekket, og utførelse av dekkeleggingen. Tanken er at entreprenøren belønnes for å oppnå et godt dekket, men trekkes hvis den ikke tilfredsstiller sin egen garanti mot sporutvikling. Vegvesenet er også i ferd med å utvikle kontrakter med fokus på andre parametere enn spor. Dette kan være jevnhet på langs og hulrom.

3.2 Kontroll

Når byggherren gjennomfører sine kontroller skjer dette som en rettet stikkprøvekontroll. Kontrollingeniøren leter da aktivt etter svake punkt i dekket. Kontrollen gjennomføres i utleggerbredde. I praksis vil kontrollen gjennomføres fra skjøt og med 200 meters parseller utover. Kompakteringen evalueres og man får trekk av kontraktsummen der det er avvik.

Avdekking av dårlig kompaktering forutsetter en dyktig kontrollør. Kontrolløren må ha et trenet øye for å kunne se seg ut de områdene av dekket som må evauleres nøyere. Typiske områder hvor det er en forhøyet risiko er ved lassbyttesoner og i skjøter. Dette gjelder både langsgående og ende/dags-skjøter. I tillegg er det av interesse å kontrollere nøyere der hvor det har vært en lengre stans på utlegger eller vals.

Disse partiene er særlig utfordrende da det gjerne ved lassbyttesoner kan medføre lavere temperatur og dårligere homogenitet i massen når det leveres et nytt parti. En lavere temperatur kan komme seg av at utlegger står for lenge i ro eller at den leverte massen ikke har en høy nok temperatur i utgangspunktet. Temperaturen vil da typisk være lavere i ytterkant av det leverte lasset enn i midten. Homogeniteten i massen vil kunne bli dårligere, da en ny leveranse river med seg tyngre steiner som har separert seg i utleggers traue og man vil få en forhøyet ansamling av masse

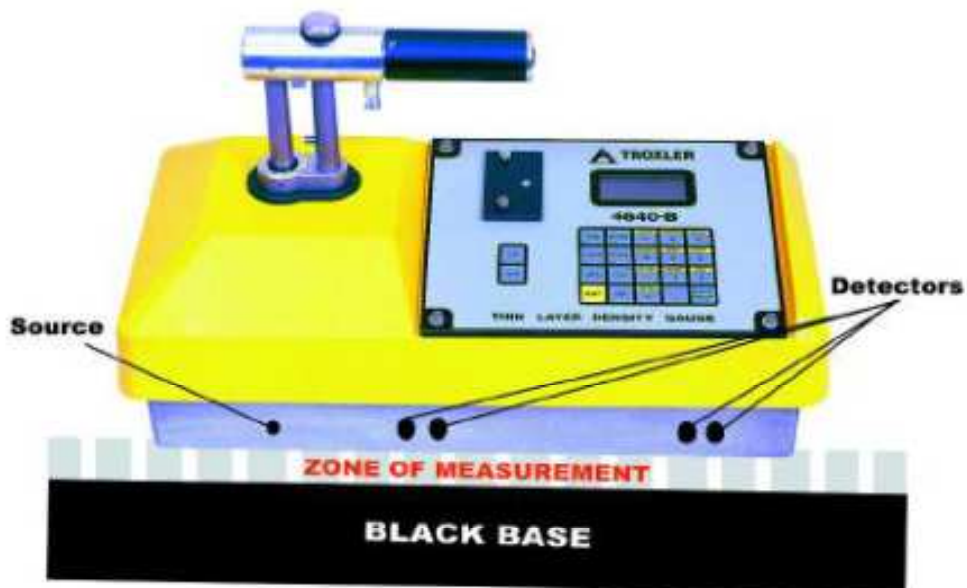
med grovt tilslag i starten av utleggingen. Dersom ikke leveransen fra asfaltverket fordelt lagvis som tidligere nevnt vil man ha en utfordring med tanke på homogenitet der også.

I forhold til skjøter vil det være ulike utfordringer. Et dekke legges gjerne inntil et eksisterende dekke. Dette medfører at man gjerne får et ekstra stort varmetap inntil det kalde dekket. Kompakteringen i spesielt langsgående skjøt bør derfor utføres så raskt som mulig og følges opp. En annen utfordring i de langsgående skjøtene er å få lagt dekket i tilstrekkelig høyde slik at man får kompaktert det nylagte dekket ned til samme høyde som det eksisterende dekket. Man vil ellers kunne få problem med at en ikke får kompaktert området inn mot skjøt da de nylagte dekket blir for lavt. Et resultat av dette vil kunne være et for høyt hulrom.

Ende- og dagskjøter vil også ha mye av samme problematikken, men der er det også viktig at man etterser en god avslutning med en ren og fin avslutning. En god og tett sammenføyning av gammelt og nytt dekke med tilstrekkelig klebing vil sørge for at levetiden på dekket forlenges betraktelig.

Der hvor det har vært stans på vals eller utlegger vil man måtte kontrollere ekstra nøye. Varmetapet man gjerne får under stansen medfører at dekket kan bli vanskelig å få kompaktert tilstrekkelig.

Når kontrolløren velger ut de partiene som kan ha en utfordring i forhold til kompakteringen vil han kunne nytte en isotopmåler som vist på figur 7. Isotopmåleren vil gi en indikasjon på om hulrommet er tilstrekkelig. Både et tilstrekkelig oppnådd hulrom og at variasjonen av det målte hulrom er av interesse. Dette med bakgrunn i at begge deler kan indikere at det er utfordring i forhold til homogenitet i massen og kompakteringen av denne.



Figur 7 Viser en illustrasjon av en isotopmåler. (Troxler Electronic Laboratories 2009)

Der kontrolløren får disse indikasjonene, vil det bli tatt ut borkjerneprøver. Disse vil bli analysert i laboratoriet, hvor man vil få en endelig avklaring på dekket i det utvalgte området. Prøven som tas er vanligvis en 10 cm prøve, som vil kunne si noe om dekkets hulrom og densitet. Ellers tas det vanligvis boksprøver av massen før utlegging. Disse brukes til å angi korngradering og bindemiddelinhold av massen.

Utfordringen i denne type kontroll er at man bare vil kunne si noe om området akkurat der disse målingene tas, men vil ikke kunne fortelle noe om hvordan tilstanden til det resterende dekket egentlig er.

Tabell 1 Viser Figur 631.3 fra Hb 018. Det spesifiseres her nærmere krav som settes til temperatur med tanke på produksjon og initialtemperatur ved utlegging. (Statens Vegvesen 2011)

		Bindemiddelgrad							
		35/50	50/70	70/100	100/150	160/220	250/330	330/430	
Støpeasfalt, Sta	Produksjon og legging °C	200 - 240 ¹⁾	190 - 230 ¹⁾						
Topeka, Top	Produksjon, maks. °C	205	190	175					
	Produksjon, anbefalt °C	190	180	170					
	Utlegging, min. °C	165	155	145					
Temperaturrenser		Min Maks	Min Maks	Min Maks	Min Maks	Min Maks	Min Maks	Min Maks	Min Maks
Skjelettasfalt, Ska	Produksjon °C	160 200	150 190	140 180	130 170	130 170			
	Utlegging °C	150	140	130	125	120			
Asfaltbetong, Ab	Produksjon °C		140 180	140 180	130 170	130 170			
	Utlegging °C		140	130	125	120			
Tynndekker, T	Produksjon °C	160 200	150 180	140 180					
	Utlegging °C	150	140	130					
Drensasfalt, Da	Produksjon °C			140 170		130 160			
	Utlegging °C			105		100			
Asfaltgrusbetong, Agb	Produksjon °C					130 170	120 160	120 160	
	Utlegging °C					120	115	110	
Asfallert grus, Ag	Produksjon °C		140 180	140 180	130 170	130 170	120 160	120 160	
	Utlegging °C		140	130	125	120	115	110	
Asfallert puk, Ap	Produksjon °C			125 140		120 135		105 120	
	Utlegging °C			120		110		90	
		Bindemiddelgrad							
Dekketype		V1500	V3000	V6000	V12000				
Mykasfalt, Ma	Produksjon °C	85 - 105	90 - 110	100 - 120	110 - 130				
	Utlegging, min. °C	75	80	90	100				

Som vist i tabell 1 har Statens vegvesen satt krav til hvilke temperaturområder man skal produsere og bearbeide asfalten innenfor. Vi kan se at det er en sammenheng mellom nødvendig temperatur under produksjon og utlegging avhengig av asfaltens stivhet og mykningspunkt. Det er ikke spesifisert av vegvesenet den laveste temperaturen et dekke bør kompakteres ned til. Figur 4 kan gi et bilde på en slik nedre grense. Det er også angitt formelle krav til toleranser i forhold til oppnådd hulrom i et ferdig lagt dekke. Disse er vist i tabell 2.

Tabell 2 Figur 631.4 fra Håndbok 018. Viser toleranser, hulromsprosent og komprimeringsgrad som må oppnås for de respektive dekketyperne.

	Hulromsprosent		Kompri- meringsgrad Min. %
	Enkelt- prøver	Middel av 5 prøver	
Ab			
Tykkelse 60-80 kg/m ²			
Slitelag	2-7	2-6	98
Bindlag	2-8	2-7	97
Tykkelse > 80 kg/m ²			
Slitelag	2-5	2-5	99
Bindlag	2-7	2-6	98
Ska			
Tykkelse 60-80 kg/m ²			
Slitelag	2-7	2-6	98
Bindlag	2-8	2-7	97
Tykkelse > 80 kg/m ²			
Slitelag	2-5	2-4,5	99
Bindlag	2-7	2-6	98
Top			
Slitelag	0,5-4,0	0,7-3,5	
Agb			
Tykkelse 60-80 kg/m ²			
Slitelag	2-7	2-6	98
Bindlag	2-8	2-7	97
Tykkelse > 80 kg/m ²			
Slitelag	2-5	2-5	99
Bindlag	2-7	2-7	98
Ma			
Tykkelse 60- 80 kg/m ²	3-10	3-9	96
Tykkelse > 80 kg/m ²	3-9	3-8	97
Da			
ADT < 3000	15-24		
ADT > 3000	16-21		
Ag			
Øvre bærelag	2-10	2-9	96
Nedre bærelag	2-15	2-12	96

3.3 Praksis utenfor Norge

Det kunne også være av interesse å se hva andre land praktiserer vedrørende kontroll av dekkeleggingen og om noen har implementert krav til bruk av kontinuerlig kompakteringskontroll for asfalt. Det er mye som er utarbeidet for granulære materialer, men mye arbeid gjenstår for asfalt. Det ble da valgt ut land som det er naturlig å sammenligne seg med. De land som ble sett på var USA, Sverige, Australia, Tyskland, samt innad i EU.

3.3.1 Australia

Australia har et kontrollsystem hvor de også har en prøvetaking basert på tilfeldig utvalgte punkt. Det benyttes da isotop- og kjerneboringsmålinger. Hulromsmålingene skal sammenlignes med gjennomsnittet av fem prøver fra samme produksjonsparti. Man kan så ta ut 6 til 10 målinger og sammenligne disse. Det ble ikke funnet noe om implementering av kontinuerlig kompakteringskontroll. (Australian Asphalt Pavement Association 2004)

3.3.2 EU

EU har standardisert de ulike asfalttyper som kan selges slik at dette ikke skal hindre konkurranse over landegrensene. Hvordan kontroll av produksjonen på asfaltverket skal utføres er også samkjørt i EU. Det foreligger ikke noen standard på håndtering og kontroll av asfalten fra asfaltverket til dekket er ferdig lagt. (B-Bullock 2008)

Denne standardiseringen er også gjennomført i Norge, både med asfalttyper og kontroll av produksjon på asfaltverket. Dette er beskrevet i håndbok 014. Norge har derfor eget sett med krav til kontroll av dekkeleggingen.

3.3.3 Sverige

Sverige baserer sine kontroller på de trafikkmengdene (ÅDT) dekket utsettes for. For eksempelvis $\text{ÅDT} \geq 1000$ og dekke $\geq 3000 \text{ m}^2$ skal det tas to prøver. Prøvene uttas via stikkprøvekontroll, med et tilfeldig utvalgt punkt. Isotopmålinger eller borkjerneprøver kan nyttes til prøvetakingen etter avtale mellom byggherre og entreprenør. (Trafikverket 2011)

3.3.4 Tyskland

Tyskland stiller krav til at entreprenør gjennomfører egenkontroll og at byggherren etterkontrollerer resultatet. Dette gjennomføres ved en visuell kontroll og der kontrollør er i tvil testes dekkeleggingen. Dette gjøres med isotopmålinger og borkjerneprøver. Betaling og trekk utføres etter oppnådd andel tilfredsstillende hulrom og densitet. (Bleßmann et al. 2011)

3.3.5 USA

I USA har FHWA (Federal Highway Administration) gitt ut en standard som beskriver amerikansk metodikk. De har spesifisert en standard hvor entreprenøren i forkant av dekkeleggingen må legge en forsøksstrekning.

Av dette forsøksfeltet vil det bli foretatt hulromsmålinger etter hver overfart frem til man oppnår en ideell tetthet. Av det samme dekket vil det bli tatt ut prøver for å verifisere at asfalten tilfredsstillende dekkeleggingen. Dekkeleggingen vil bli kontrollert med isotopmålinger og borkjerneprøver. Hulromsmålingene vil være kalibrert opp imot hulromsmålinger fra forsøksstrekningen. (Federal Highway Administration 2003)

Målepunktene blir valgt ut etter en tilfeldig prøvetaking, basert på den daglige dekkeleggingen. Strekningen deles inn i ruter, der man bestemmer en maksimal gjennomsnittlig langsgående avstand mellom målepunktene. Lengden på hver rute deles på den maksimale langsgående avstand. Områdene gis så nummerering fra 1 – 28. Tallene trekkes tilfeldig ut fra en bolle. Basert på det ønskede antallet målinger man vil ta, har FHWA en tabell hvor posisjonen velges ut målepunktene velges ut. (FHWA 1982)

3.4 Retningslinjer - kontinuerlig kompakteringskontroll for asfalt

Det er i USA at arbeidet har kommet lengst mest med å gjøre erfaringer og utarbeide retningslinjer for bruk av kontinuerlig kompakteringskontroll for asfalt.

FHWA /Transtech beskriver følgende resultater basert på egne forsøk. (FHWA 2011)

- En kartlegging av undergrunnen før nytt dekke legges på har vist seg å være viktig for å påvise svake punkter før dekkelegging. Det vil være vanskelig å oppnå god kompaktering i disse områdene.
- Korrelasjonen mellom ICMV og hulromsmålinger er inkonsistente. Dette fordi hulromsmålinger kun har målt punkter. Det er en vesensforskjell i sammenhengen mellom parametrene disse målingene har. Dvs. Mekaniske egenskaper vs. Materialets proporsjonering.
- Det er en indikasjon på høyere lineær korrelasjon mellom ICMV og FWD / LWD-basert defleksjon / E-modul, sammenlignet med ICMV / hulromsmåling.
- Den lave korrelasjonen mellom ICMV / hulromsmåling kan skyldes at a) ICMV reflekterer hele veioverbygningen med asfalt/bærelag/forsterkningslag, men hulromsmålingene kun måler de øverste 15 cm av HMA. b) ICMV tar ikke høyde for endringen i temperatur som skjer etter valsingen, noe hulromsmålingene fanger opp.
- IC data kan brukes for å lage en kompakteringskurve for et spesifikt materiale for et spesifikt prosjekt. Denne kan så brukes til å identifisere en optimal mengde passeringer med vals slik at over/under kompaktering kan unngås

Fremtidige anbefalinger / mulige kravspesifikasjoner de ser for seg:

- En universell ICMV modell anbefales for å få en felles stivhetsparameter for hvert lag som legges. Dette rettes slik at korrelasjonen mellom ICMV og in-situ hulromsmålinger samsvarer bedre.
- ICMV verdien bør inkludere temperatur som en parameter. Da gjerne at den har en referanseverdi med hensyn til temperatur.
- Analyseverktøyene bør standardiseres, sammenheng mellom de ulike systemene bør analyseres.
- PMS bør fortsette å måle langtidseffekten av sporutvikling / forbedringen man oppnår med dette systemet.

3.5 Løsninger for kontinuerlig kompakteringskontroll

Oppfølgingen av kompakteringsarbeidet omtales i dag på to måter, både gjennom continuous compaction control (CCC) og intelligent compaction (IC). Tanken bak CCC var å etablere et system som kan fortelle oss hvor god kompakteringen har vært utført over hele vegoverflaten. Det har etter hvert blitt mer å benytte GPS som et supplement til kontrollen. Det er da enklere å lokalisere valsens posisjon og bevegelser. Basert på integrerte systemer som akselerometer, GPS og temperaturmålere kan valseføringen få informasjon om kompakteringen av dekket. Systemet er anvendelig for kontroll av både granulære og bituminøse lag. En temperaturmåler vil kun være aktuell å benytte ved kompaktering av bituminøse lag.

Intelligent kompaktering bygger på at de integrerte systemene skal være smarte nok til å kunne tilpasse kompakteringen basert på målingene som blir utført. Dette vil kunne være at man via analyse av de sensoriske tilbakemeldingene fra eksempelvis akselerometeret, justerer ned vibrasjonene fra valsen etter hvert som en økt stivhetsgrad oppnås.

Kontinuerlig kompakteringskontroll er et tankesett som innebærer å få en kontroll på hele vegoverflaten, men kan suppleres med intelligent kompaktering som hjelp for valseføringen.

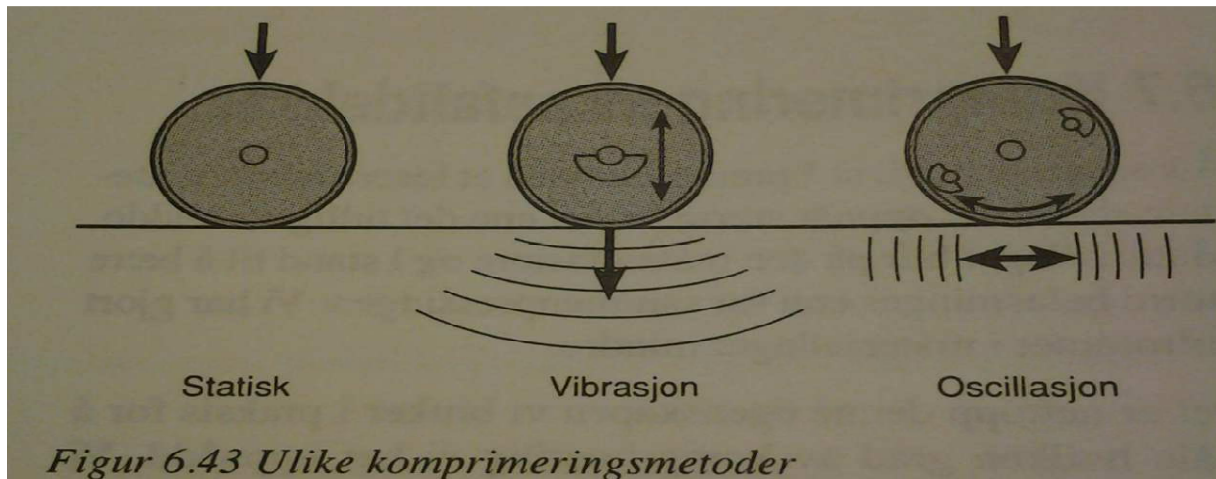
3.6 Kompaktering med vals

Valsen bearbeider underlaget på flere vis, enten ved statisk linjelast, vibrasjon eller ved oscillasjon.

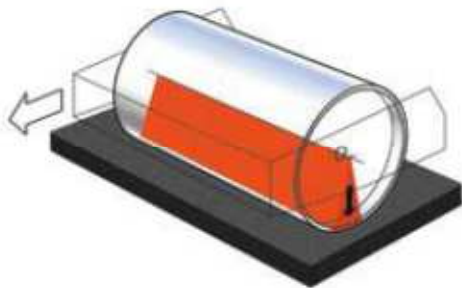
3.6.1 Statisk linjelast

Sammenpressingen som utøves mot underlaget gjøres ved vekten av valsen som hviler på valsetrommelen samt valsetrommelens egenvekt. Vekten er fordelt på bredden av trommelen. Som vist på Figur 8 og Figur 9 kan man se hvordan et lite areal sammenpresses over hele trommelens lengde. Dette blir derfor beskrevet som en linje. Statisk linjelast kan benevnes som kg/cm eller kN/m.

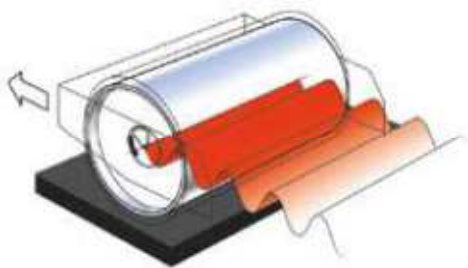
$$\text{Statisk linjelast} = \frac{\text{Trommelens egenvekt} + \text{Vektandel fra vals som hviler på trommel}}{\text{Bredde av trommel}} \quad [\text{Kg/cm}]$$



Figur 8 Viser ulike kompakteringsmetoder (Ekeli 1996)



Figur 9 Viser statisk linjelast (Dynapac 2011)



Figur 10 Visualiserer vibrasjoner fra valsetrommelen. (Dynapac 2011)

3.6.2 Vibrasjon fra vals

Valsens vibrasjon mot undergrunnen kjennetegnes ved frekvens og amplitude. Ved hjelp av vekter inne i trommelen føres det hurtige støt mot undergrunnen. Denne vibrasjonen gjør at materialkornene fortettes. Hvor høy fortettingen blir, avhenger av støtenes lengde (amplituden), hastigheten (frekvens) og vinkelen støtene har mot undergrunnen. Dette må sees i sammenheng med valsens hastighet fremover. Eksempler på hvordan dette opptrer er illustrert på Figur 8 og Figur

10. Det er viktig å merke seg at etter hvert som tettheten i materialet øker må vibrasjonene tilpasses slik at de ikke blir for kraftige. Man kan da risikere en dårligere kompakteringsgrad og nedknusning av dekket.



Figur 11 Viser oscillasjonsprinsippet til valsene levert fra Hamm.(Hamm 2014b)

3.6.3 Oscillasjon

Oscillerende vibrasjon kjennetegnes ved at det skapes et moment om valsetrommelen som virker mer horisontalt rettet. Med dette menes det at massene fortettes ved at valsetrommelen vibrerer frem og tilbake. Denne vibrasjonen er fordelaktig ved kompaktering av asfalt. Fordelen med denne type vibrasjon er at mesteparten av energien går med til kompaktering av de bituminøse lagene. Rettede vibrasjoner fra valse som nevnt i kapittel 4.1.2. vil kunne ha tilsvarende effekt.

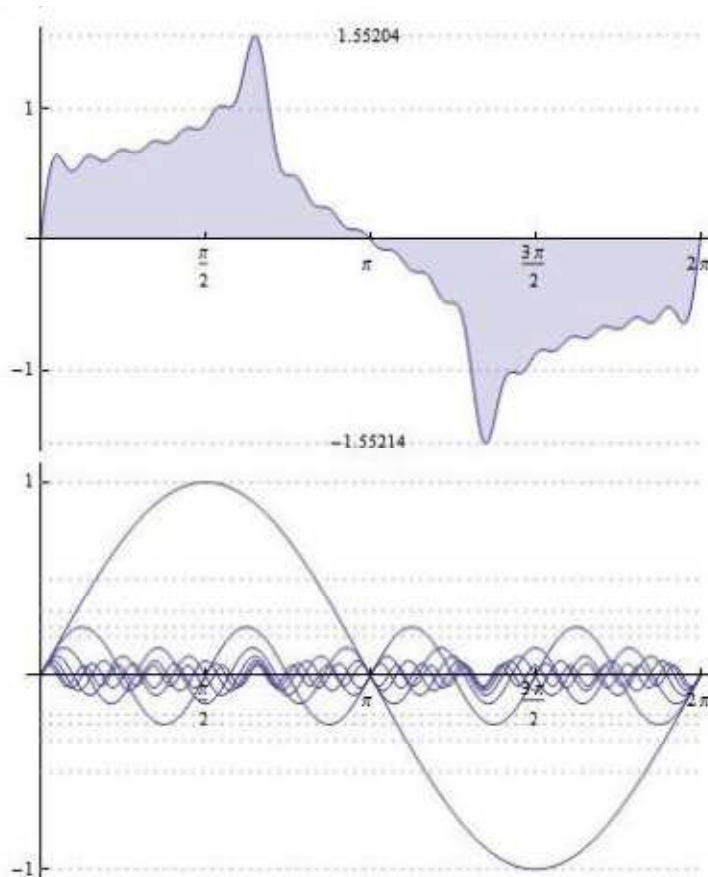
3.6.4 Dynamisk kompaktering

Hvordan vibrasjonene påvirker underlaget er som tidligere nevnt avhengig av valsens frekvens, amplitude og hastighet fremover. For å måle vibrasjonene har leverandørene et akselerometer i valsetrommelen, som måler en vertikal akselerasjon som hele tiden er i endring. Vibrasjonene som utføres av valsetrommelen gjør at valsetrommelen beveger seg opp og ned med en hastighet på opp mot noen millimeter i sekundet. Denne akselerasjonen endres konstant om et likevektspunkt og det maksimale utslagspunktet tilsvarer den vertikale akselerasjonen.

Hvordan man benytter avlesningene har blitt løst på to måter, enten gjennom en tilnæringsverdi ut ifra en harmonisk svingning eller ved å beregne en stivhet med elastisitetsmodulen E. Disse tilnærmingene vil bli beskrevet nedenfor.

En harmonisk svingning er en bevegelse som også kan sees på ut ifra en eksempelvis sinusbølge. Amplituden sier oss som tidligere nevnt hvor stort støtet blir, men frekvensen angir hvor ofte støtene påføres materialet. Frekvensen benevnes som støt per sekund og angis i Hertz. Amplitudens størrelse på støtet angis i millimeter.

Akselerometeret vil møte elementer som forstyrrer målingene i forhold til en teoretisk perfekt sinuskurve. En tilnærming til dette vil være å nytte Fourier-transformasjon for å få avlesningene på sinusform som kan avleses. Dette er vist i Figur 12.



Figur 12 Viser en Fourier- transformasjon (Wolfram 2014).

Avlesningene fra en slik transformasjon er det noen eksempler på som skal drøftes her. Dette gjelder CMV-verdi som nyttes av Dynapac og CAT. Den japanske leverandøren Sakai har også en løsning som kalles CCV. Felles for disse er at en økende CMV/CCV indikerer en økt stivhet. Dette gjennom at akselerometeret leser av flere forstyrrelser jo mer kompakt underlaget blir, sett i forhold til en teoretisk perfekt svingning. Dynapac benytter ikke CMV verdien som parameter for kompaktering av asfalt, men CCV fra Sakai har det blitt gjennomført forsøk med.

CMV - COMPACTION METER VALUE

Dette er en dimensjonsløs parameter hvor vibrasjonene etter transformasjonen i Figur 12 kan lese av amplituden fra de ulike bølgene. Denne oversettelsen kan sees i Figur 13. Dette kan så settes inn i ligningen under.

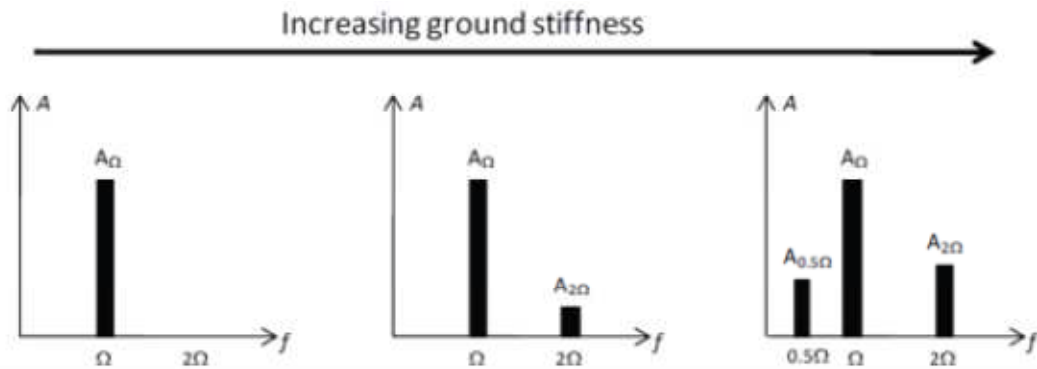
$$CMV = C * \frac{A_{2\Omega}}{A_{\Omega}}$$

Hvor:

C = En konstant, f. eks 300. Dette gir en verdi som er enklere å forholde seg til i området 0 - 100. (Sandström & Petterson 2003)

$A_{2\Omega}$ = Amplituden for 2 x grunnfrekvensen, 2F

A_{Ω} = Amplituden for grunnfrekvens, F



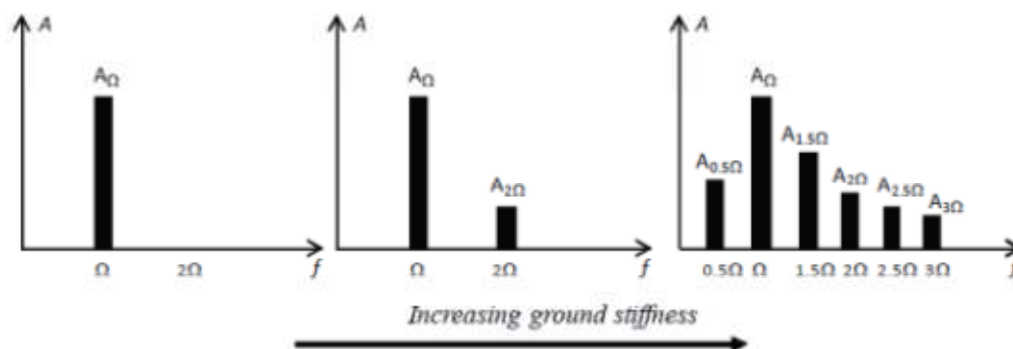
Figur 13 Viser avlesningen av de ulike frekvenser etter en Fourier-transformasjon for CMV. (FHWA 2011)

CCV – Compaction Control Value

Sakai sin løsning er bygget opp om det samme prinsipp men inkluderer flere av svingningene som opptrer. Beskrivelsen av dette er funnet i (FHWA 2011, s. 36, med egen oversettelse.)

«Ettersom stivheten øker i undergrunnen, vil valsetrommelen gå inn i en "hoppe" bevegelse. Dette vil resultere i vibrasjoner som gir svingninger i uliker frekvenser.»

$$CCV = \left[\frac{A_{0,5\Omega} + A_{1,5\Omega} + A_{2\Omega} + A_{2,5\Omega} + A_{3\Omega}}{A_{0,5\Omega} + A_{\Omega}} \right]$$



Figur 14 Viser avlesningen av de ulike frekvenser etter en Fourier-transformasjon for CCV. Dette er avlesninger som gjøres etter hvert som stivheten øker i materialet. (FHWA 2011)

Evib

En annen måte å nytte akselerometeret er ved å tilnærme seg en stivhet gjennom elastitetsmodulen E . Dette har eksempelvis Bomag gjort med løsningen Evib. Evib oppgis med enhet MN/m^2 . Fordelen med dette er at man får en tilnærming som kan sammenlignes med eksempelvis målinger fra platebelastning.

Bomag beskriver Evib med følgende matematiske ligning (FHWA 2011).

$$Z_d = \frac{(1 - \eta)}{E_{vib}} * \frac{F_s}{L} * \frac{2}{\pi} * (1,8864 + \ln \frac{L}{B})$$

Hvor

$$B = \sqrt{\frac{16}{\pi} * R' * \frac{(1 - \eta)^2}{E_{vib}} * \frac{F_s}{L}}$$

Det er da gitt følgende definisjon på parametrene:

E_{vib} = Vibrasjons modulus

F_s = Statisk last av trommelen

L = Lengden av trommelen

Z_d = Forflytning av trommelen

B = Kontaktbredde av trommelen som hviler på underlaget

η = Poisson's forhold av materialet som bearbeides

R' = Radius av trommelen

HCM

Hamm benytter seg av målinger de kaller HCM – Hamm Compaction meter. Disse gir et mål på stivheten eller bæreevnen i massen som blir komprimert. Dette blir vist som HMV – Hamm measurement value i displayet hos valseføreren, hvor dette gir en indikasjon av hvor stor grad av kompaktering som er oppnådd. Hamm angir at HMV kan nyttes både for granulære og bituminøse dekker. (Hamm 2014b)

3.7 Leverandørens løsninger for asfaltkompaktering

Kompakteringen av asfalt vil som regel være avhengig av å skje så raskt som mulig. Dette grunnet temperaturfallet som oppstår etter at asfalten er lagt ut fra utleggeren. Temperaturen som de respektive dekketyper skal kompakteres fra, er som tidligere nevnt spesifisert fra Hb 018 i Tabell 1. Videre er det spesifisert toleransegrenser for hulromsprosenten som skal være oppnådd under kompakteringen som er vist i Tabell 2. Målet med de ulike løsningene er å kunne dokumentere at en tilstrekkelig kompaktering er oppnådd innenfor de gitte temperaturkrav.

Det er vanlig for de ulike leverandørene at de derfor har systemer som kan vise ulik informasjon på et display inne hos valsefører eller lagre / oversende denne informasjonen til dokumentasjon / evaluering senere. GPS som angir valsens posisjon er også et tilvalg som er med i dokumentasjonen av kompakteringen. De mest vanlige elementene som leveres med er, skannerutstyr for å måle temperaturen av overflaten til asfalten, antall overfarer gjerne målt via GPS og eventuelt responsmålinger.

Det ble benyttet en vals fra henholdsvis Dynapac og Hamm til dekkeleggingen som skal analyseres senere i oppgaven. Disse systemene vil derfor bli omtalt i dette kapittelet.

3.7.1 Dynapac

Generelt

Dynapac har et system de kaller DCA-A eller Dynapac Compaction Analyser – Asphalt. Analyseverktøyet som benyttes er ment å gi valseføreren en nåtids oppdatering av kompakteringen.

Figur 17 viser de elementene som Dynapac monterer på sine valser for å kunne ha kompakteringskontroll. Det er montert temperatursensor fremme og bak, samt GPS mottaker på taket. Dataene prosesseres og vises frem på displayet inne i førerhuset. Temperatursensorene måler overflatetemperaturen og estimerer en kjernetemperatur i asfalten. GPS mottakeren angir valsens posisjon til enhver tid. Valseføreren kan da vite antallet overfarer som er utført på dekket. Valsefører kan få vite antallet overfarer totalt, statisk kompaktering og med vibrasjon. Figur 16 viser hvordan dette kommer fram på displayet hos valsefører. Føreren får også fremvist sin hastighet når han kjører. Dataene kan benyttes videre i en kontormodul.

Posisjonering - GPS mottaker

Dynapac oppgir at de kan levere valsene med GPS utstyr fra Trimble, modell AgGPS 332. Dette er normalt en DGPS mottaker. Ellers har entreprenør mulighet til å installere egen mottaker og koble denne opp mot analyseverktøyet DCA-A. (Dynapac 2010)

Trimble oppgir i sin brukermanual for modell AgGPS 332 at mottakeren kan ha en tilnærmet nøyaktighet på 95 cm uten noen korreksjonsverktøy. Ved bruk av korreksjonsdata fra en lisensbasert

tjeneste kan man oppnå en nøyaktighet på 10 cm. Det kan oppnås en nøyaktighet på opptil 2,5 cm ved bruk av en lokal basestasjon som korreksjonsverktøy (RTK). Dette innenfor et 95 % konfidensintervall. (Trimble 2005)

Korreksjonsverktøy

I Norge leverer Statens kartverk en lisensbasert tjeneste kalt CPOS. Man kan da motta korreksjonsdata i sanntid via oppringt tilkobling (GSM) - eller internett (GPRS) - modem. Statens kartverk oppgir at de største brukerne er private entreprenørfirmaer, kommuner og store offentlige etater som Statens vegvesen. Tjenesten er levert som et abonnement med en årlig avgift og med fakturering av den faktiske bruken. Tjenesten baserer seg på at man via en rekke av kartverkets permanente stasjoner oppretter en virtuell referansestasjon (VRS) i forhold til brukeren. Tjenesten forutsetter at det er en tilstrekkelig god dekning for at signalene skal komme frem. Dette kan innebære en et problem hvor det er en utfordrene topografi, eksempelvis i trange daler eller lang avstand til stasjonene. Der hvor dekningen er tilstrekkelig vil man kunne oppnå en nøyaktighet bedre enn 5 cm horisontalt og 8 cm vertikalt innenfor 95 % av tiden. (Statens kartverk 2012)

RTK (Real Time Kinematic GPS) er et alternativ hvor man oppretter en lokal basestasjon. Forutsetningen er at denne settes opp på ett punkt med et kjent referansepunkt. RTK baserer seg på at korreksjonsdata sendes via radiolink. (Seeber 2003)

Dette kan være aktuelt å bruke for utstyr som kun kan motta signal fra RTK, dersom brukeren kun baserer seg på bruk av RTK, eller at man er i områder hvor CPOS ikke har tilstrekkelig dekning.

Ved bruk av RTK over 10 km eller ved store topografiske hindringer på strekningen, anbefales det å bruke forsterkere for å sikre god radiodekning. (Statens kartverk 2005)

Nøyaktighet med posisjoneringsverktøy

Analyseverktøyet til Dynapac refererer til GPS - HDOP eller Horizontal Dillution of precision. Dette kan man finne nederst på statistikken som er vist i Figur 21.

En nærmere beskrivelse hva HDOP kan være:

$$\sigma_H = HDOP * \sigma_r$$

Der

σ_H = Assosiert standardavvik for posisjonen

HDOP = Horisontal nøyaktighet

σ_r = UERE (User Equipment Range Error) eller mottakerens standardavvik.

σ_H beskriver det totale standardavviket for en GPS mottaker, mens HDOP verdien angir hvor godt satellittene er posisjonert i forhold til mottakeren. En økning i DOP verdien vil innebære en dårligere posisjonering av satellittene den får inn. UERE beskriver hvor godt mottakeren vil kunne angi dens posisjons standardavvik. Størrelsen på UERE vil avhenge av om man kun forholder seg til satellitter eller om det også nyttes et korreksjonsverktøy. En mottaker av god kvalitet, er i bedre stand til å gi en nøyaktig posisjonsangivelse. Hvilke korreksjonsdata den mottar, vil også bestemme dens nøyaktighet. Men summen av alle avvik fra korreksjon og mottakers kvalitet vil bestemme størrelsen på UERE. (Seeber 2003)

Eksempelvis vil en ved bruk av en mottaker med nøyaktighet på 95 cm (UERE) og en DOP verdi på 5 kunne settes opp slik: $95 \text{ cm} * 5$, hvilket innebærer at det faktiske standardavviket σ_H i målingen var på 475 cm.

Figur 15 gir et eksempel på hvordan man kan vurdere reduksjonen i nøyaktighet for DOP.

DOP VALUE	RATING	COMMENT
1	Ideal	Highest possible confidence level
1 - 2	Excellent	At this level of DOP, all but the most exacting measurements should be met.
2 - 5	Good	This level represents the lowest level of confidence for making business decisions
5 - 10	Moderate	Measurements made would be adequate for most applications but could be improved
10 - 20	Fair	Represents a low confidence level. Any measurements should be treated with caution
> 20	Poor	At this level of DOP there will be significant levels of inaccuracy and error.

Figur 15 Viser hvordan man vurderer nøyaktigheten av Dillution of Precision (DOP). (Poole)

Analyseverktøy

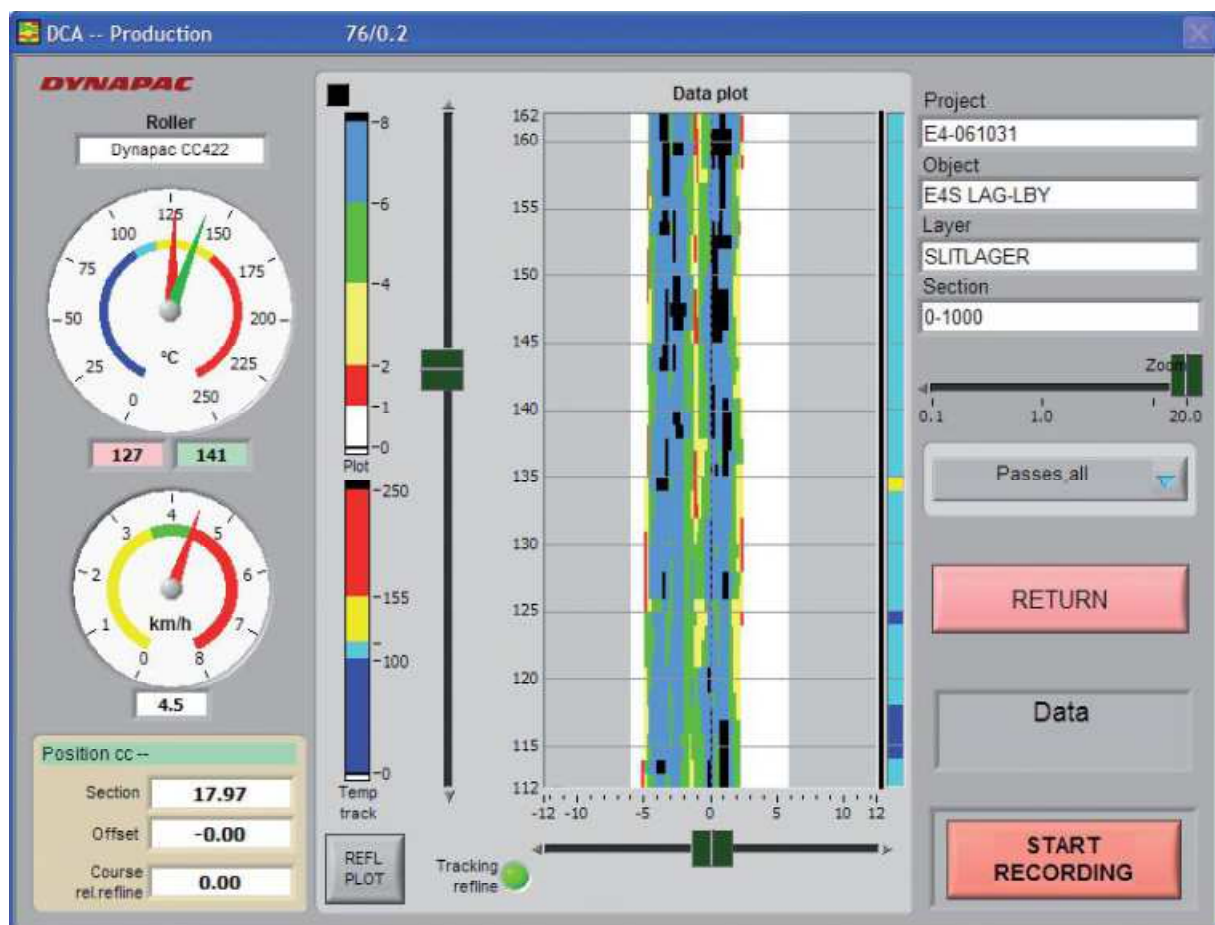
Figur 18 viser playback -funksjonen man har for å spille av dekkeleggingen. Man kan da se hele eller deler av dekkeleggingen ved å zoomer seg inn til et spesielt parti en ønsker å se kompakteringen av. Man kan bare regulere avspillingens hastighet. Har en kjørt over ønsket parti man vil se, må man spille av på nytt.

Den estimerte temperaturen av asfalten vises i Figur 19. Dette er fra kontormodulen fra leverandøren. Man kan velge mellom å se første eller siste overfart fra dekkeleggingen. Dette gjør det mulig å se seg ut de risikosoner hvor temperaturen kan ha vært for lav.

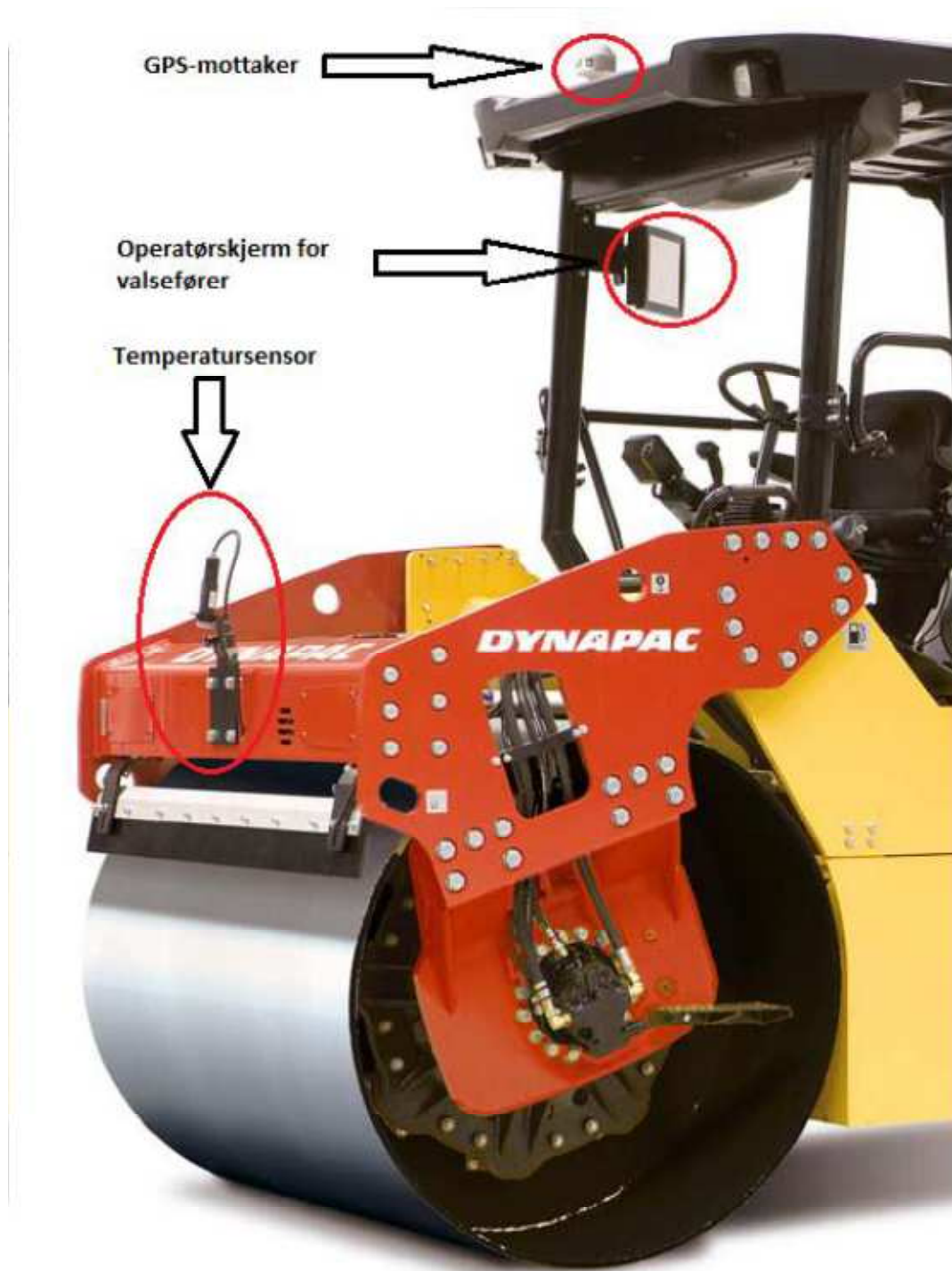
Et eksempel på fremstilling av overfartene er vist på Figur 20. Man kan da vurdere kompakteringen som er utført ved den grafiske fremstillingen av overfartene. En kan se antallet overfarter totalt,

antall overfarer som er utført statisk eller med vibrasjon. Programmet fremviser også overfarer over eller under en angitt minstetemperatur for evaluering av kvaliteten på kompakteringen. En kan også definere et gitt antall overfarer som erfaringsmessig gir tilfredsstillende kompaktering. Man vil således kunne se at man har nådd det antallet overfarer som er ønskelig.

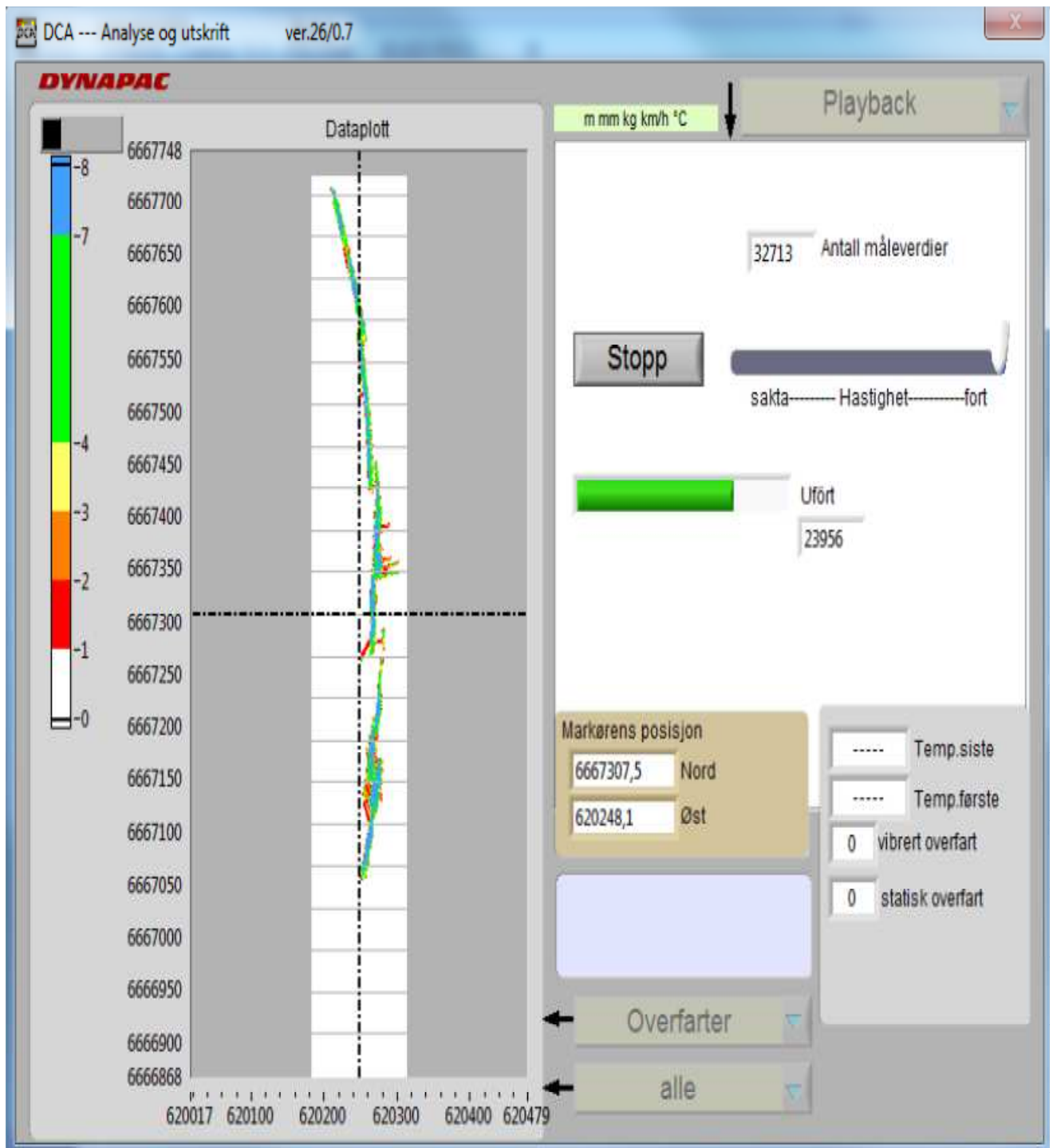
Analyseprogrammet kan også gjøre en statistisk analyse av hele opptaket. Dette er vist i Figur 21. Man kan da få en summering av hele dekkeleggingen som dokumentasjon på arbeidet. Man får da et estimat på hvordan dekket totalt sett har blitt bearbeidet. Ut ifra dette en kan få et gjennomsnittlig bilde av antall overfarer med og uten vibrasjon, hvilke temperaturer valse har kompaktert dekket innenfor, vibratorens frekvens, hastigheten på valse og nøyaktighet på GPS målingene. Man får også angitt høyeste og laveste verdi av de respektive målingene fra dekkeleggingen.



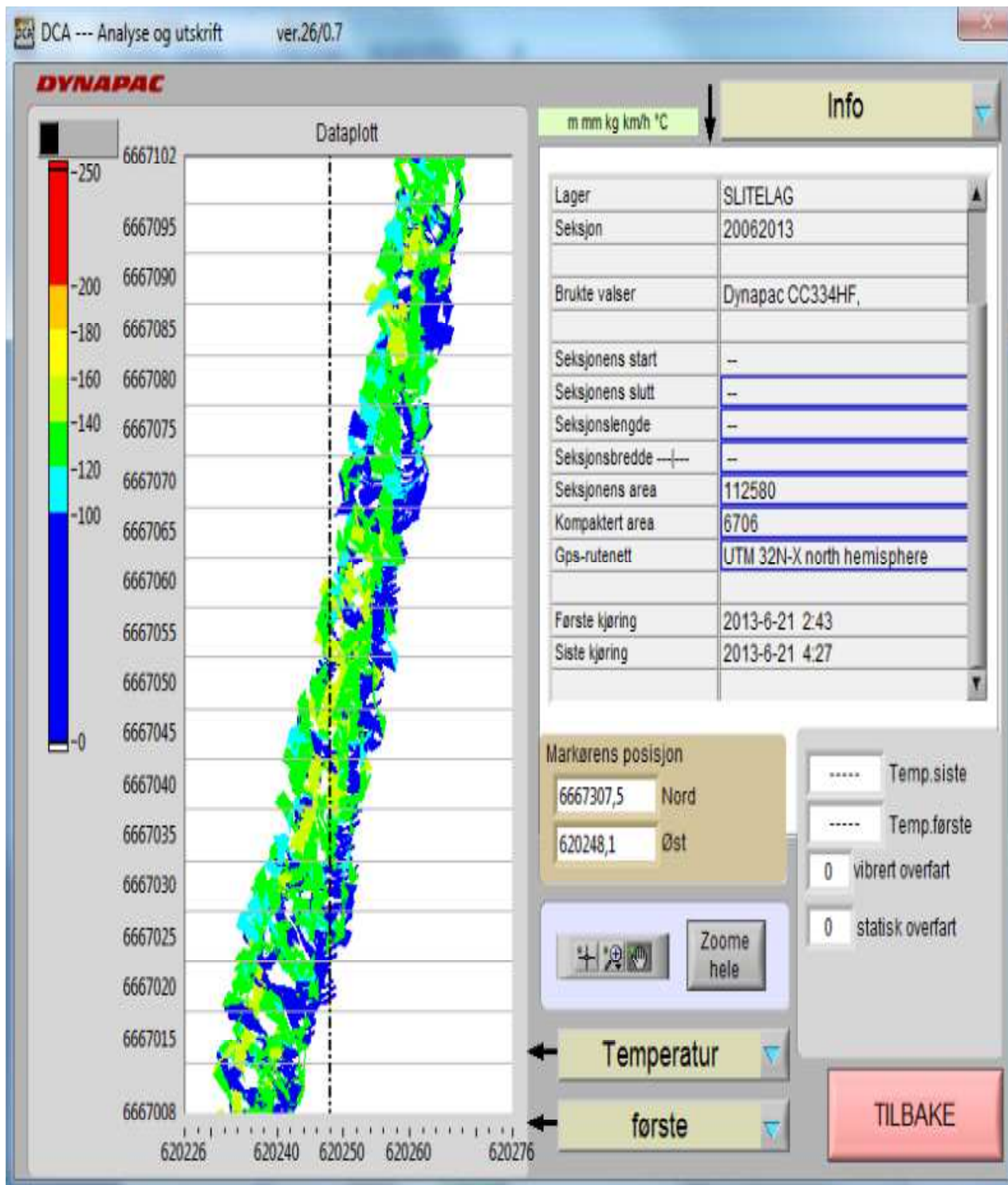
Figur 16 Viser operatørskjermen fra en Dynapac DCA-A. (Atlas Copco 2014)



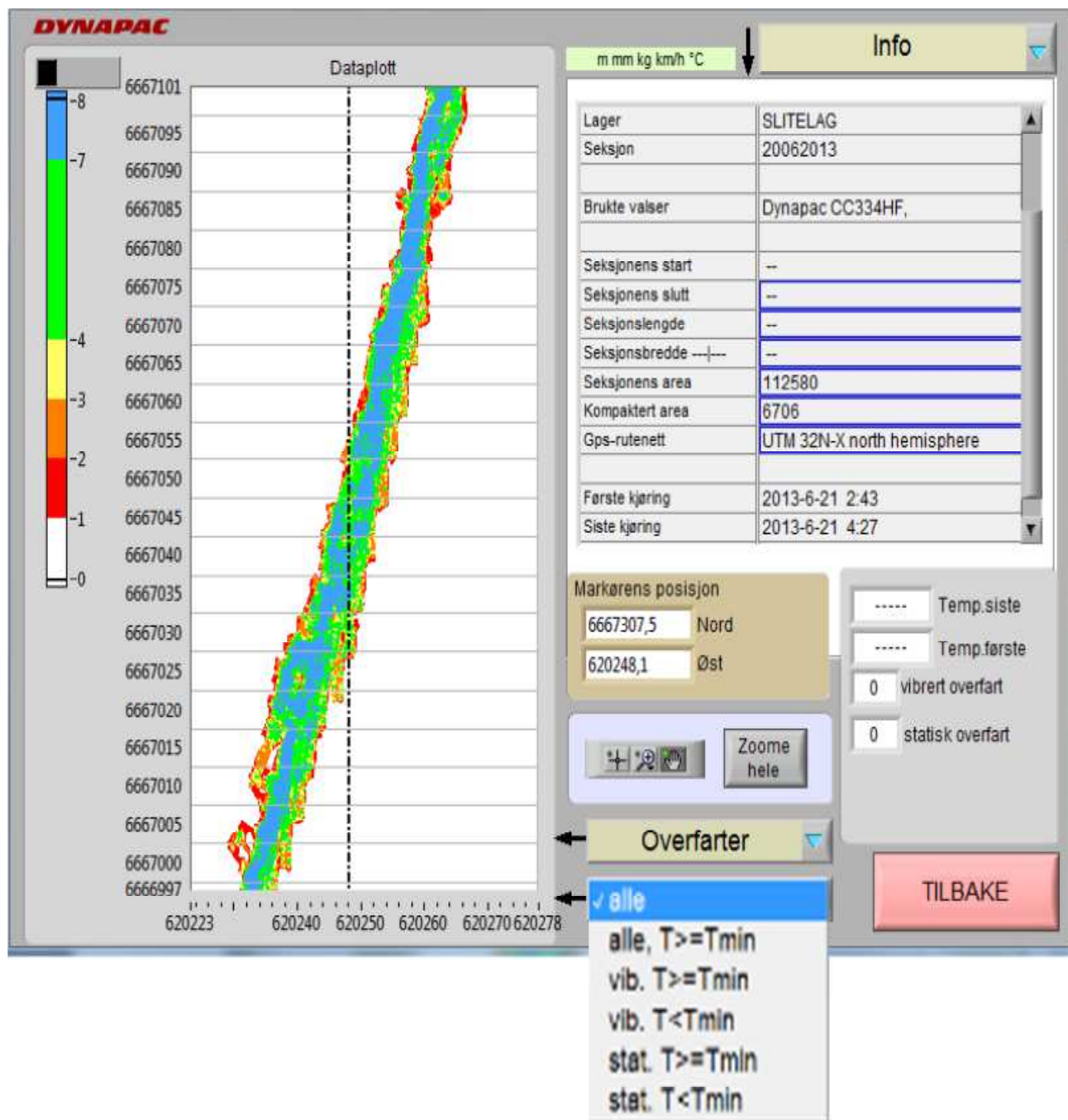
Figur 17 Viser hvordan utstyret er montert på valsen. Vi kan se GPS mottaker montert på taket, operatørskjerm i førerhuset og temperatursensor i front. Dynapac leverer temperatursensor framme og bak på valsen. Operatørskjermen er vist i Figur 16. (Dynapac 2010)



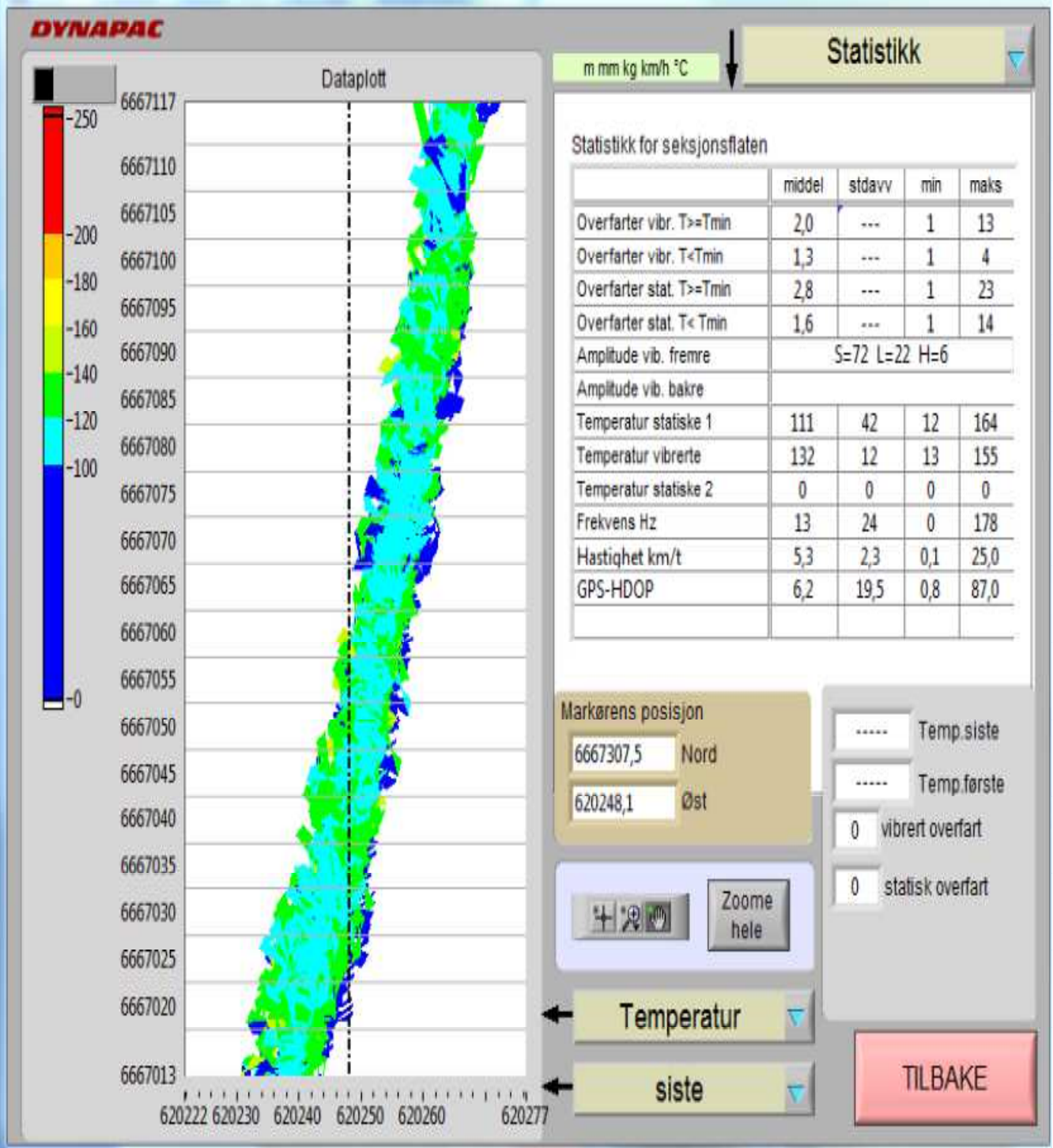
Figur 18 Viser et utklipp hvor det spilles av et optak med en vals fra Dynapac ved dekkelegging 20.6.2013 på E6.



Figur 19 Viser et utklipp med en vals fra Dynapac ved dekkelegging 20.6.2013 på E6. Det vises her temperatur fra første overfart med valsen. Man kan velge mellom å se den estimerte temperatur fra første eller siste overfart.



Figur 20 Viser et utklipp med en val fra Dynapac ved dekkelegging 20.6.2013 på E6. Vi kan her se antall overfarter totalt. Som vist kan man se ønskede parametere som antall overfarter totalt og for overfarter statisk eller med vibrasjon. Man kan velge mellom å se antallet over eller under den angitte minimumstemperatur.



Figur 21 Viser et utklipp fra analyseverktøyet til Dynapac etter at deres valse har vært med ved dekkelegging 20.6.2013 på E6. Analyseprogrammet kan utarbeide og vise statistikk over hele dekkeleggingen som har blitt spilt inn.

3.7.2 Hamm

Hamm har utviklet et system de kaller HCQ Navigator. HCQ står for, Hamm Compaction Quality. Systemet gir en nåtids oppdatering av kompakteringsarbeidet. Figur 24 viser en illustrasjon av displayet valsefører kan benytte under kompakteringen. På displayet sitt inne i valsen kan valseføreren da evaluere følgende parametere:

HMV

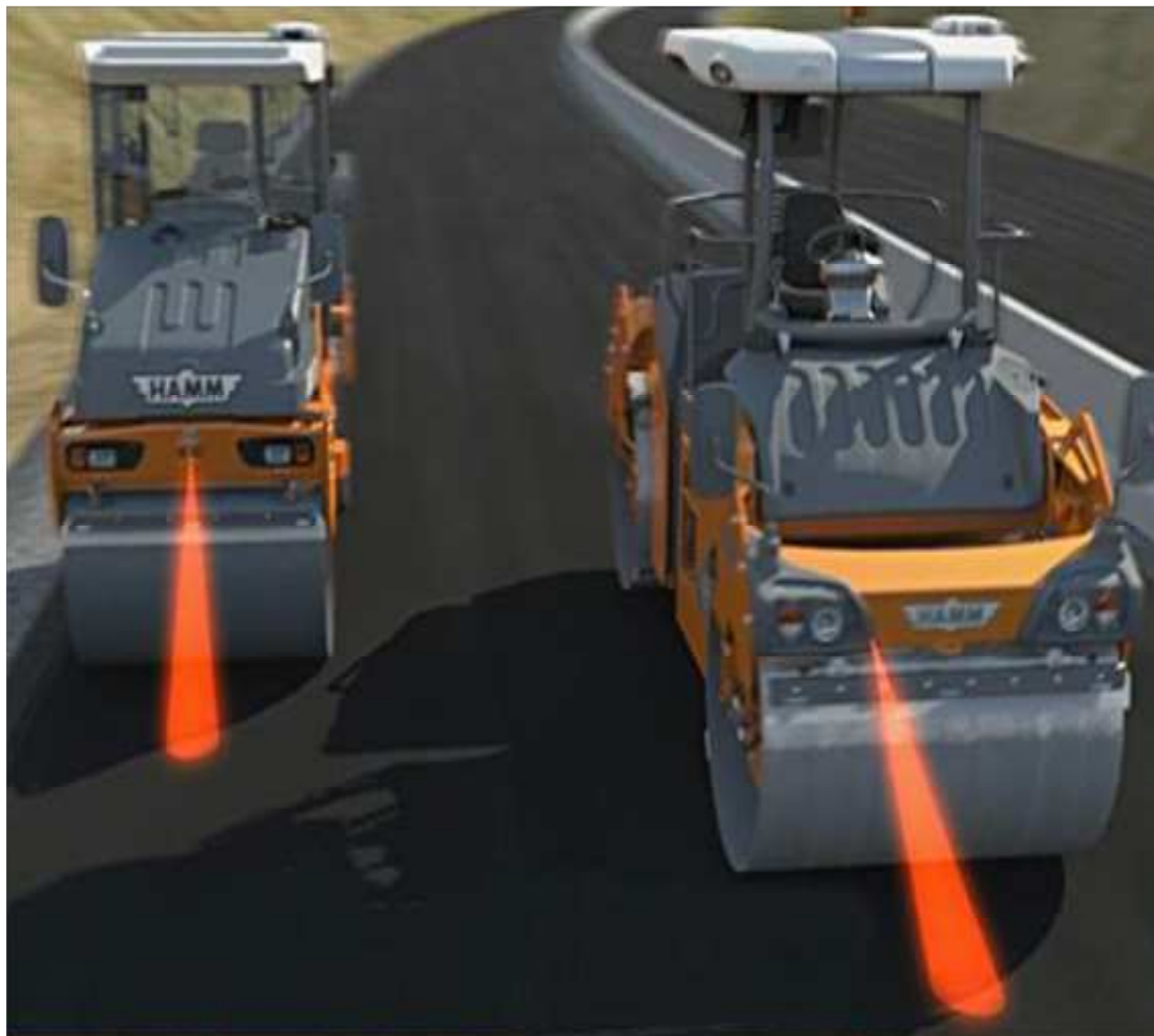
HMV skal som tidligere nevnt i HCM indikere en oppnådd kompakteringsgrad for hver passering relativt til den estimerte temperatur.



Figur 22 Viser en visualisering av hvordan HMV verdien leses av fra akselerometeret. (Hamm 2014b)

HTM

HTM står for Hamm temperature meter. En infrarød temperatursensor måler overflatetemperaturen på asfalten ca. 1 meter foran fremre trommel. Hamm kan også levere temperatursensor for montering bak på valsen på en del av sine valser.



Figur 23 Viser hvordan infrarød sensor leser av temperaturen av asfaltens overflate. (Hamm 2014b)

Antall overfarter

Ved hjelp av DGNSS som vist i Figur 25 kan det dokumenteres hvor velsen har kjørt og antallet overfarter den har utført. Systemet kan fortelle hvor mange overfarter som er utført totalt sett. Systemet kan også vise overfarter som er utført statisk eller med vibrasjon.



Figur 24 Viser displayet hos valseføringen hvor han kan se to parametere til samme tid. Her er det vist antall overfarter og temperatur. (Hamm 2014b)



Figur 25 Viser DGSS mottaker. Denne mottakeren kan bruke satellittsignaler fra amerikanske GPS og russiske GLONASS. (Hamm 2014b)

Posisjonering – DGNSS mottaker

Som vist i Figur 25 benytter Hamm seg av DGNSS (Differential Global Navigation Satellite System). DGNSS innebærer at man forholder seg til både amerikanske GPS og Russiske GLONASS satellitter. Dette øker antallet satellitter man kan ta inn og vil gi en bedre dekning. Hamm oppgir at man ved bruk av dette systemet får en nøyaktighet på 0,90 m. Systemet har innebygde sensorer og software som hjelper DGNSS med å holde kontroll på posisjonen hvis man kommer inn i områder hvor det ikke er dekning. Dette kan eksempelvis være under broer. Systemet lagrer også posisjonsdata, slik at man ved stans og pauser raskt kan gjenoppta arbeidet. Dette er mulig i opptil 16 timer. Har man høyere krav til nøyaktighet i dokumentasjonen av dekkeleggingen kan man benytte seg av referansestasjoner. Dette gir en nøyaktighet ned til 0,1 m. Er ikke dette tilfredsstillende kan man opprette en basestasjon på strekningen som kan gi en nøyaktighet ned til 2,5 cm. (Hamm 2014b) Mer om bruk av referansestasjoner og basestasjoner er tidligere beskrevet under "korreksjonsverktøy" i kapittel 3.7.1 Dynapac.

Dette er videre mulig å sette i et nettverk via WLAN slik at hvis flere valser jobber sammen vil HCQ systemet snakke sammen og gi lik informasjon på samme premisser. De samlede dataene kan under og i etterkant av dekkeleggingen nyttes til analysering og dokumentasjon av arbeidet.



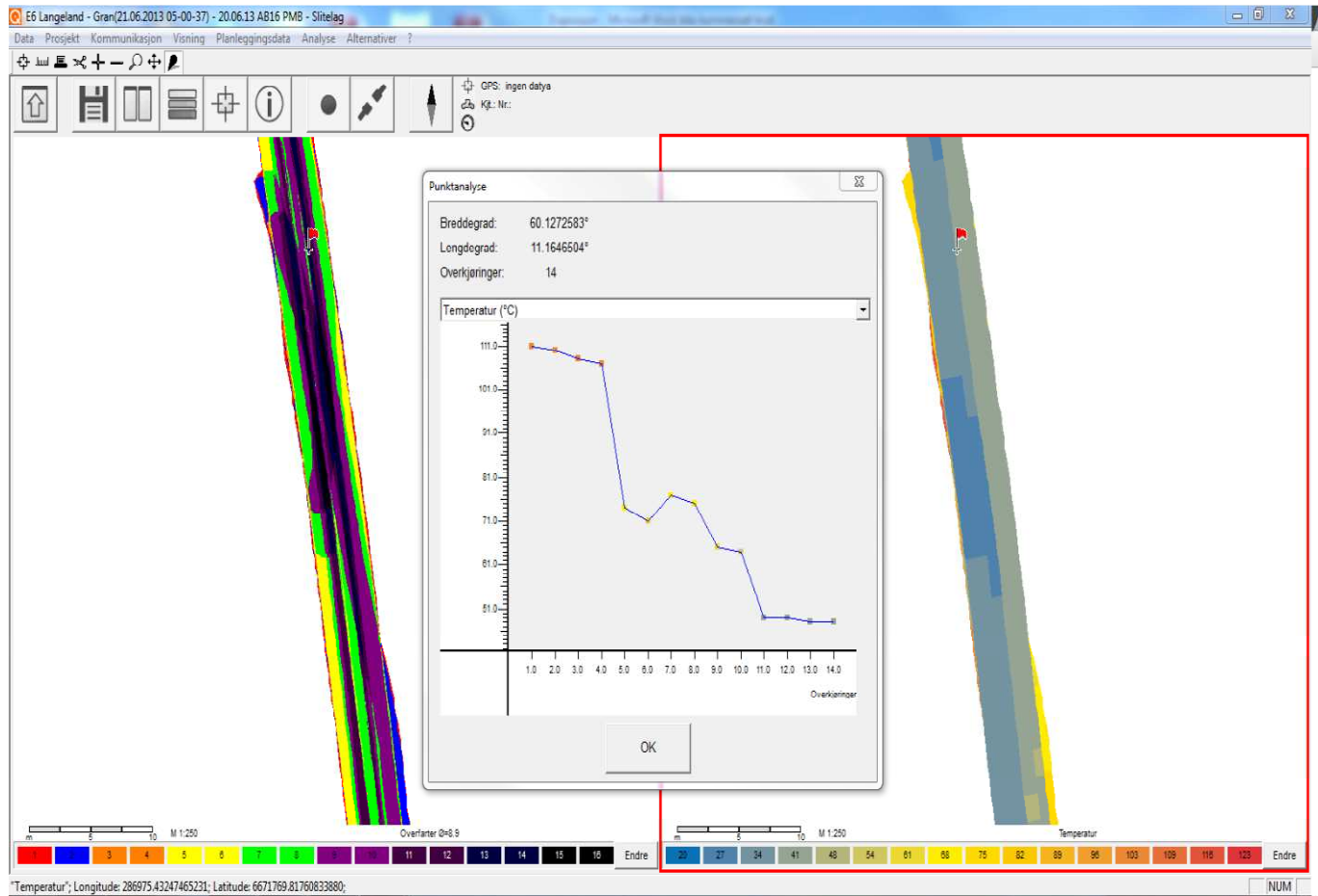
Figur 26 Viser hvordan valsene er koblet sammen og gir nåtidinformasjon til valseførerne om asfaltens tilstand. (Hamm 2014b)

Analyseverktøy

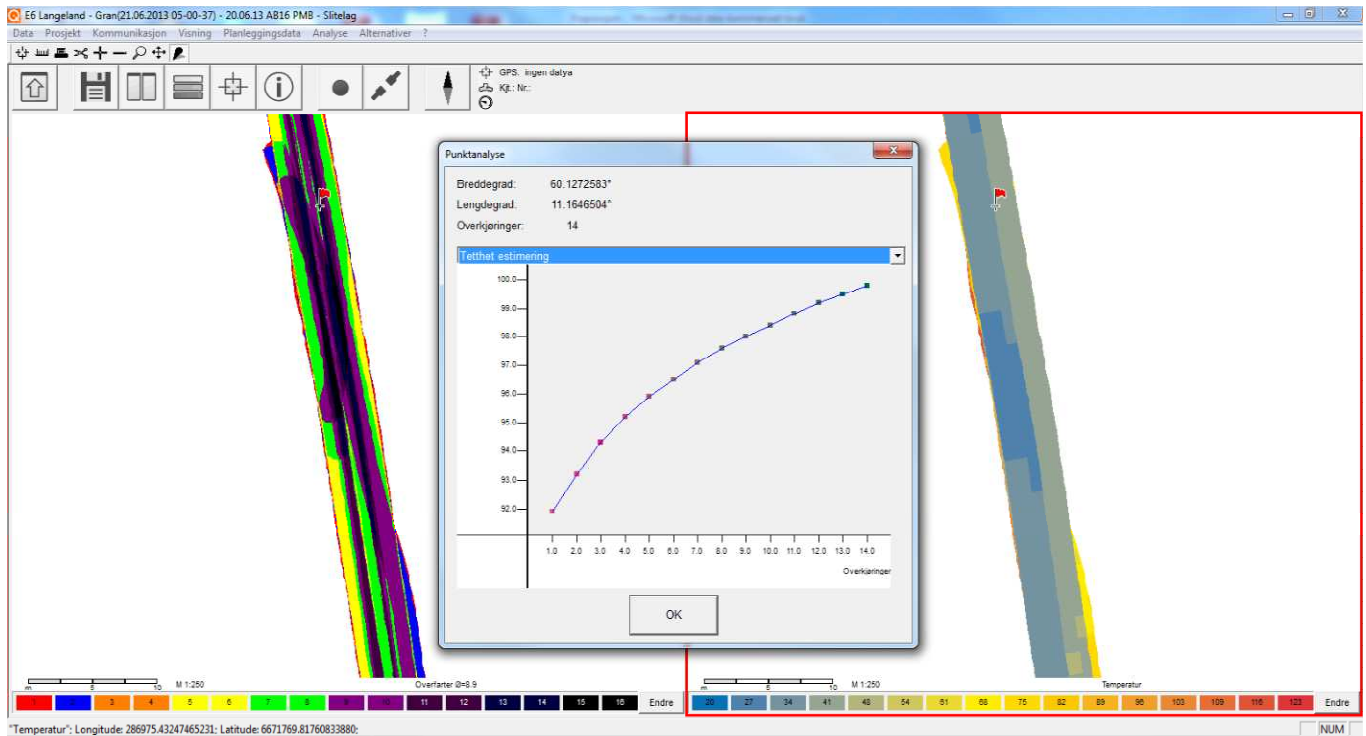
Under og etter kompaktering kan man analysere dataene man samler inn. Som man kan se i figur 24 kan man se antall overfarter som er utført over hele dekkeleggingen og hva slag temperatur man hadde ved hver overfart.

For å vite hva temperaturen var ved de respektive overfartene, kan man gjennomføre en punktanalyse. Dette vises i midten av utklippet i Figur 27. I Figur 28 viser programmet en estimert tetthet av kompakteringen. Videre vises det i Figur 29 en estimert HMMV - verdi.

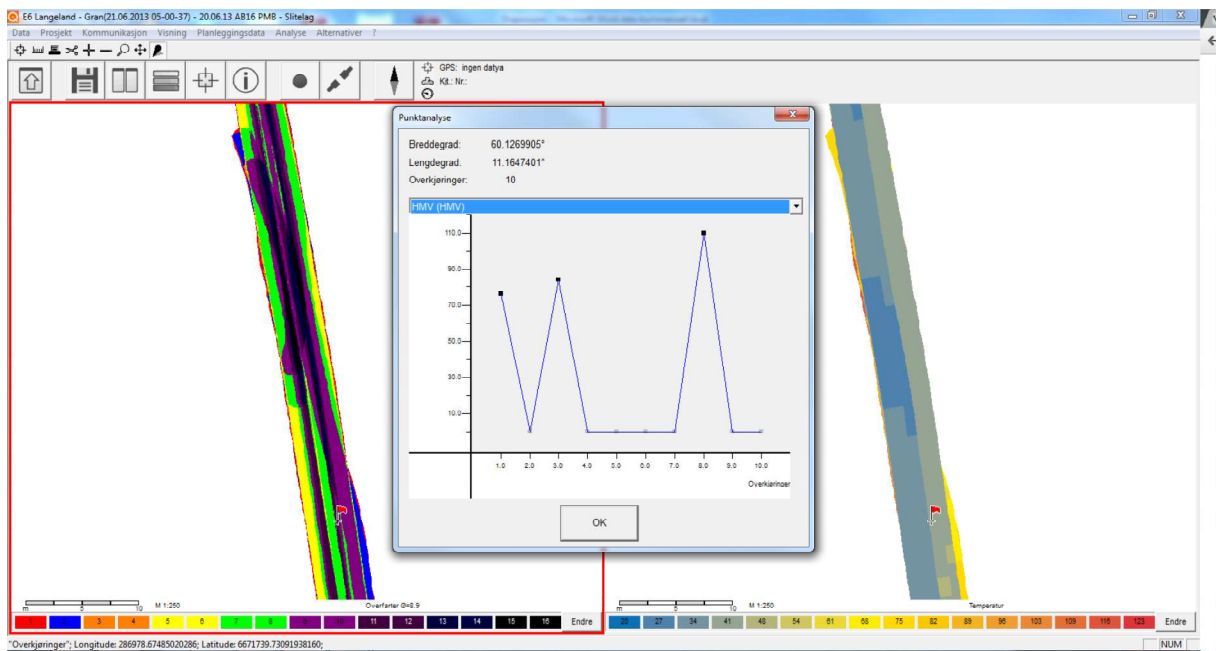
Analyseverktøyet kan også filtrere dataene slik at man raskt kan vurdere enkelte parametere. Figur 30 viser filterverktøyet. Man kan slik enkelt vurdere utførte overfarter og ved gitte temperaturintervaller. Eller slik som det er vist i figuren med en filtrering hvor det kun vises antall overfarter med oscillasjon og hvilken temperatur dekket sist ble kompaktert med dette.



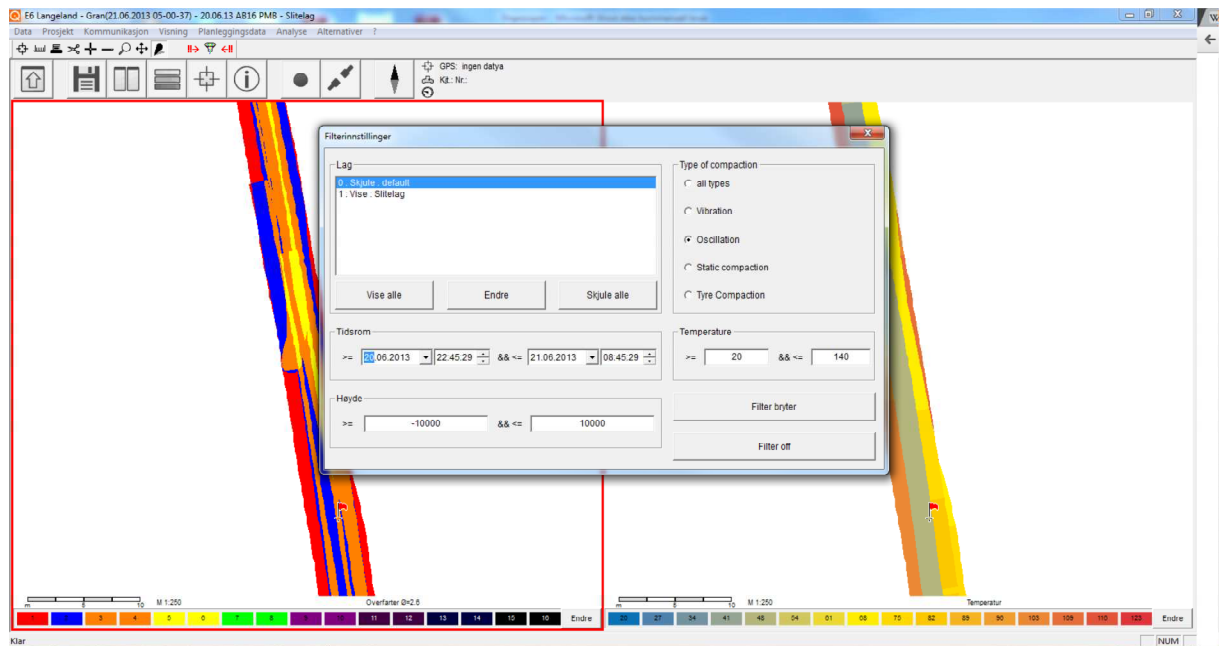
Figur 27 Viser et utklipp fra HCQ under dekkelegging på E6 21.6.2013. Her vises antall overfarter og temperatur på de to hovedvinduene. I midten vises punktanalyse av temperatur ved de respektive overfartene.



Figur 28 Viser et utklipp fra HCQ under dekkelegging på E6 21.6.2013. Her vises antall overfarter og temperatur på de to hovedvinduene. I midten vises punktanalyse av tetthetsestimering.



Figur 29 Viser et utklipp fra HCQ under dekkelegging på E6 21.6.2013. Her vises antall overfarter og temperatur på de to hovedvinduene. I midten vises punktanalyse av oppnådde HMV verdier.



Figur 30 Viser et utklipp fra HCQ under dekkelegging på E6 21.6.2013. Her vises antall overfarter og temperatur på de to hovedvinduene utført med Oscillasjon mellom 20 og 140 °C. I midten vises hvilke filterinnstillinger som kan benyttes.

4 Feltforsøk

4.1 Generelt

Forsøkene ble gjennomført med to valser på asfaltkontrakt nr 1-02-2013-03. Punkt 05 A, EV 6, Hp 10, 0,112 m – Hp 11, 5,743 m Gran x 171 – Langeland N x Rv23, Sørums kommun. Det ble levert asfalt fra asfaltverket Feiring. Det var under dekkefornyning av sliteslaget på kontrakten at skannerutstyret ble evaluert. Dette ble gjort med først del AB16 PMB og andre del SKA16 PMB.

Forsøkene som ble evaluert er tatt fra dekkefornyningen den 20.06.2013 med AB16 og 11.07.2013 med SKA16. Det ble benyttet PMB type 65/105-80. Mykningspunktet på 80 °C er nedre grense for når det har vært gunstig med kompaktering av dekket.

Det er loggført en temperatur på + 10 °C under dekkeleggingen 20.06.2013 kl 03.00, mens den var på + 16 °C 11.07.2013.

Forsøkene tar for seg et utvalg fra målepunktene byggherren foretok. Målingene ble utført med isotopmåler. Målepunktene var oppgitt etter de respektive HP'er og kilometerverdier langs E6 hvor de ble utført. Dette var vegvesenets metode for å angi plassering på det offentlige veinettet. Målepunktene plassering og deres hulrom er vist i Figur 31 for AB16 og Figur 32 for SKA16. Med hjelp av vegdata.no, en tjeneste fra vegvesenet, kunne en få kartreferanse på hvor målepunktene omtrentlig befant seg. Dette ble gjort på nettsiden ved å trykke på vegen med pekeren og få oppgitt eksakt kilometerverdi ved det punktet. Man kunne samtidig lese av kartreferanse i samme punkt. Vegvesenets nettside vegdata.no benyttet koordinater i UTM 33 (Universal Transverse mercator).

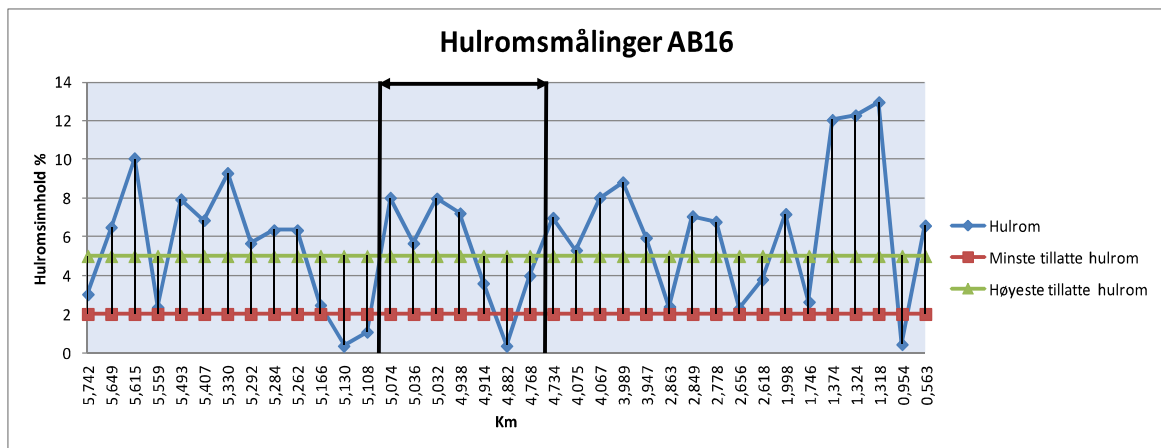
Områdene måtte så letes opp og avgrenses i leverandørens analyseprogram. Analyseprogrammet fra Hamm kunne settes til å vise koordinater i UTM 33. Dynapac sitt program hadde koordinater i UTM 32. Dette gjorde at koordinatene måtte transformeres fra UTM 33 til UTM 32 verdier. Dette ble gjort via nettsiden norgeskart.no. Statens kartverk driftet denne nettsiden.

Et oversiktsbilde over de utvalgte områdene er vist i Figur 33 og Figur 34.

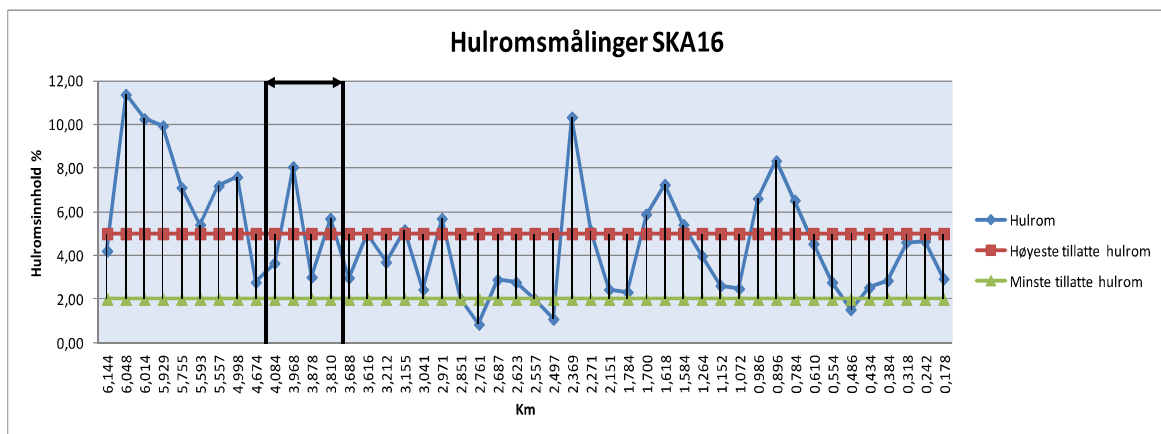
Alle målepunkter er utarbeidet med utgangspunkt i at man har fulgt teorien for kompaktering med vals, som beskrevet i kapittel 2.2 Dekkeleggingen.

I denne oppgaven er det definert at godkjent hulrom ligger mellom 2 og 5 %. For ordens skyld gjøres det oppmerksom på at resultat av isotopmåler kan ligge et par prosent høyere enn borkjerneprøver. Normal oppgis hulrom med ett desimal, i tabellene beskrives dette med flere desimal.

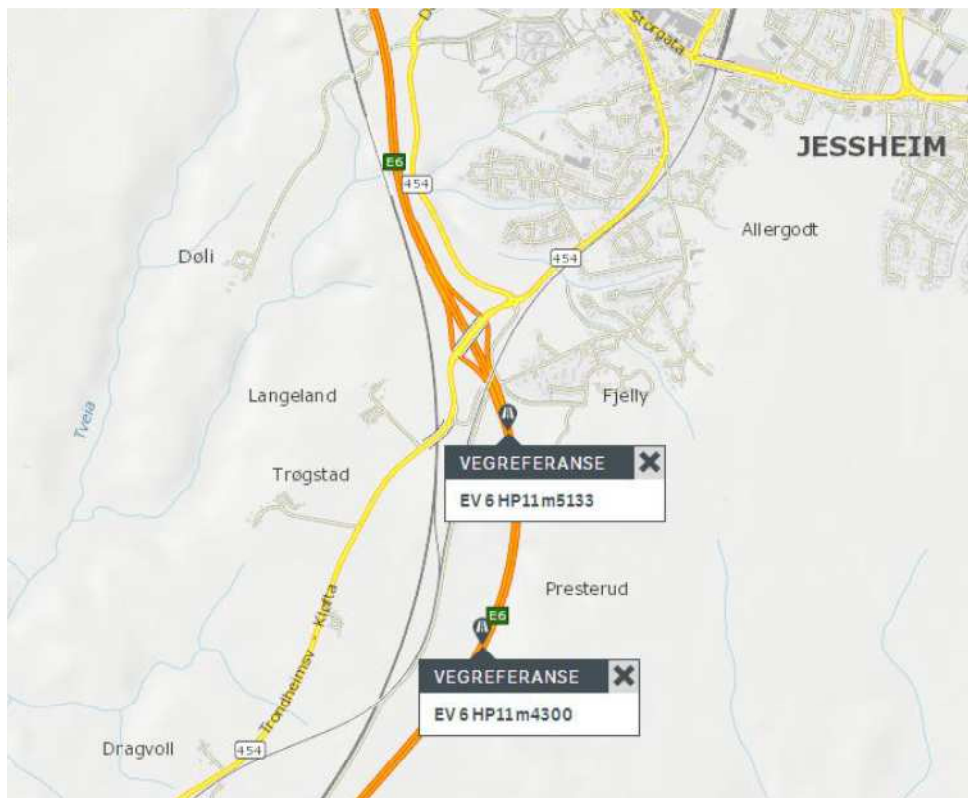
Det er også tatt med resultater fra IR-Skanninger fra utlegger, utarbeidet av Roar Telle fra Veiteknisk Institutt. Rapporten har fokusert det arbeidet utlegger har utført. Dataene har blitt tatt med for å se om en kan gjenfinne de risikoarealer som man har definert i rapporten og om dette har hatt innvirkning på resultatet av kompakteringen.



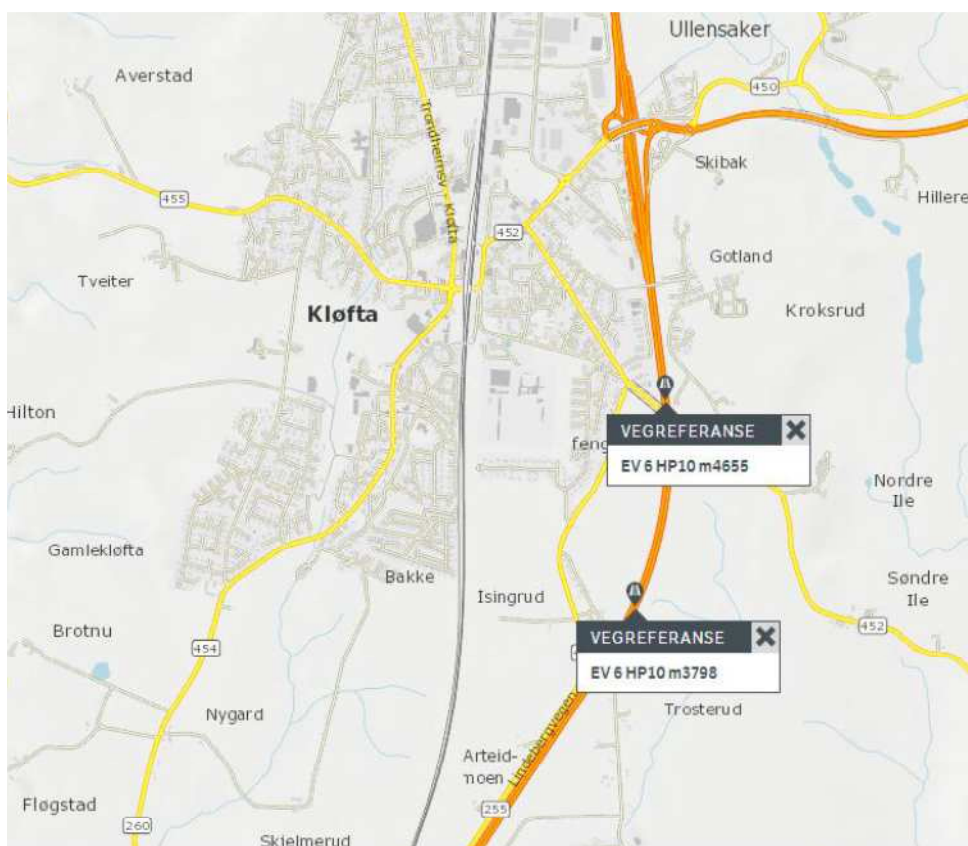
Figur 31 Viser Statens Vegvesens hulrommålinger fra dekkeleggingen med AB16.



Figur 32 Viser Statens Vegvesens hulrommålinger fra dekkeleggingen med SKA16.



Figur 33 Viser start og slutt på dekkefornyingen med AB16 den 20.6.2013. Kartet er hentet fra vegdata.no. «Inneholder data under norsk lisens for offentlige data (NLOD) tilgjengeliggjort av Statens vegvesen».



Figur 34 Viser start og slutt på dekkefornyingen med SKA16 den 11.7.2013. Kartet er hentet fra vegdata.no. «Inneholder data under norsk lisens for offentlige data (NLOD) tilgjengeliggjort av Statens vegvesen».

4.2 Utstyr som ble benyttet under dekkeleggingen

Det ble benyttet to valser for kompaktering av dekket. Valsen fra Dynapac var modell CC334HF som vist i Figur 35 og fra Hamm ble det benyttet modell DV 90 VO som vist i Figur 36.

Dynapac sin vals oppgis å ha en maskinvekt på 9000 kg og en statisk linjelast på 26 kg/cm framme og bak. (Dynapac 2013)

Hamm sin vals oppgis å ha en maskinvekt på 9665 kg og en statisk linjelast framme på 29,6 kg/cm og 27,9 kg/cm bak. (Hamm 2014a)

Det ble ikke benyttet noen basestasjon som referanse for navigasjonsutstyret. Større avvik i horisontalplanet kan derfor ha forekommet.

Både entreprenør og byggherre benyttet isotopmåler til hulromsmålinger. Byggherrens målinger ble benyttet videre i arbeidet.



Figur 35 Bilde av vals fra Dynapac som ble nyttet under dekkeleggingen. Foto: Karoline Vaager



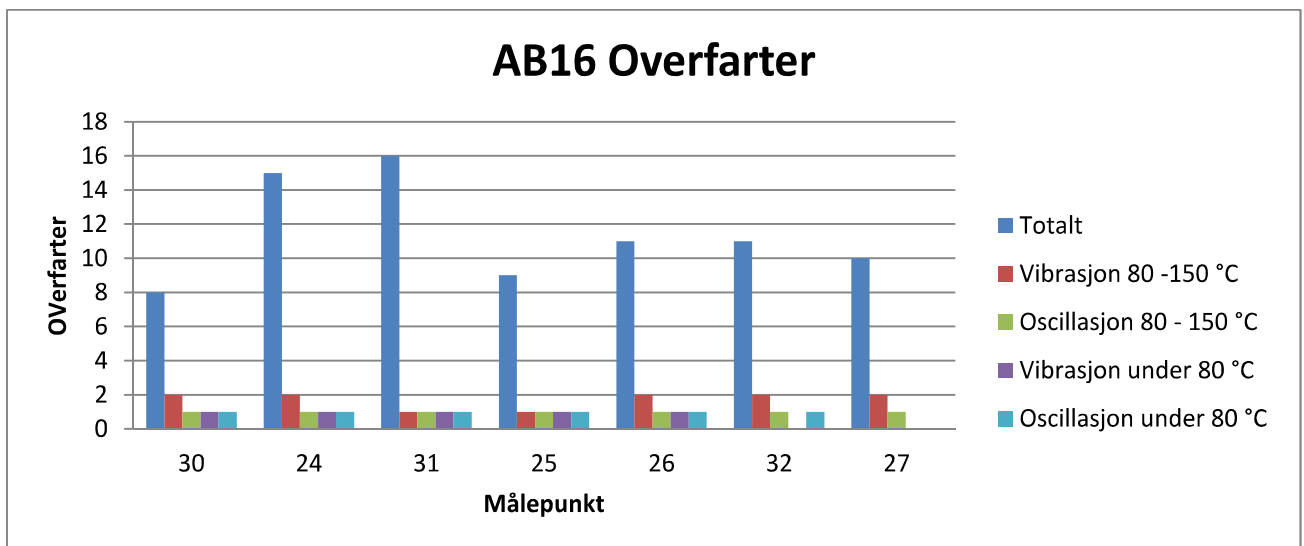
Figur 36 Bilde av valse fra Hamm som ble nyttet under dekkeleggingen. Foto: Karoline Vaager

4.3 AB16

Tabell 3 Oversikt over de avleste data fra utvalgte målepunkter med SKA16. Tabellen angir målepunktene, deres plassering med kilometerverdi, hulrominnhold, definerte risikosoner i rapport fra Telle, samt en grovt avlest hastighet på utlegger i områdene hvor målepunktene befant seg. Overfarter samlet er oppsummert fra begge leverandører. Overfarter Hamm ble filtrert ut og sortert for seg da dette var mulig hos denne leverandøren. Målepunkt 26 og 27 hadde godkjent hulrom og er markert i grønt.

AB16									
Målepunkt	Km	Hulrom	Risikosone	Utleggerhastighet	Overfarter Samlet		Overfarter Hamm		
					Totalt	Vibrasjon 80 -150 °C	Oscillasjon 80 - 150 °C	Vibrasjon under 80 °C	Oscillasjon under 80 °C
		%	m	m/min					
30	5,074	8,02		7	8	2	1	1	1
24	5,036	5,67		5,5	15	2	1	1	1
31	5,032	7,98	98-114	6	16	1	1	1	1
25	4,938	7,22	191-206	5	9	1	1	1	1
26	4,914	3,59	-	9	11	2	1	1	1
32	4,882	0,36	283-287	8,5	11	2	1	0	1
27	4,768	3,99	359-368	3	10	2	1	0	0

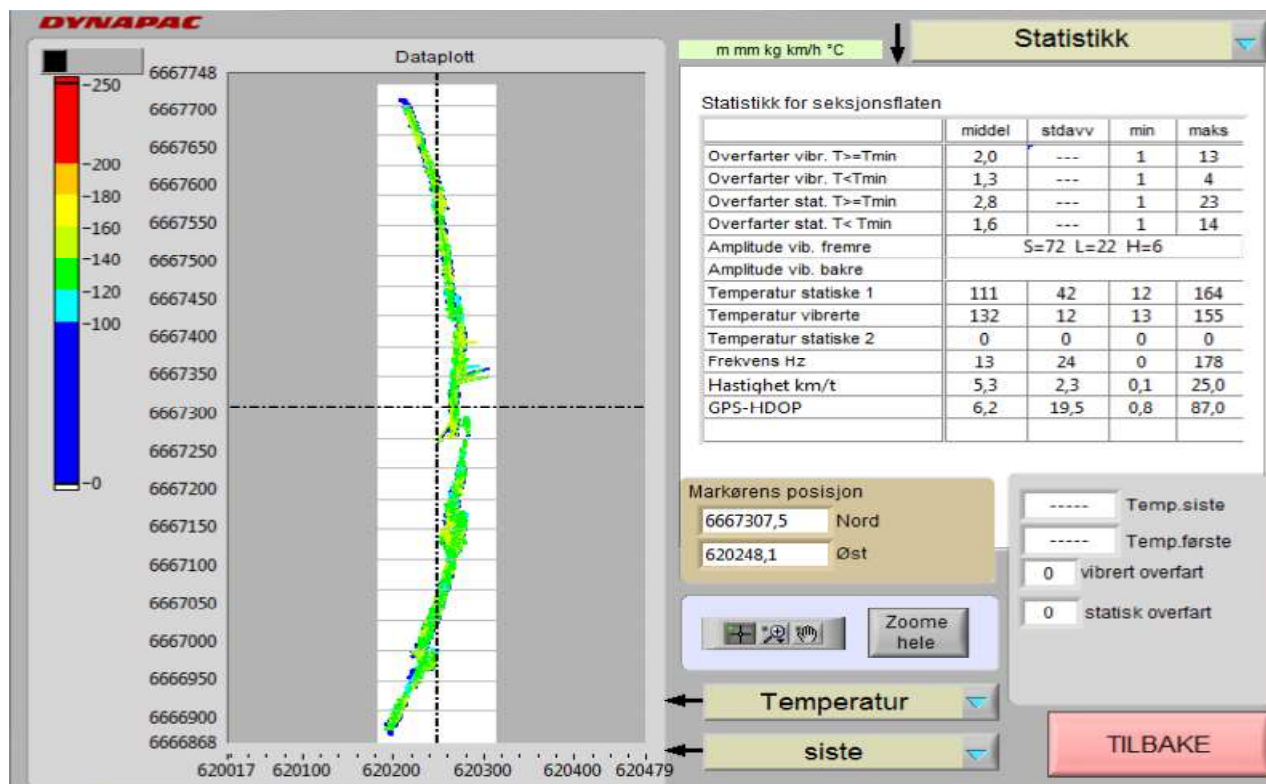
Vurdering: Tabell 3 er vurdert nærmere i kapittel 5.1.1



Figur 37 Grafisk illustrasjon av de ulike typer overfarter fra

Tabell 3.

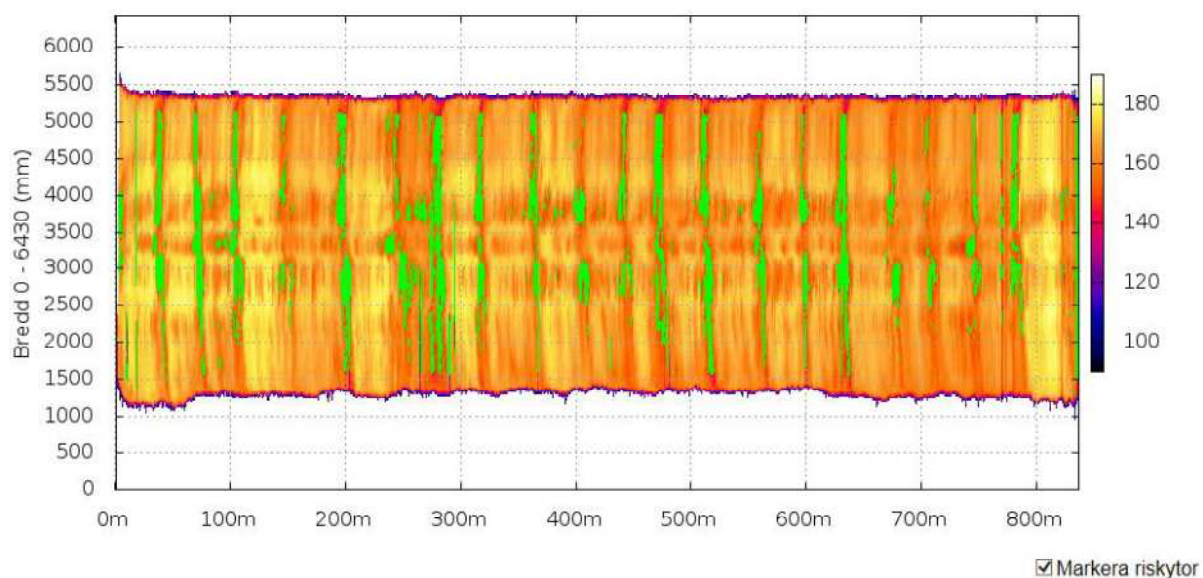
Vurdering: Figur 37 illustrerer at det totalt sett har vært mange overfarter, men det har ikke vært tilstrekkelig overfarter med vibrasjon over mykningspunktet. Dårlig posisjonering på valsen fra Dynapac har ødelagt for tellingen av antallet overfarter.



Figur 38 Statistikk som analyseprogrammet DCA-A utarbeidet for hele dekkeleggingen.

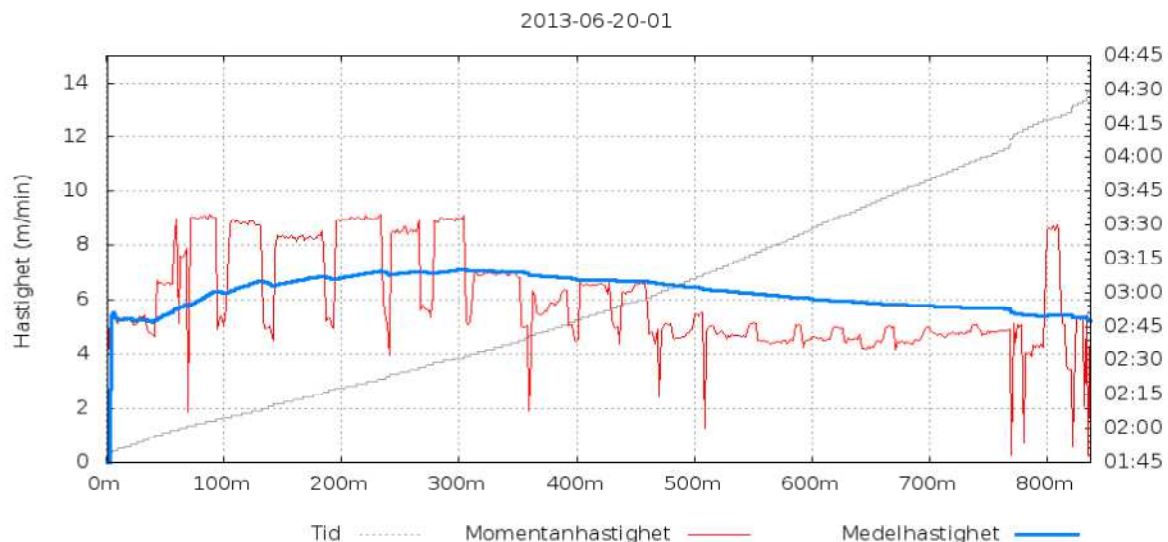
Vurdering: Det har i oppgaven vært lagt mest vekt på GPS-HDOP i Figur 38. Dette fordi det har vært dårlig posisjoneringsdata på overfartene. Den dårlige posisjeringen har påvirket hvordan antallet overfarter har blitt talt opp.

4.3.1 Risikoområder fra utlegger



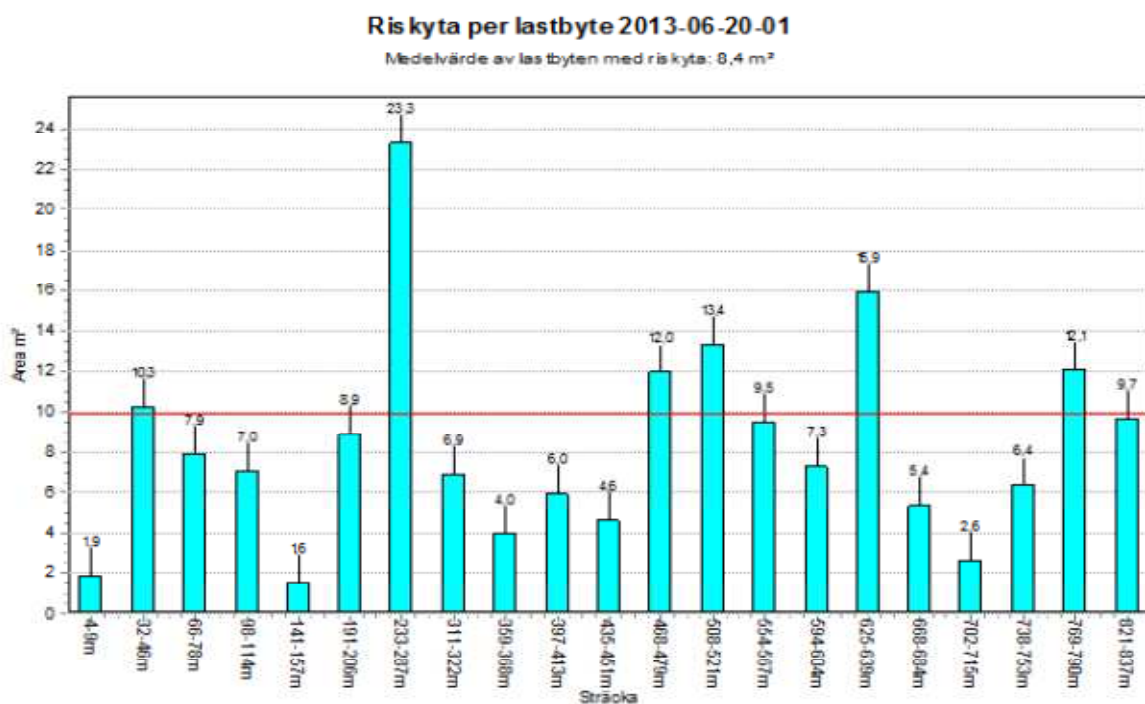
Figur 39 Utvalgt strekning som ble dekkelagt, med risikoareal markert. (Telle 2013)

Vurdering: Figur 39 viser partiene med lav temperatur fra lassbyttene. Dette er målt opp i antall m^2 i Figur 41.



Figur 40 Viser utleggerens hastighet under dekkeleggingen. (Telle 2013)

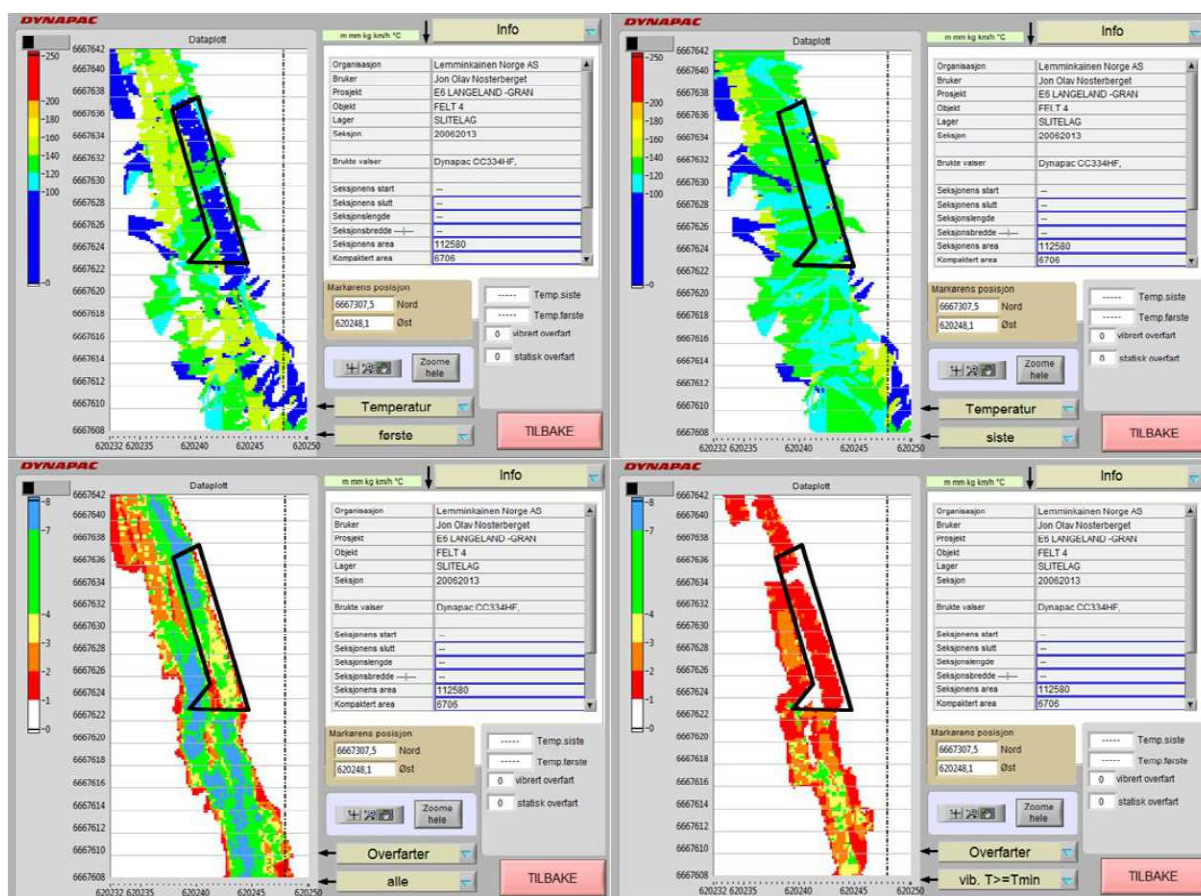
Vurdering: Figur 40 viser utleggerens hastighet. Man kan se at den til tider har vært veldig høy. På deler av de første 300 meterne har den vært oppe 9 m/min. Utleggeren skal ikke kjøre fortere enn 4-5 m/min. Hvis utlegger kjører for fort vil det bli dårlig tid for valsen å lukke dekket. Massen kan bli lagt ut ujevnt. Utlegger bør også ha færrest mulig stans da dette kan medføre en høynet risiko for separasjon i massene. Stansene kan sees der momentanhastigheten faller markant.



Figur 41 Viser utvalgte risikoarealer hvor det har vært lassbytter til utlegger. (Telle 2013)

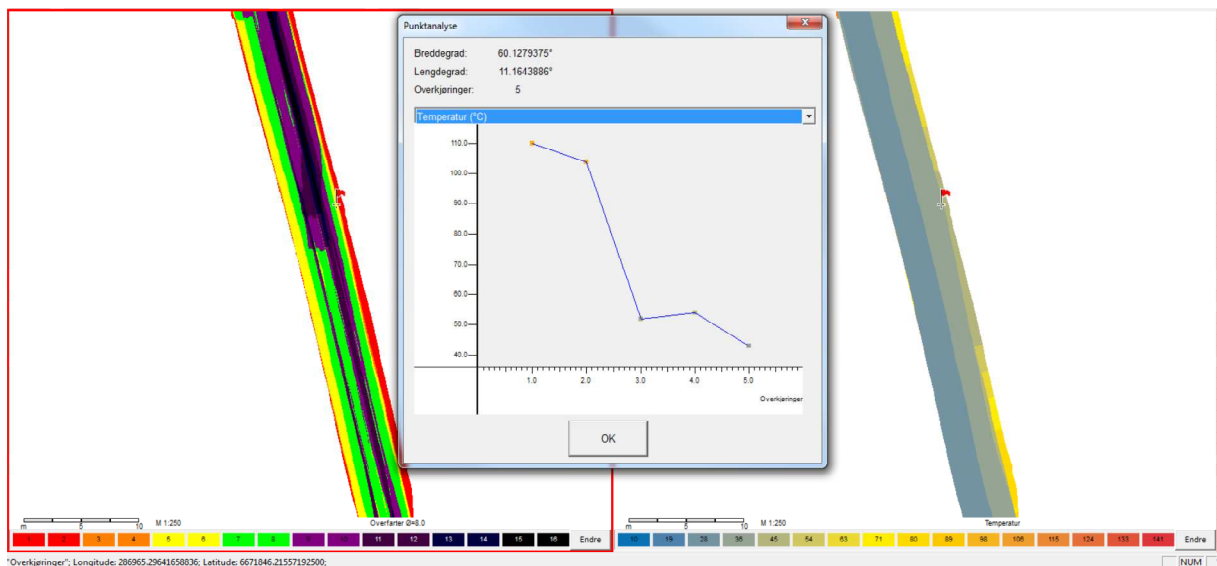
Vurdering: Figur 41 viser de definerte risikoarealene etter de merkede partiene i Figur 39. Her det målt opp i antall m². Risikoarealene kommer av lassbytter med kalde masser. Dette gir valsene dårligere tid til kompakteringsarbeidet.

4.3.2 Målepunkt 30



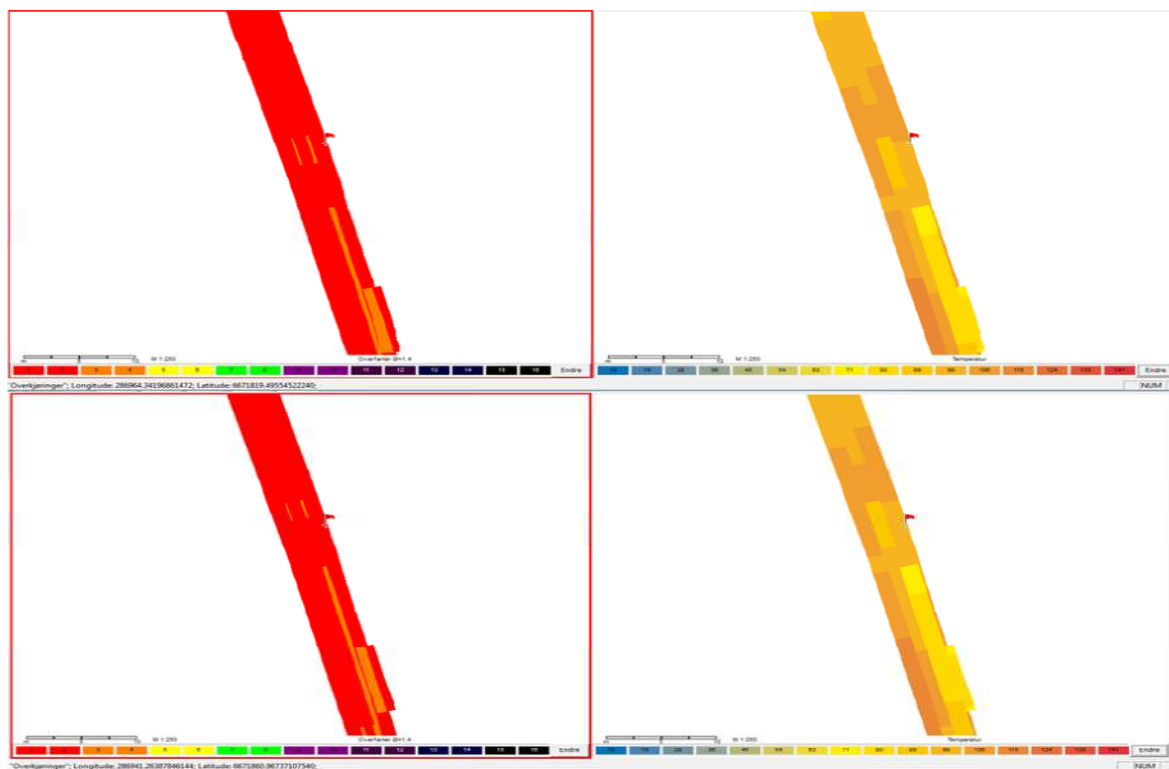
Figur 42 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur første overfarter, øvre H. bilde viser temperatur siste overfarter. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{\min} som var satt til 100 °C.

Vurdering: Det markerte området i Figur 42 er valgt da området har en lav temperatur og få overfarter med vibrasjon. Temperaturen som er vist fra Figur 42 indikerer en lavere temperatur ved første overfarter enn siste. Dette burde vært motsatt, da en burde forvente at temperaturen skal synke. Det antas derfor at måleapparatet har skannet inn feil temperatur. Området er allikevel av interesse, da det har et lavt antall overfarter. De nedre bildene som angir overfarter viser at det spesielt nederste venstre del av det markerte området har få overfarter totalt og ingen med vibrasjon. Det kan virke som at skanningen ikke har klart å fange opp et riktig bilde.



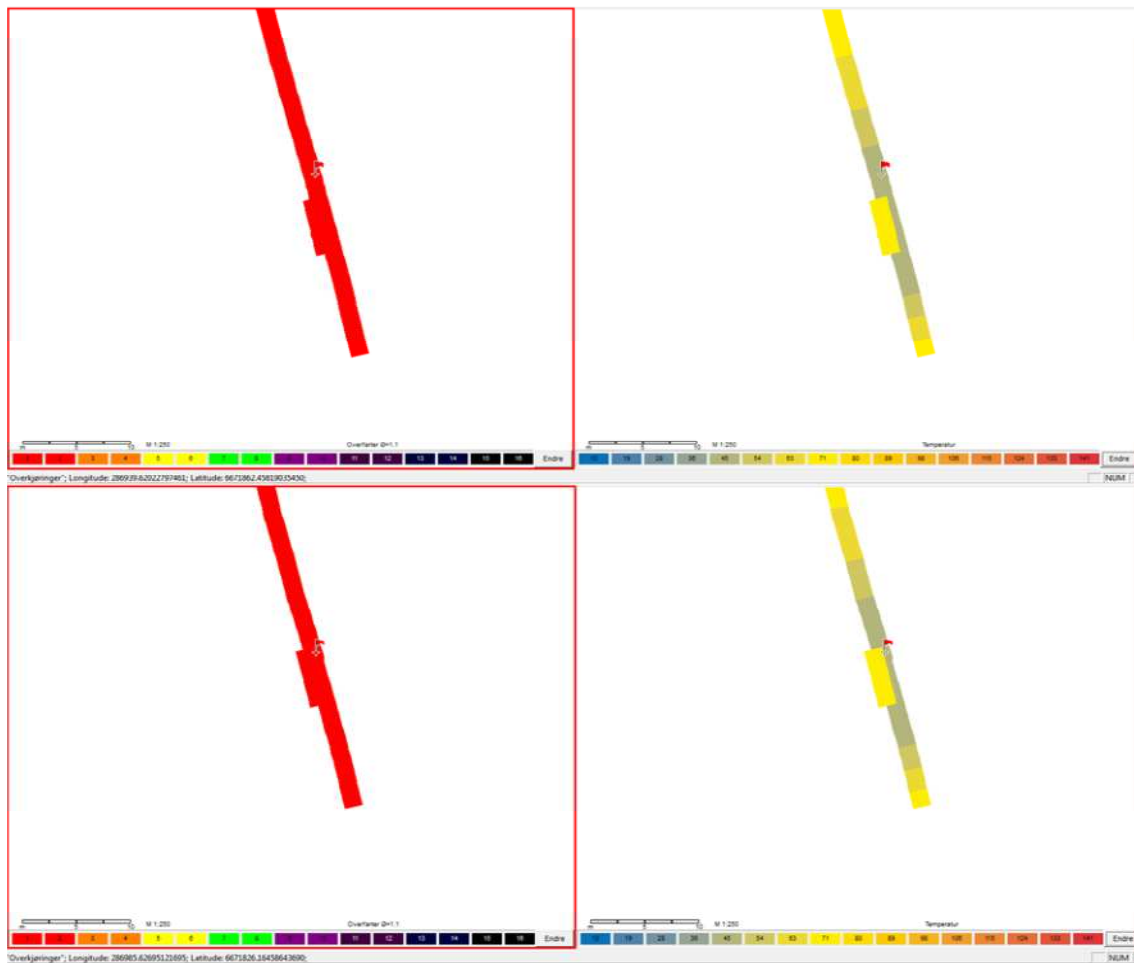
Figur 43 Viser alle typer overfarter som er utført av valsen fra Hamm mellom 10 og 150 °C. Ruten med punktanalyse i midten angir temperaturen for hver overfart.

Vurdering: Figur 43 viser alle overfarter utført av valsen fra Hamm. I senter av veien ser det ut til at det totalt har blitt kjørt over mer enn 9 ganger. Det utvalgte punktet har 5 overfarter totalt, hvor den siste overfarten var på 20 – 30 °C. Generelt virker det som at det er tegnet et godt bilde av overfartene som er utført. Dekningen på signalene fra satellittene tyder derfor på å være gode.



Figur 44 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

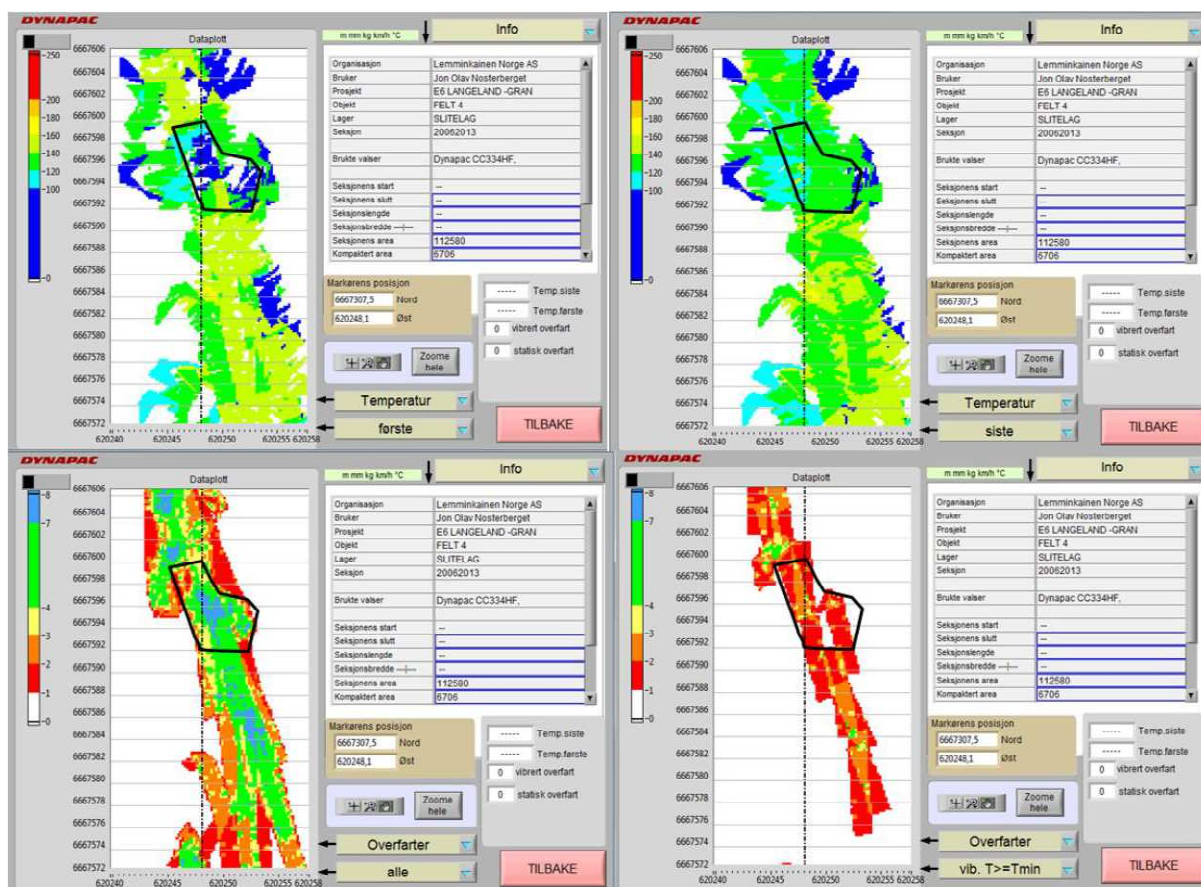
Vurdering: Figur 44 viser at det i området som målepunktet er foretatt kun har hatt en overfart med vibrasjon og en med oscillasjon innenfor det ønskede intervallet på 80 – 150 °C.



Figur 45 Overfarter fra Hamm utført mellom 10 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

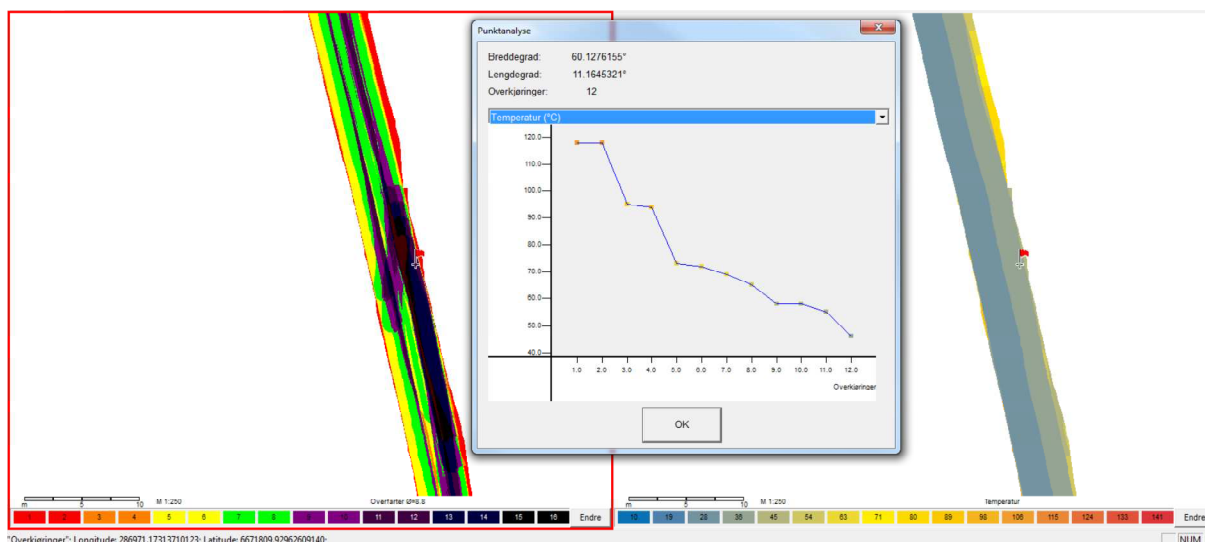
Vurdering: Figur 45 indikerer at måleområdet har blitt kompaktert med vibrasjon og oscillasjon under 80 °C. Dette virker ikke gunstig på hulrommet

4.3.3 Målepunkt 24



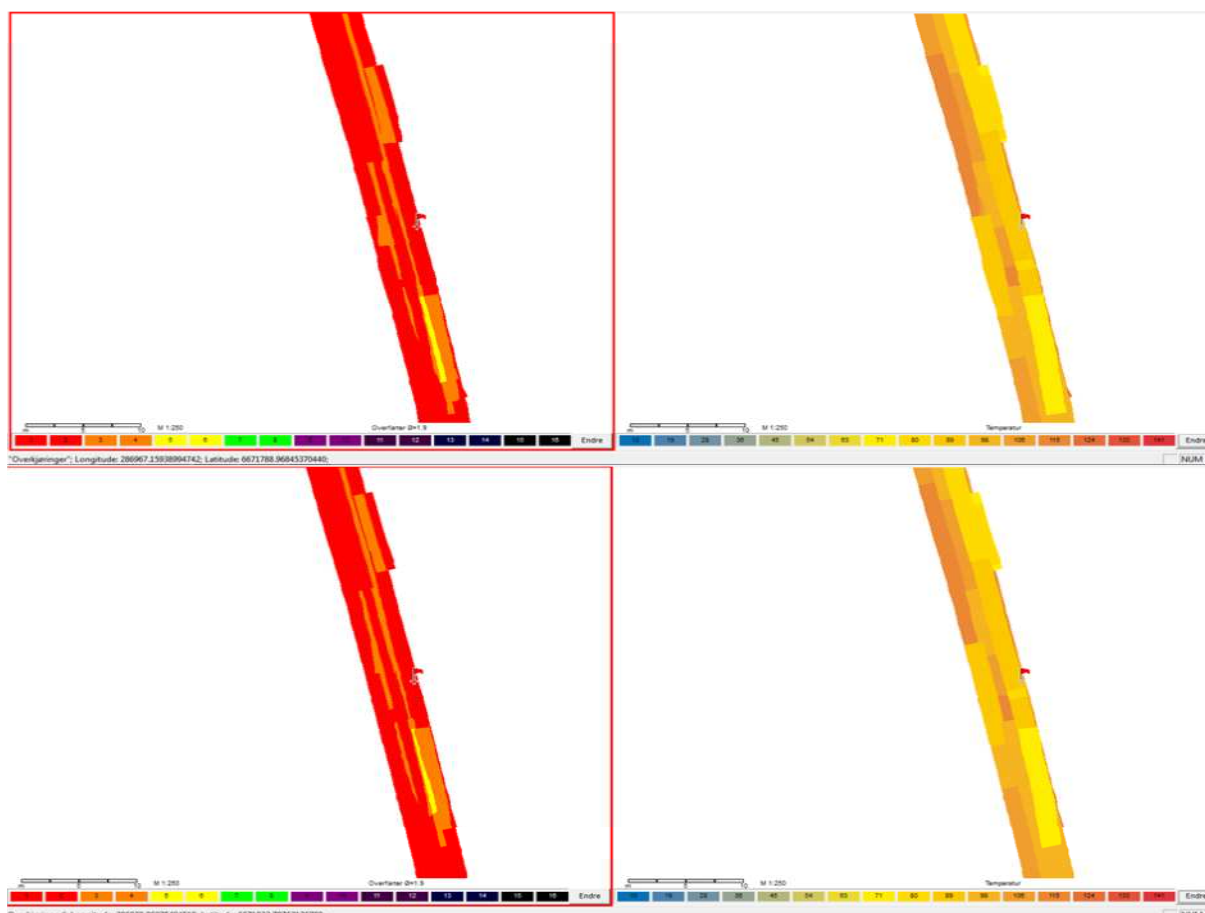
Figur 46 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur først overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{min} som var satt til 100 °C.

Vurdering: Det utvalgte området i Figur 46 antyder på første overfart en temperatur under 100 °C mens siste overfart indikerer en temperatur som er mellom 120 og 140 °C. Temperaturbildene virker også som at de flyter noe utover. Antar at dette har oppstått da mottaket for satellittene ikke har vært gode nok.



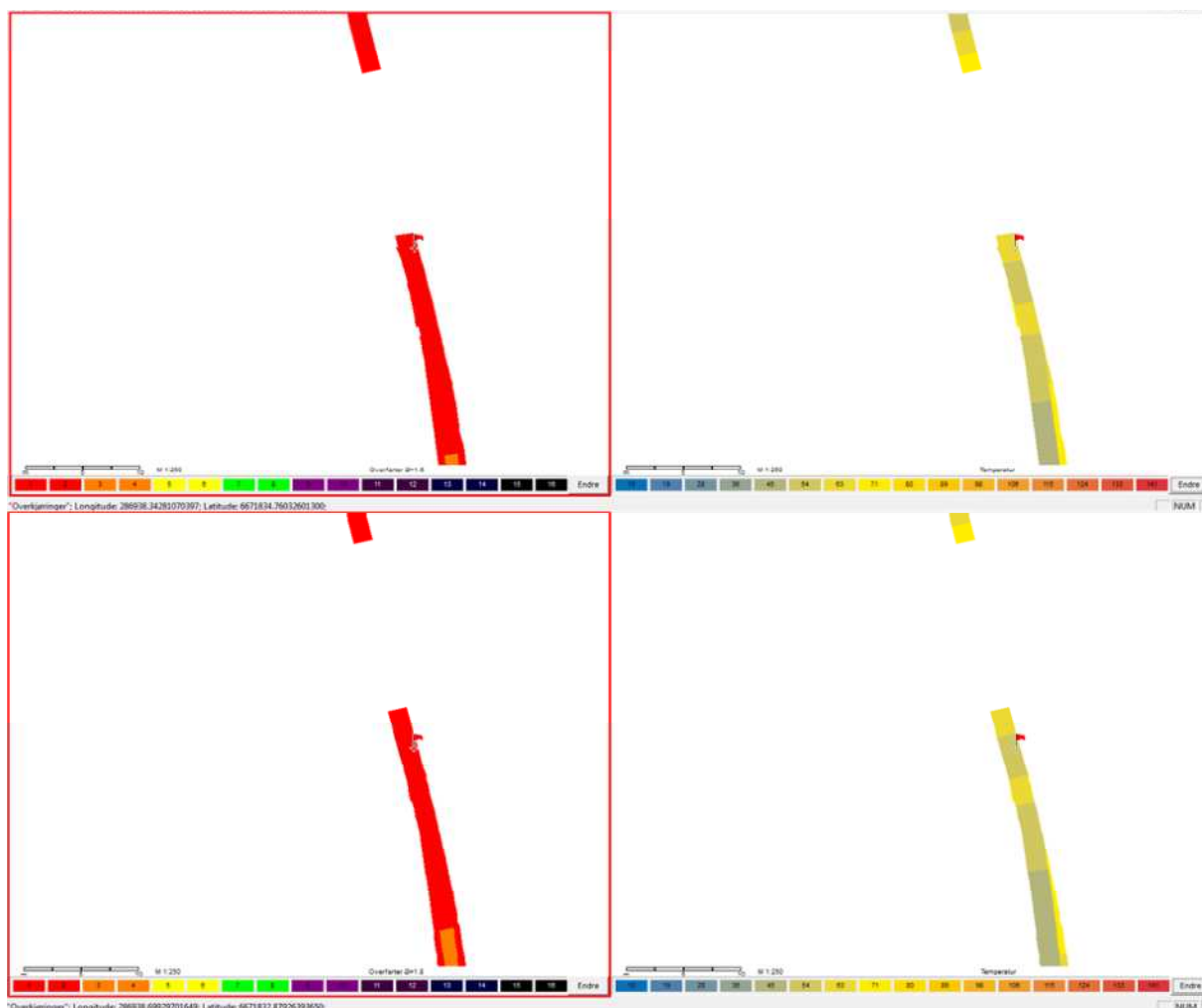
Figur 47 Viser alle typer overfarter som er utført av valsen fra Hamm mellom 10 og 150 °C.

Vurdering: Det er totalt 12 overfarter i det utvalgte punktet i Figur 47. Bildet som er tegnet av overfartene virker å gjengi disse godt. Punktanalysen viser en starttemperatur på 120 °C.



Figur 48 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

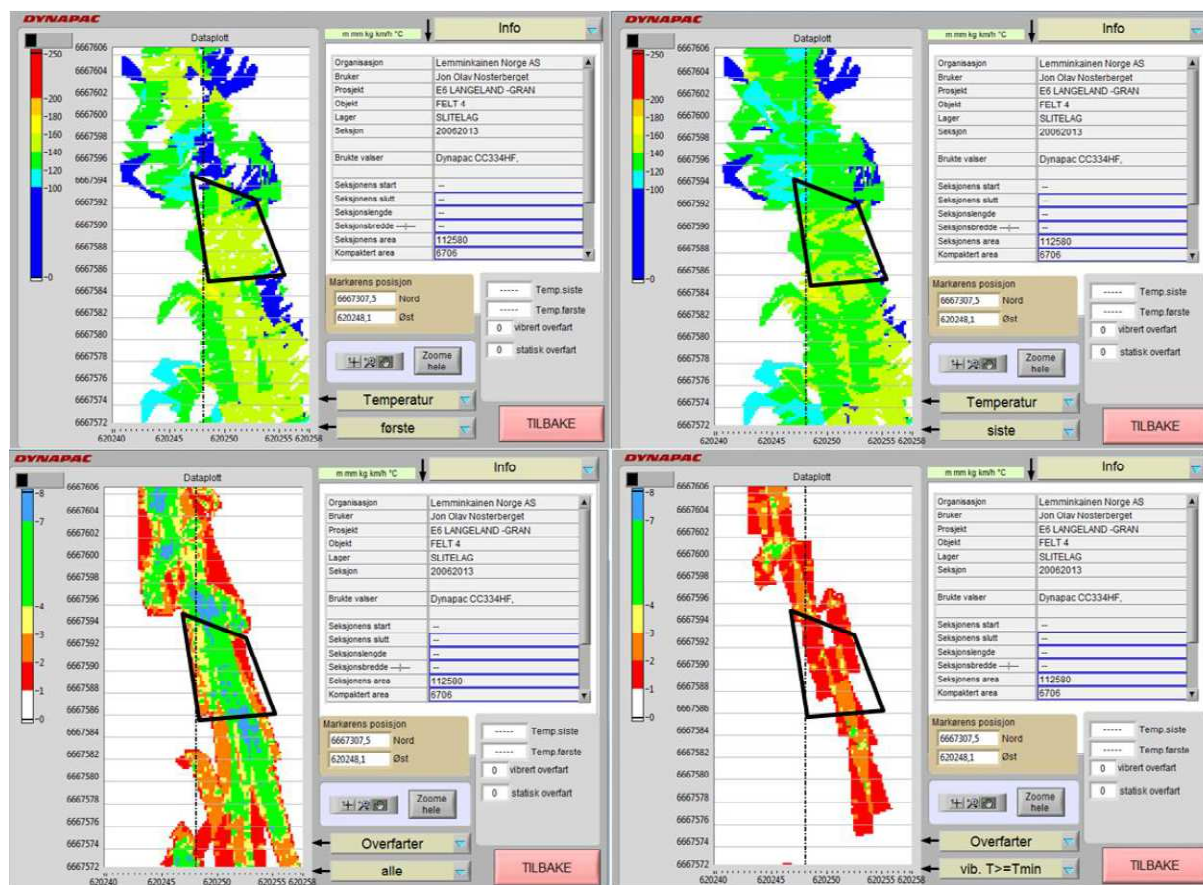
Vurdering: Området i Figur 48 har kun blir kompaktert med en overfart med vibrasjon og en med oscillasjon innenfor det ønskede intervallet.



Figur 49 Overførte fra Hamm utført mellom 10 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overførte med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overførte med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overførte utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overførte med oscillasjon.

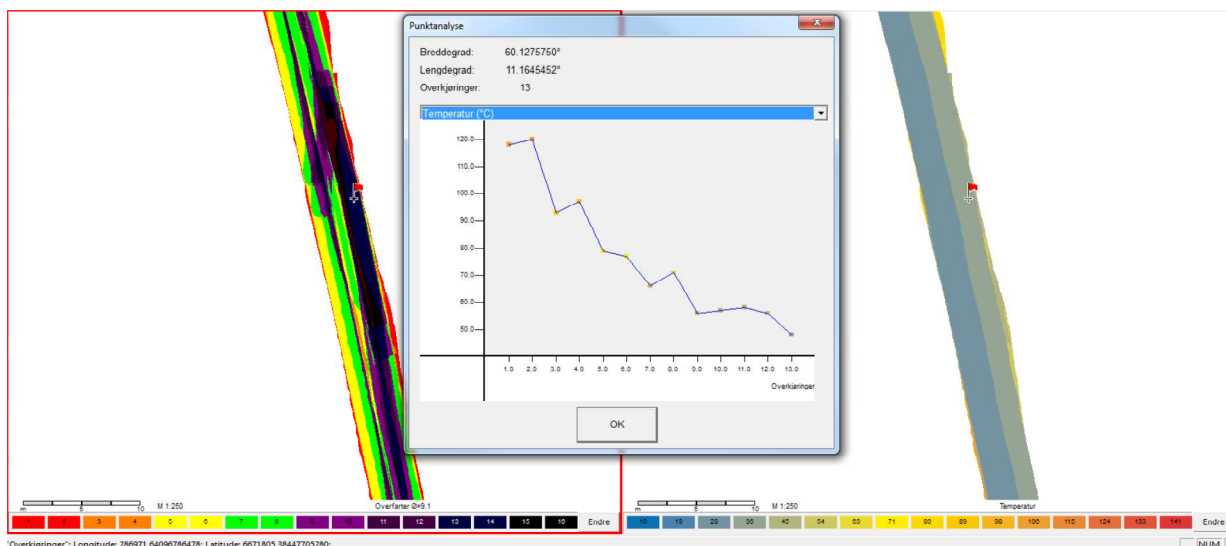
Vurdering: Det utvalgte området i Figur 49 har blitt kompaktert med en overførte med vibrasjon og oscillasjon utenfor det ønskede arbeidsområdet, ved siste overførte indikeres det en temperatur på 50 – 60 °C.

4.3.4 Målepunkt 31



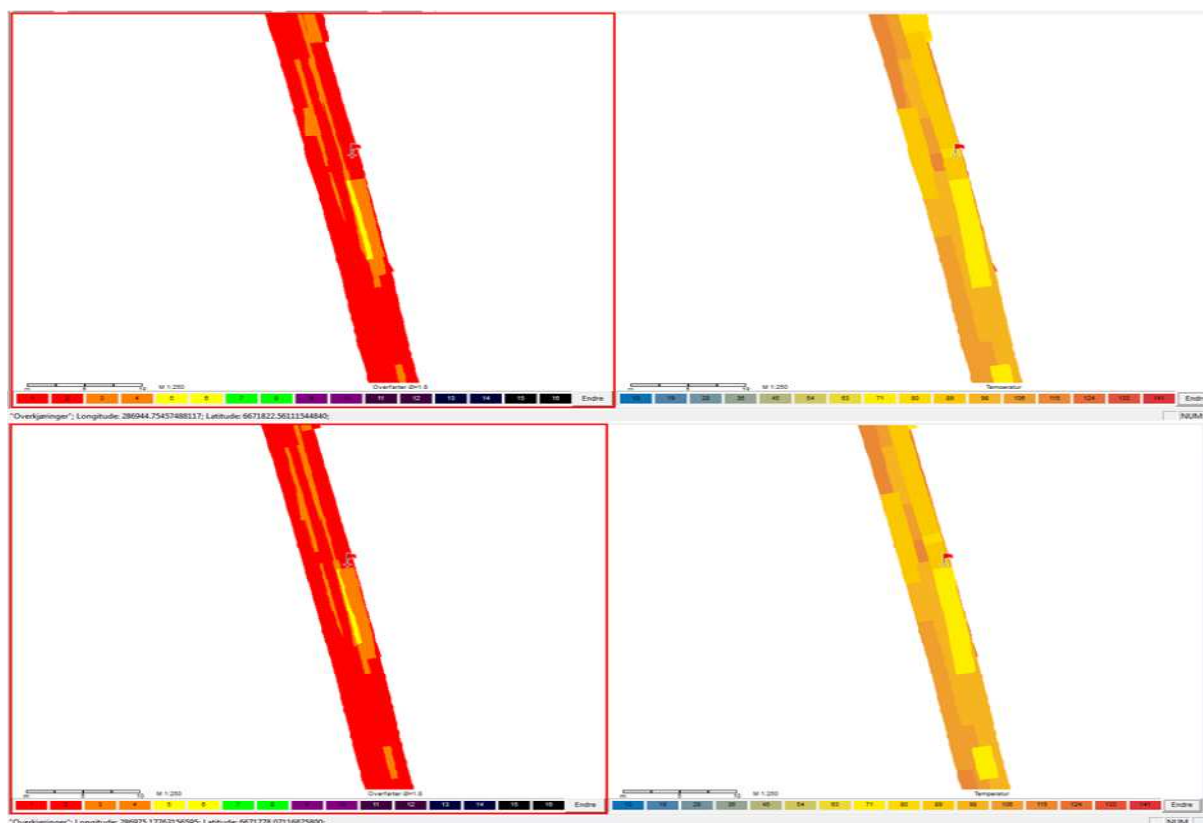
Figur 50 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur først overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{min} som var satt til 100 °C.

Vurdering: Temperaturen som er avlest i Figur 50 virker mer riktig enn foregående målepunkt. Dette fordi temperaturen faller fra første til siste avlesning. Det virker å ha blitt utført bare en eller ingen kompaktering med vibrasjon i området.



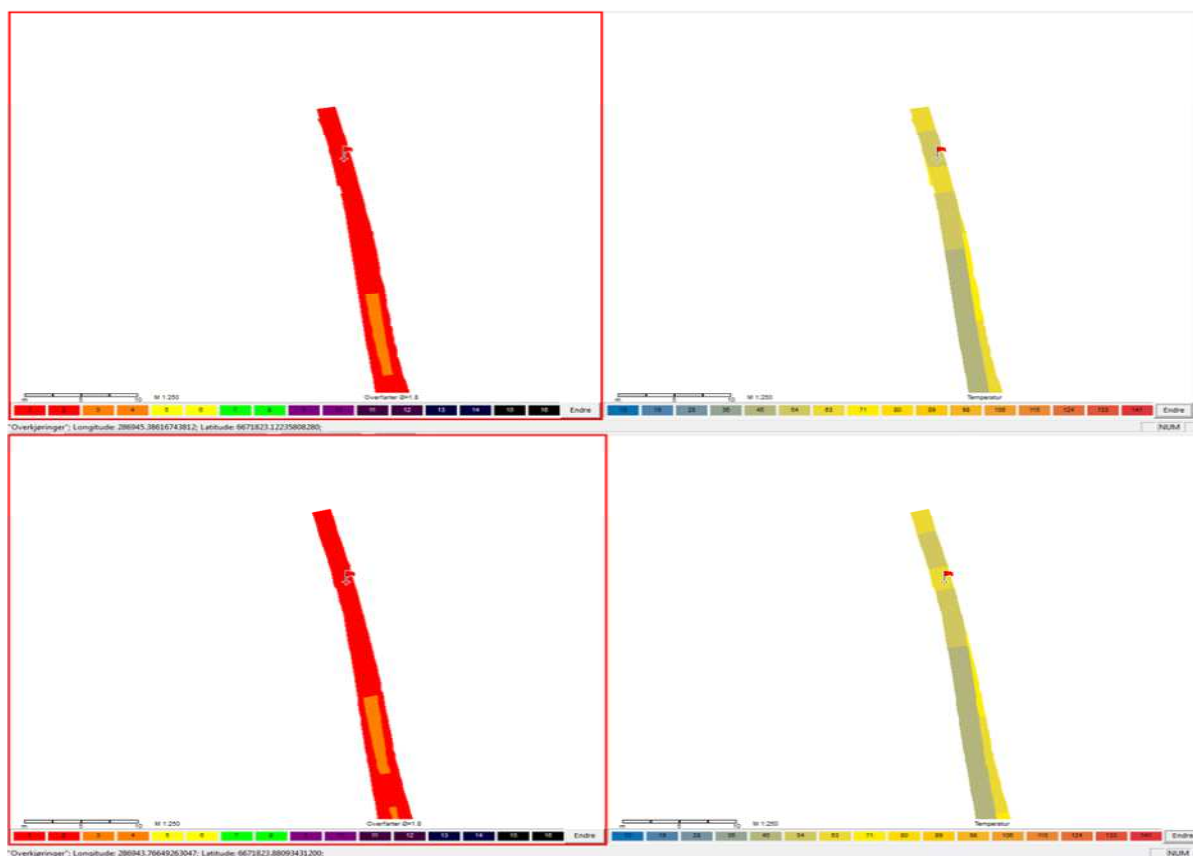
Figur 51 Alle typer overfarter som er utført av valsen fra Hamm mellom 10 og 150 °C.

Vurdering: Det virker å ha vært noen utfordringer ved det utvalgte området i Figur 51. Tretten overfarter totalt virker mye. En kan spørre seg om det har foregått transport frem og tilbake for å etterfylle vann til valsen eller om området har vært spesielt utfordrende. Det er indikert en temperatur på 120 °C når valsen fra Hamm overtok.



Figur 52 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

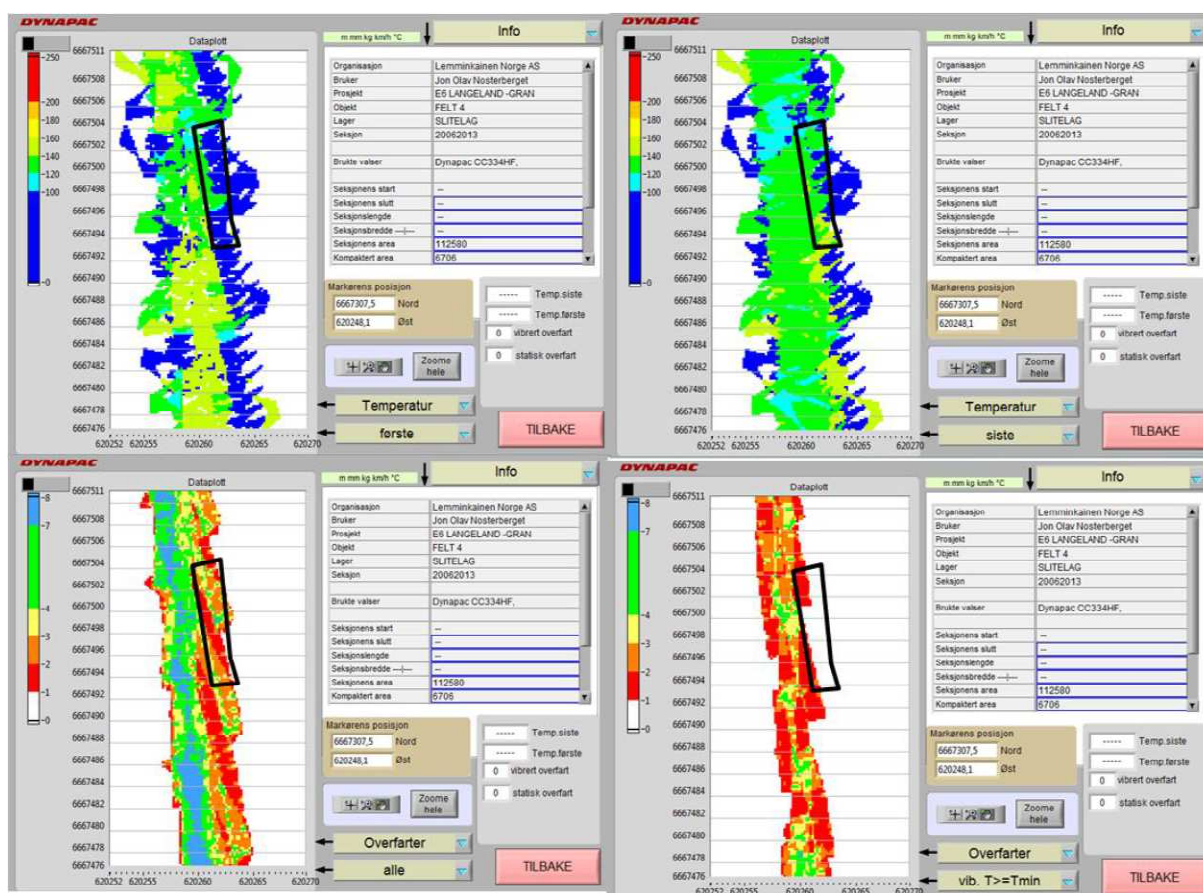
Vurdering: Det utvalgte området i Figur 52 har bare mottatt en overfart med vibrasjon og oscillasjon innenfor det ønskede temperaturintervallet.



Figur 53 Overfarter fra Hamm utført mellom 10 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

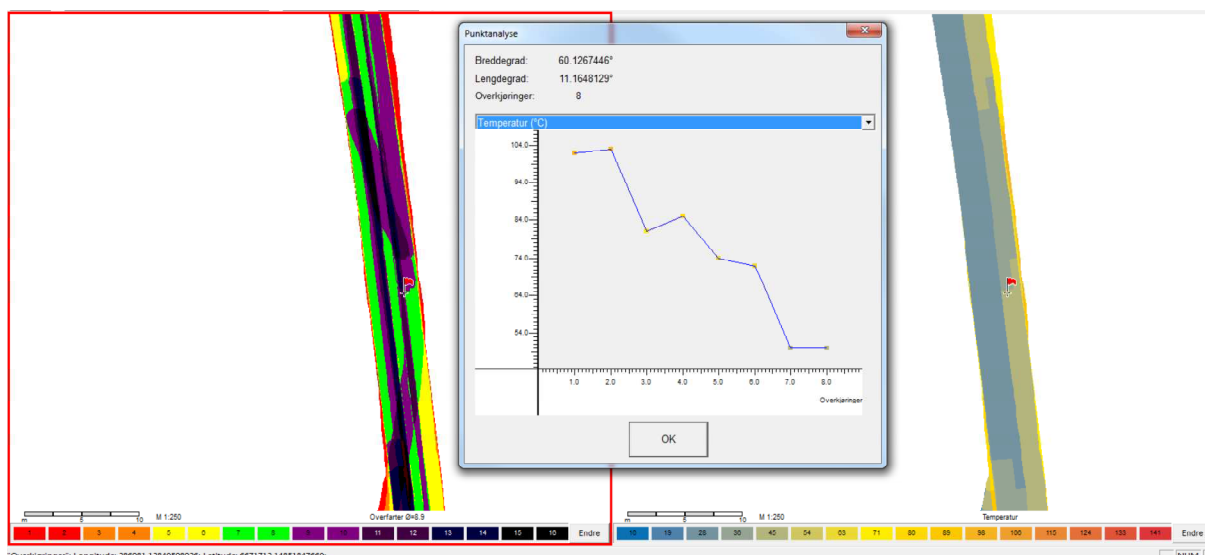
Vurdering: Området i Figur 53 viser at dekket har blitt kompaktert en gang med vibrasjon og oscillasjon utenfor det ønskede arbeidsområdet.

4.3.5 Målepunkt 25



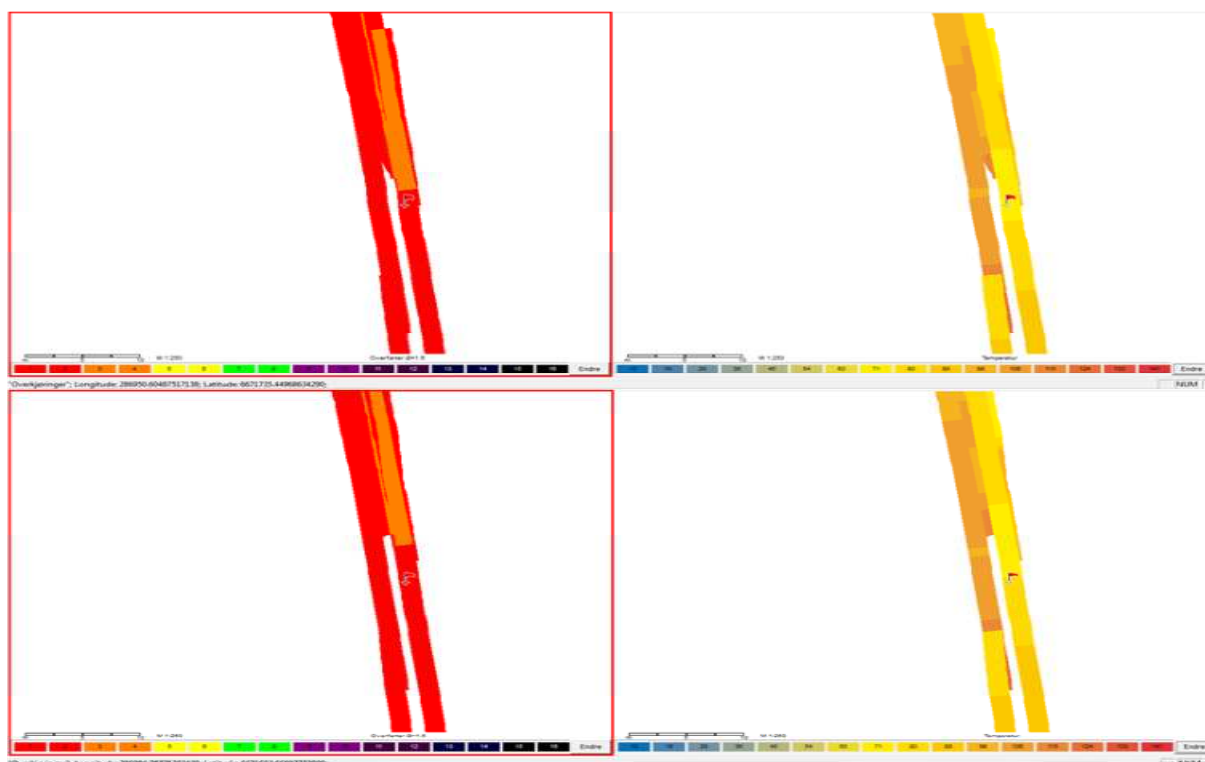
Figur 54 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur første overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{min} som var satt til 100 °C.

Vurdering: Temperaturen i Figur 54 virker å være lavere i en større andel av det utvalgte området ved første overfart enn ved siste. Avlesningen ved siste overfart virker å gi et bedre bilde av den faktiske temperaturen. Andelen som er markert under 100 °C kan være en avlesning fra tilliggende asfalt som er kald, eller nylagt asfalt som er nedkjølt ekstra i kontakt med kaldere asfalt.



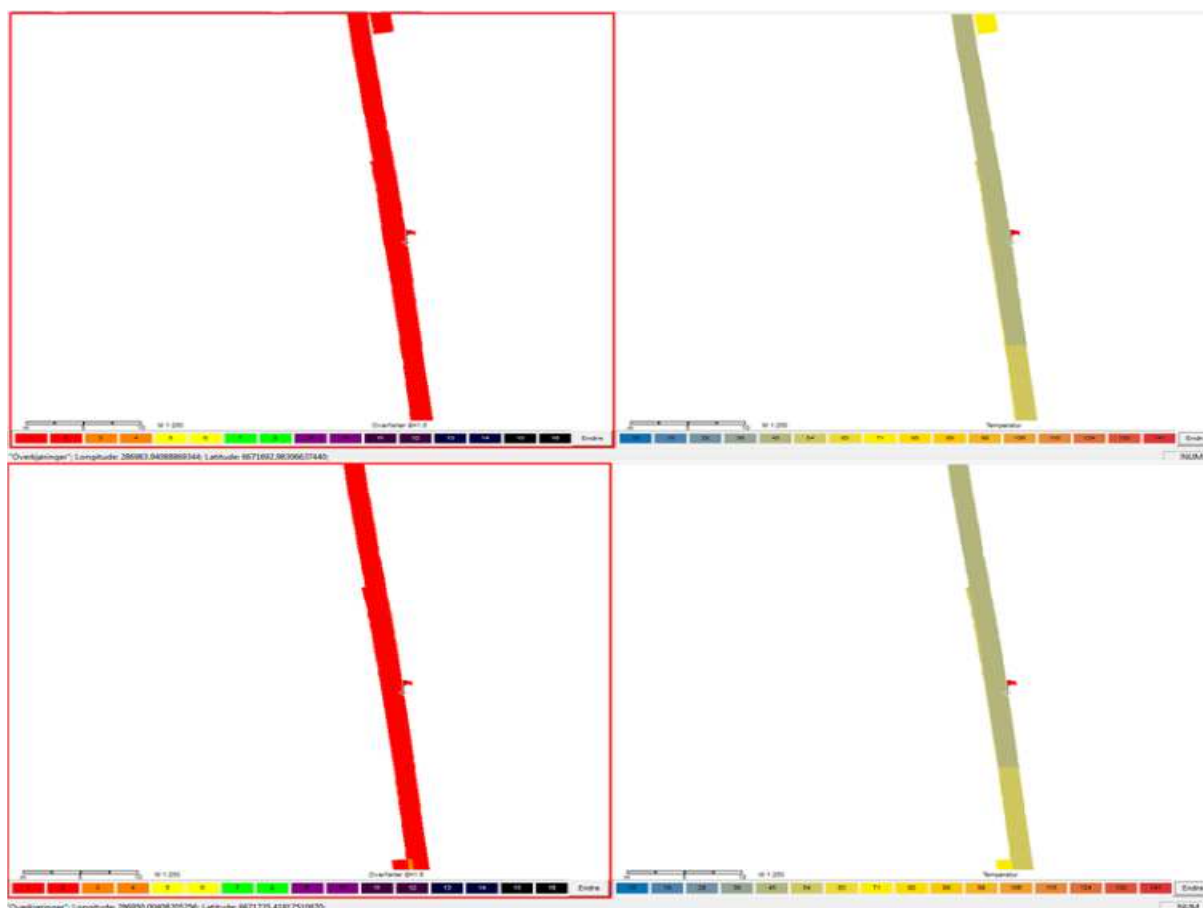
Figur 55 Alle typer overførter som er utført av valse fra Hamm mellom 10 og 150 °C.

Vurdering: Området som er utvalgt i Figur 55 kan ha fått noen ekstra overførter registrert, men det antas at dette kun er i forbindelse med at man har overlapping ved kompakteringen. Det er registrert en temperatur på 104 °C som man kan i tabellen i midten av figuren. Valsefører virker derfor å ha hatt kort tid til å bearbeide dekket før han når 80 °C.



Figur 56 Overførter fra Hamm utført mellom 80 og 150 grader °C. Øverst V. Ser man antall overførter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overførter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

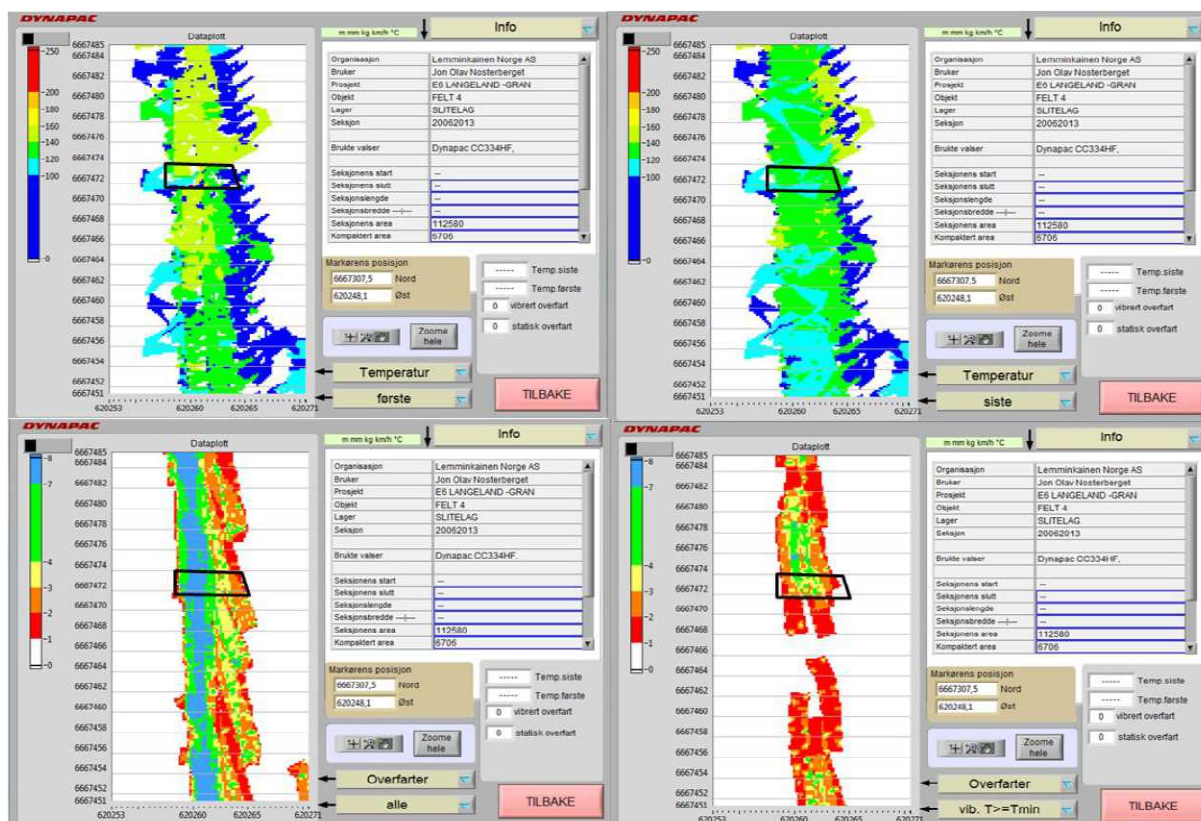
Vurdering: Kompaktering er bare utført med en overfart med vibrasjon og oscillasjon i Figur 56 innenfor det ønskede intervallet. Midtre part av veien har ikke blitt bearbeidet innenfor ønsket temperaturintervall.



Figur 57 Overfarter fra Hamm utført mellom 10 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

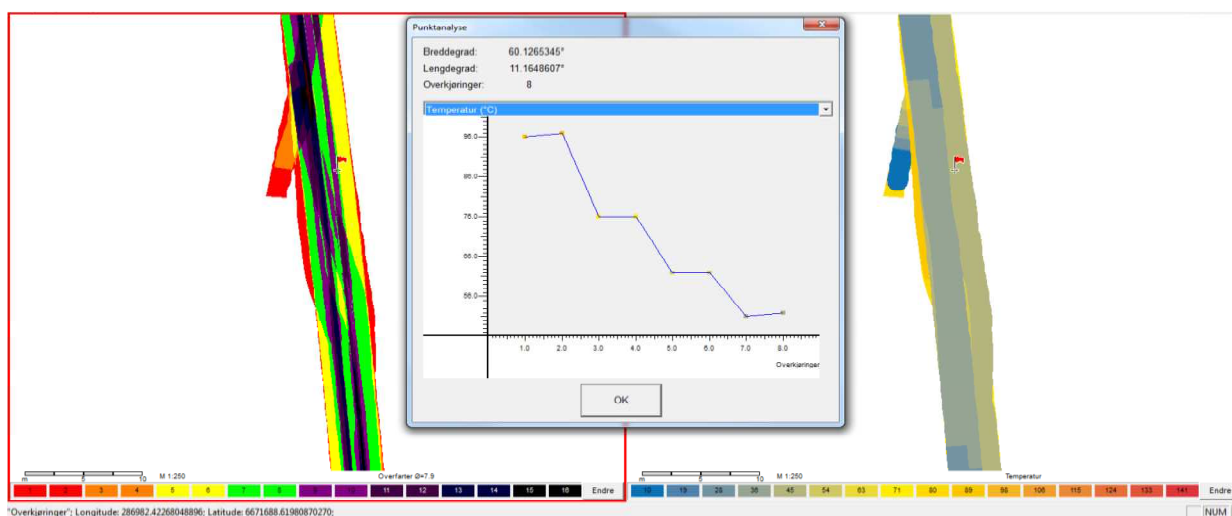
Vurdering: Kompaktering er utført med en overfart med vibrasjon og oscillasjon i Figur 57 utenfor ønsket temperaturintervall.

4.3.6 Målepunkt 26



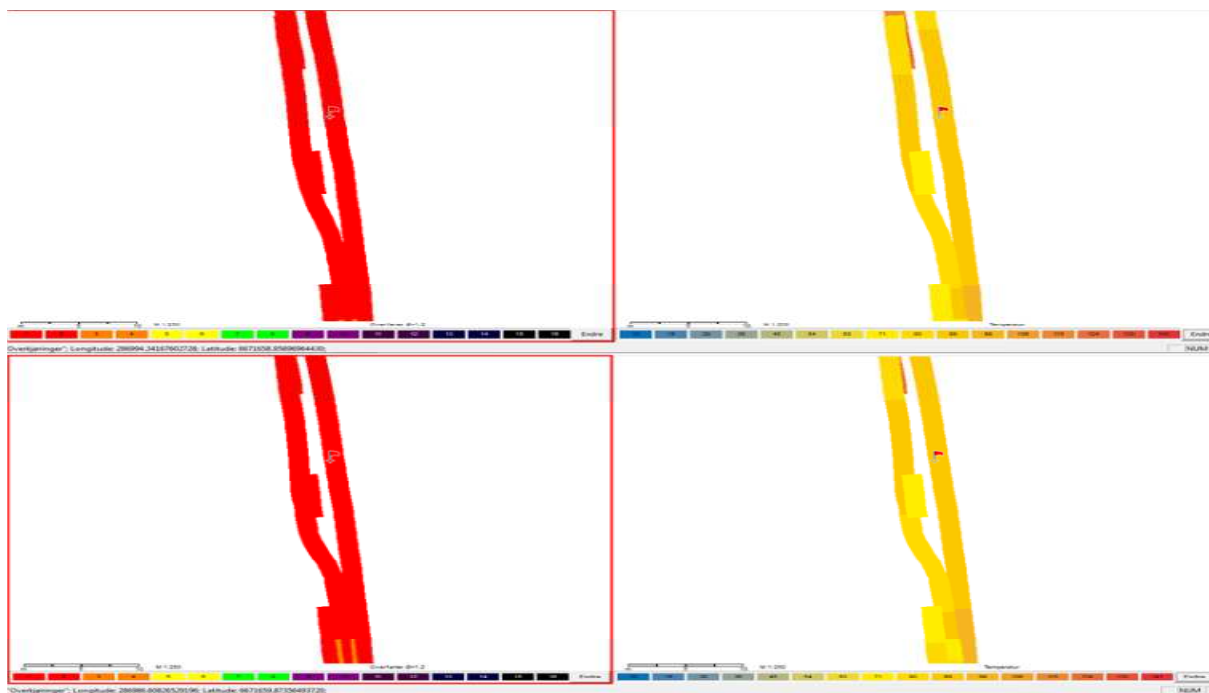
Figur 58 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur første overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{min} som var satt til 100 °C.

Vurdering: Noen felter i det merkede området har lavere temperatur ved første overfart enn siste i Figur 58. Området har partier som har ingen eller en overfart med vibrasjon.



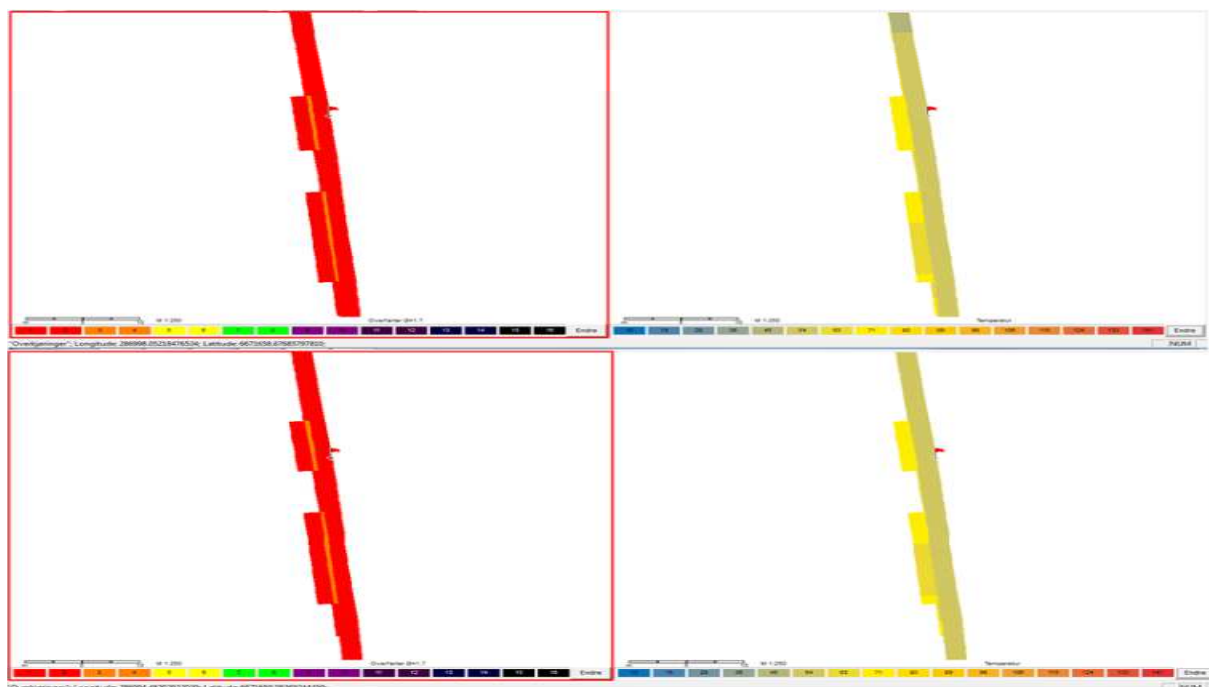
Figur 59 Alle typer overfarter som er utført av valse fra Hamm mellom 10 og 150 °C.

Vurdering: Det indikeres en starttemperatur rundt 96 °C når valse har startet i Figur 59. Valsefører har derfor hatt dårlig tid til å klare kompakteringen over ønsket temperatur på 80 °C.



Figur 60 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

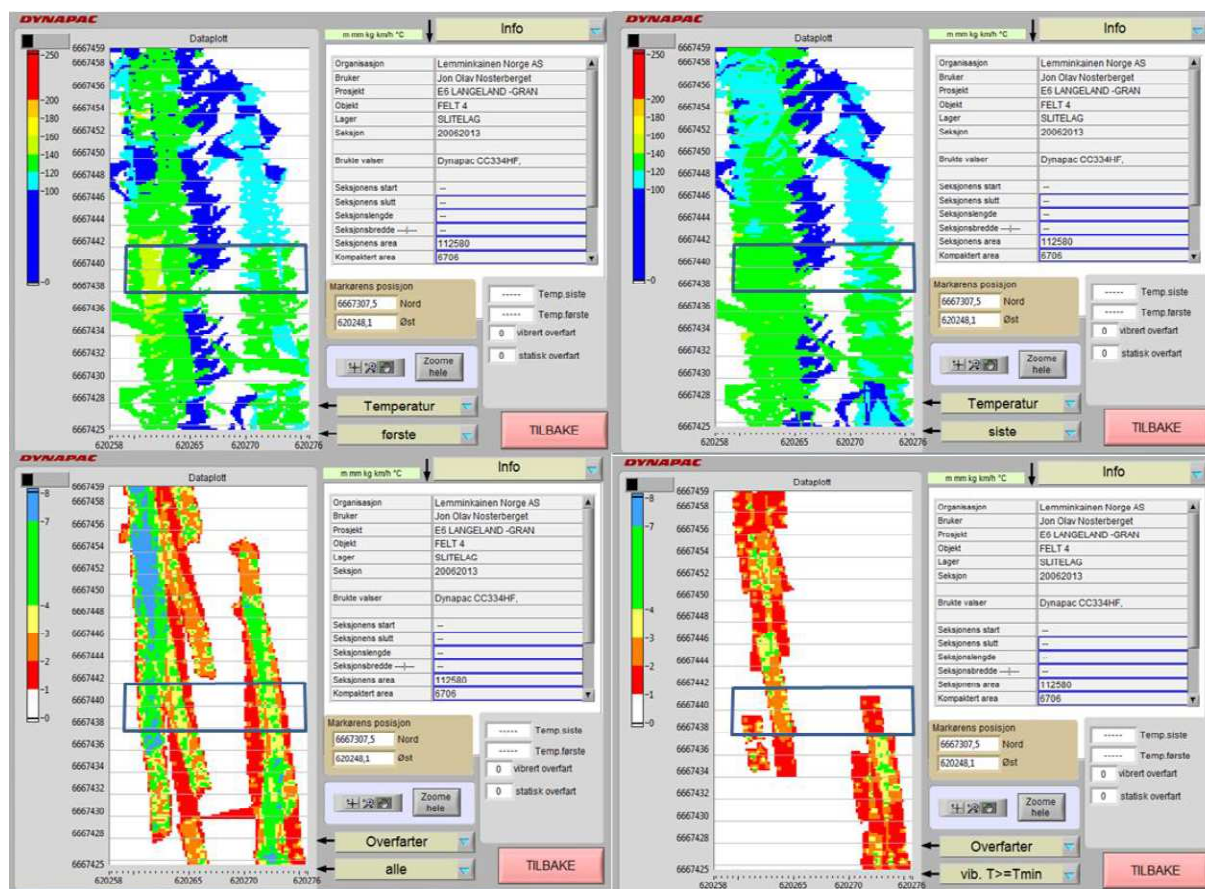
Vurdering: Bildet i Figur 60 viser at kun deler av dekket fikk en overfart med vibrasjon og oscillasjon før temperaturen falt under 80 °C.



Figur 61 Overfarter fra Hamm utført mellom 10 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

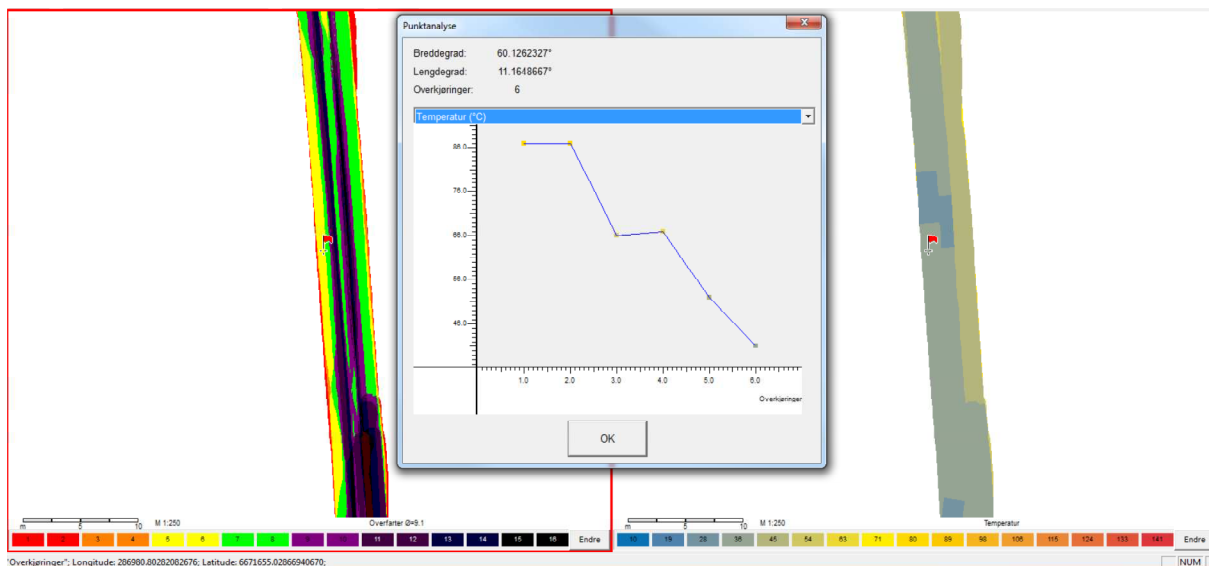
Vurdering: Bildet i Figur 61 viser at deler av dekket fikk en overfart med vibrasjon og oscillasjon helt ned mot 54 °C.

4.3.7 Målepunkt 32



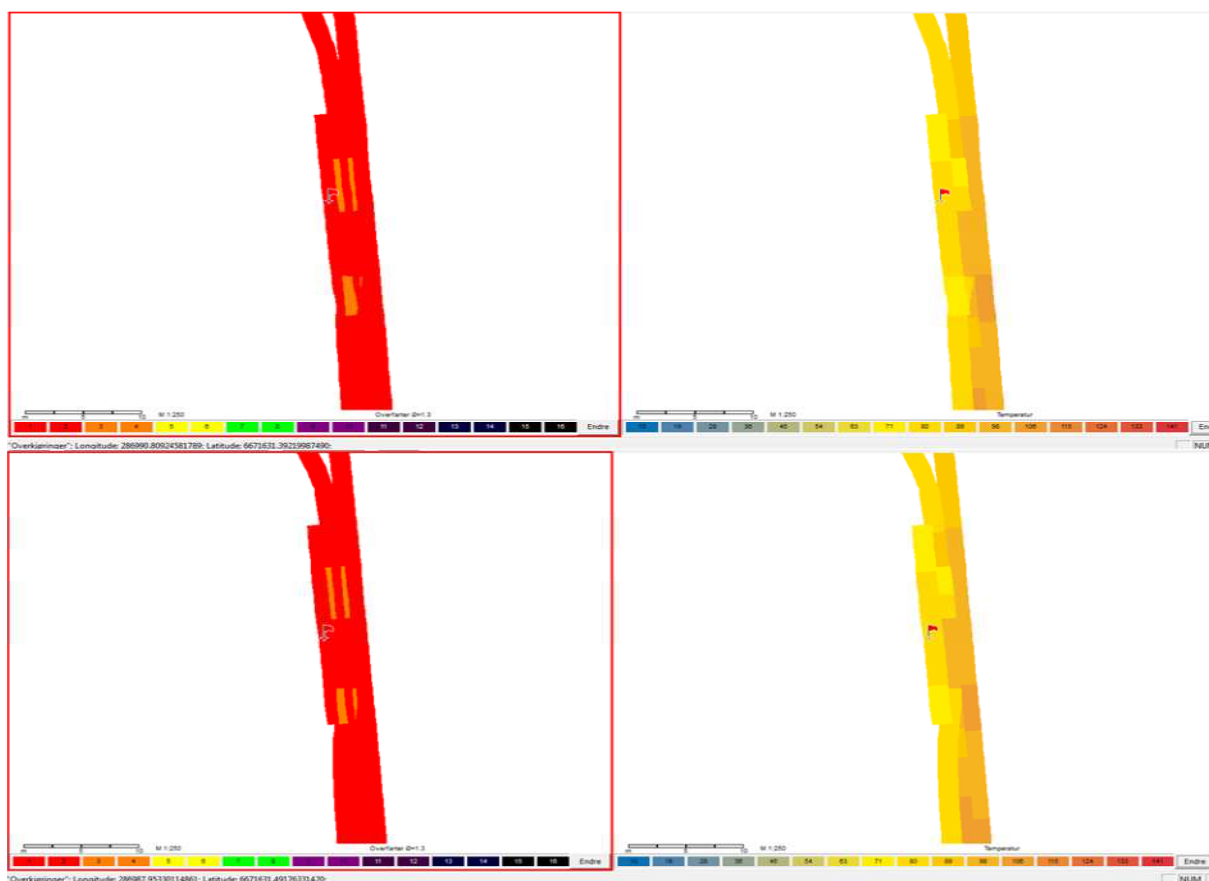
Figur 62 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur først overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{min} som var satt til 100 °C.

Vurdering: Området markert i Figur 62 var utfordrende å vurdere da man kan se at innlesingen av overfartene ikke har vært helt god. Det antas at dette skyldes dårlig mottak av satellittsignal. Start og slutt temperatur virker mer riktig avlest om man ser bort fra at bildet er delt. Overfarter var utfordrende å vurdere, men en kan se at det er lite som er kompaktert med vibrasjon.



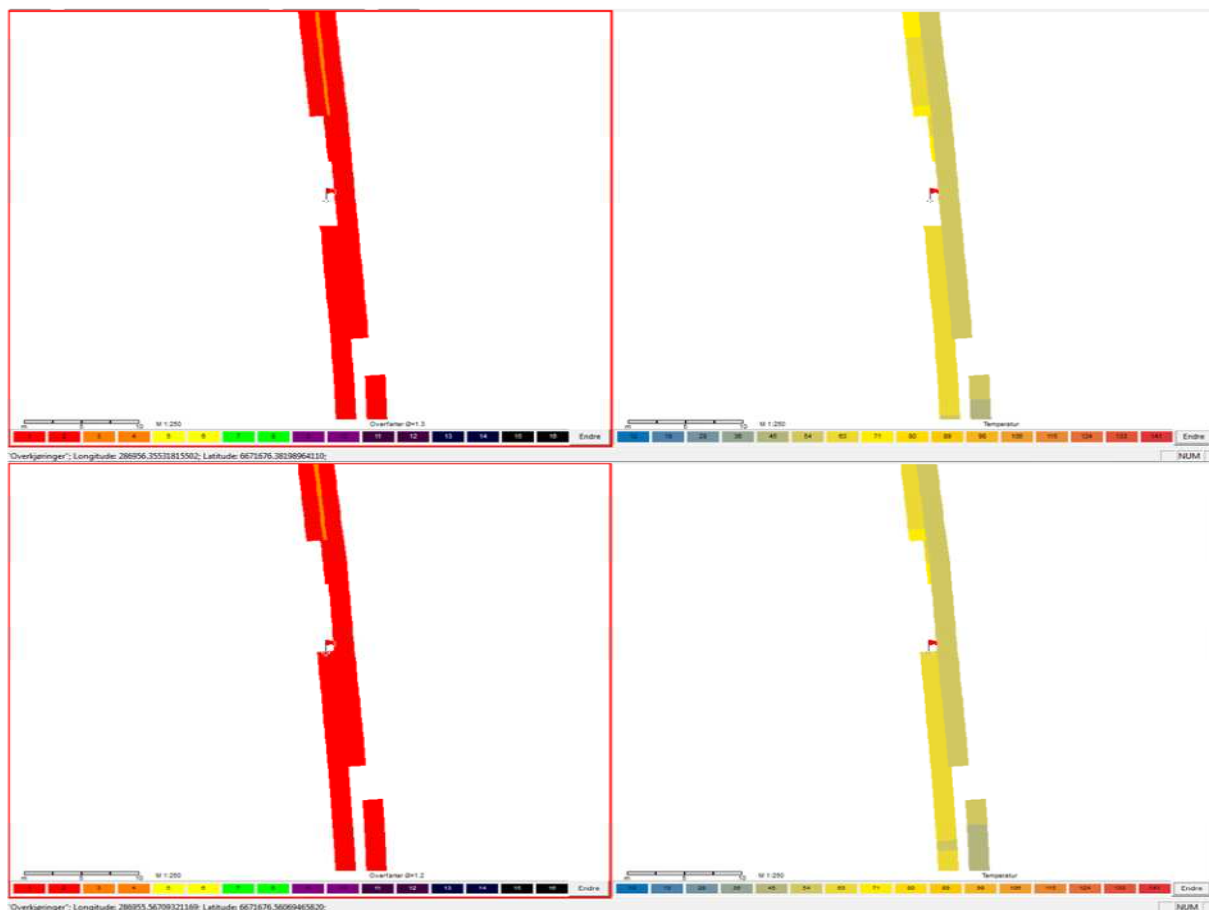
Figur 63 Alle typer overfarter som er utført av valsen fra Hamm mellom 10 og 150 °C.

Vurdering: Initialtemperaturen indikeres å være på rundt 88 °C i Figur 63. Dette må ha gitt valsefører svært dårlig tid til å kompaktere dekket før man når 80 °C.



Figur 64 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

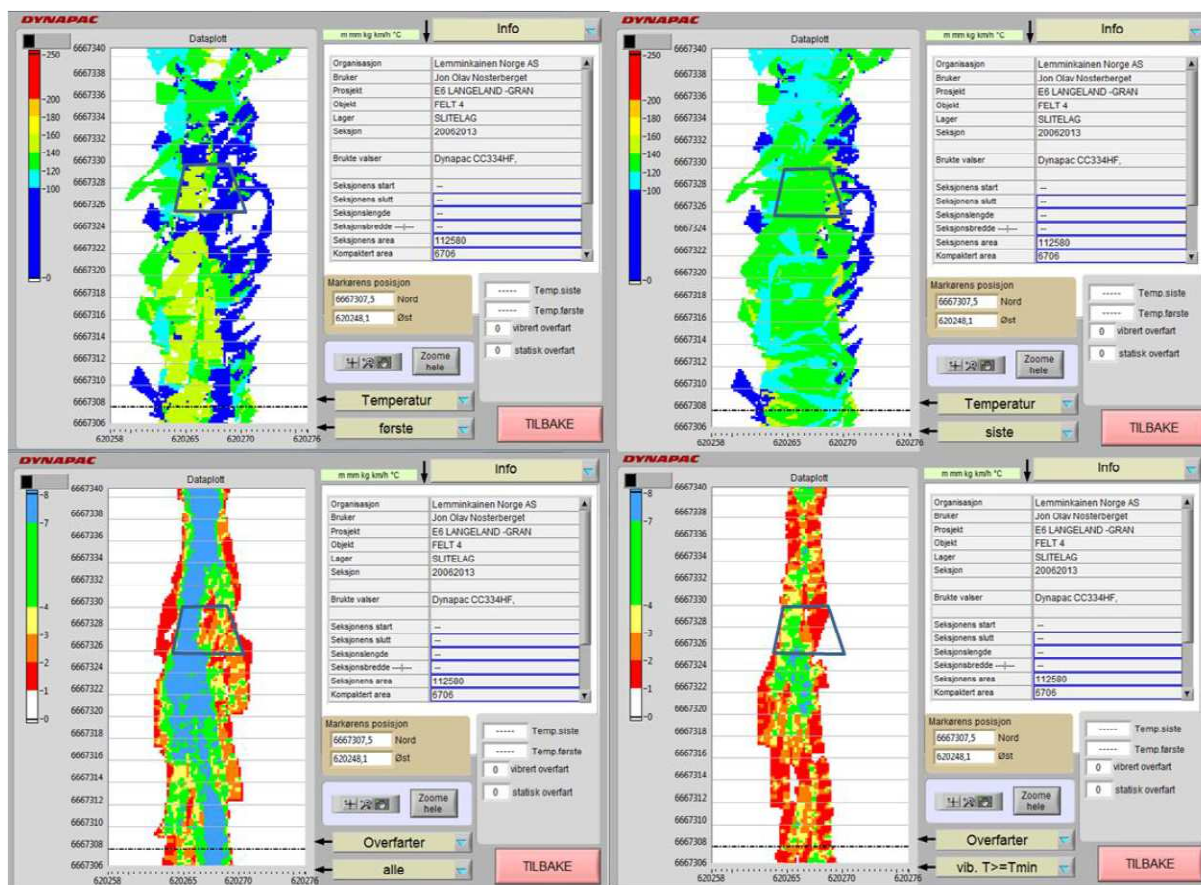
Vurdering: Det indikeres at dekket er kompaktert med en overfart med vibrasjon og oscillasjon innenfor det ønskede temperaturintervall i Figur 64.



Figur 65 Overfarter fra Hamm utført mellom 10 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

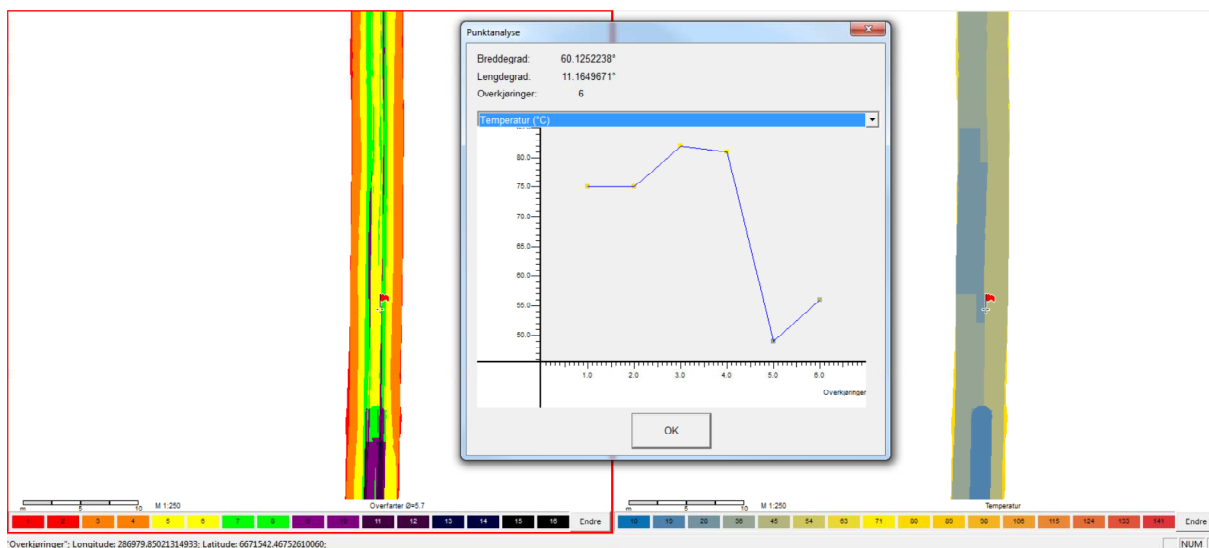
Vurdering: Målepunktet i Figur 65 virker å ha blitt kompaktert med en overfart med oscillasjon under ønsket temperatur på 80 °C. Kompakteringen ser ut til å ha foregått ved rundt 65 °C.

4.3.8 Målepunkt 27



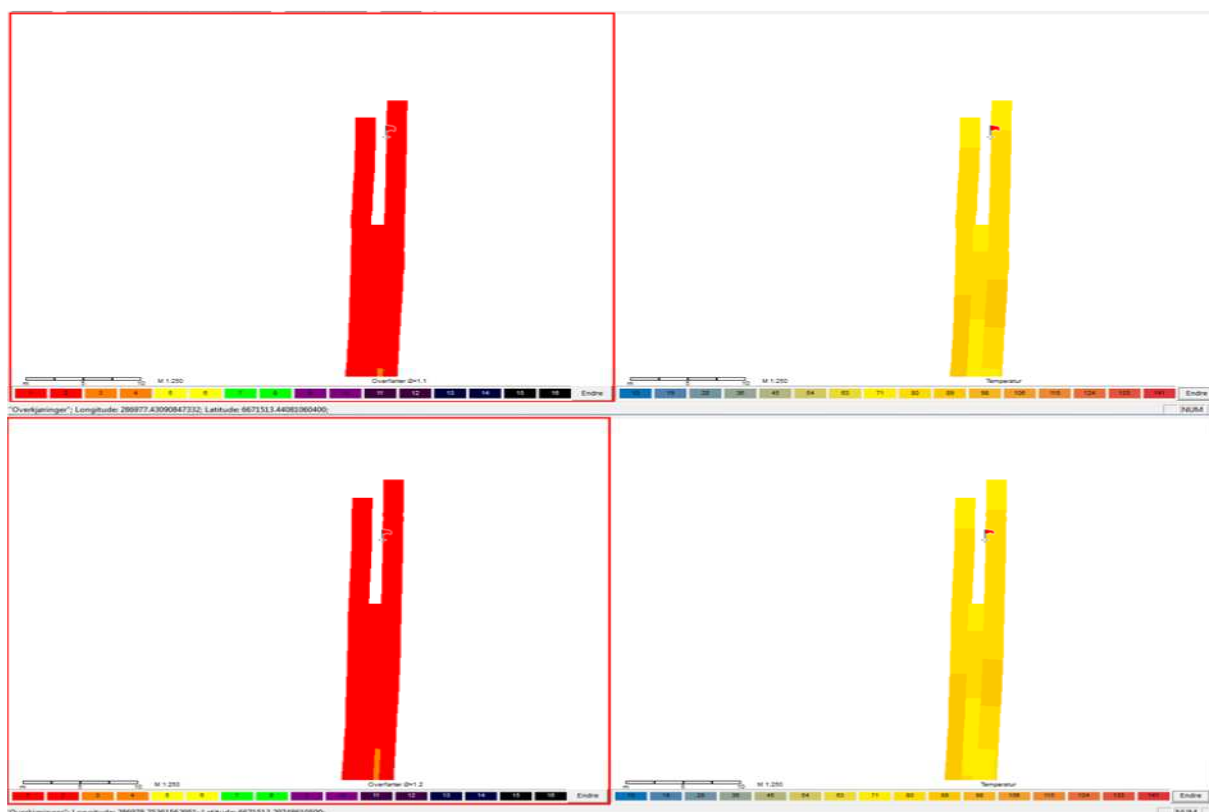
Figur 66 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur først overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{min} som var satt til 100 °C.

Vurdering: Det utvalgte området i Figur 66 antyder på første overfart en temperatur under 100 °C mens siste overfart indikerer en temperatur som er høyere. Temperaturbildene virker også som at de flyter noe utover. Antar dette har oppstått da mottaket for satellittene ikke har vært gode nok. Det virker også som at en del av dekket kun har fått en eller ingen kompaktering med vibrasjon.



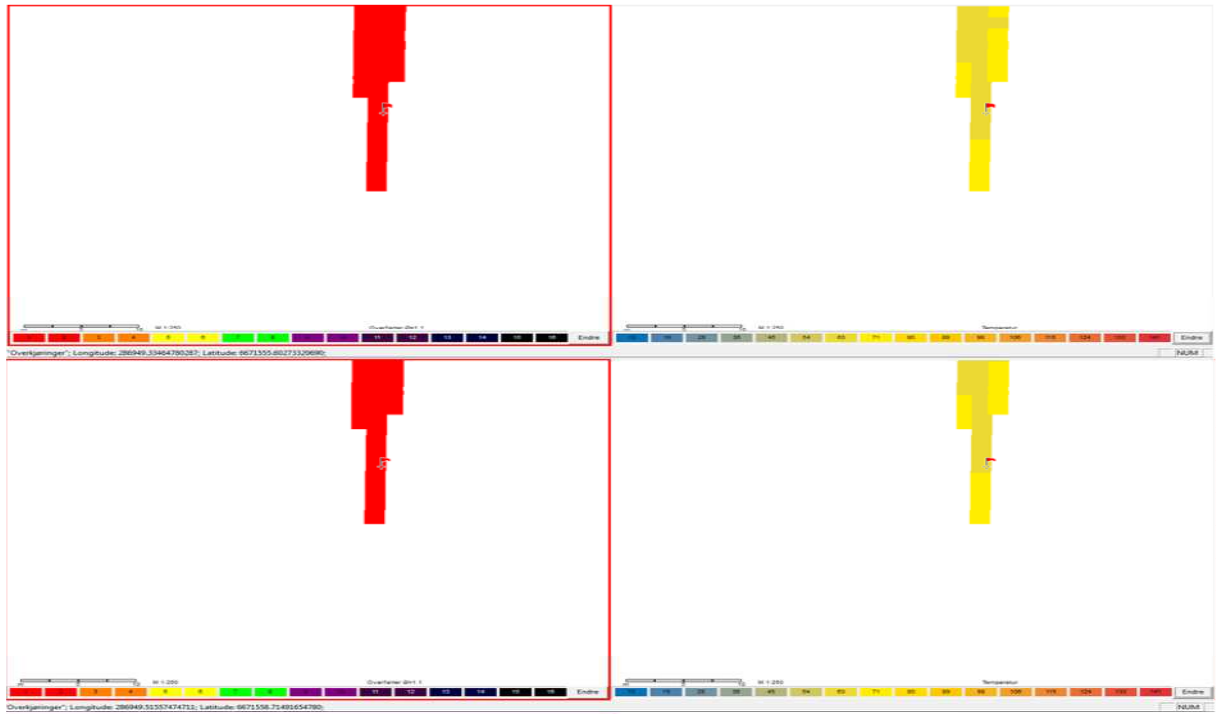
Figur 67 Alle typer overfarter som er utført av valsen fra Hamm mellom 10 og 150 °C.

Vurdering: Punktanalysen i Figur 67 antyder at temperaturen har vært lavere i starten enn utover. Det har blitt antatt at dette har vært feil ved avlesningen. Dette vil bli vist i figurene nedenfor.



Figur 68 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

Vurdering: Som tidligere nevnt ble det indikert at bare deler har blitt bearbeidet overfor ønsket temperatur på 80 °C som man kan se på Figur 67. Dette virker ikke riktig og det er derfor inkludert i neste bildet et intervall på 70 – 80 °C for å fange opp de første overfartene.



Figur 69 Overfarter fra Hamm utført mellom 70 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

Vurdering: Som nevnt i forrige figur er det her inkludert resterende overfart med vibrasjon og oscillasjon i Figur 69.



Figur 70 Overfarter fra Hamm utført mellom 10 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

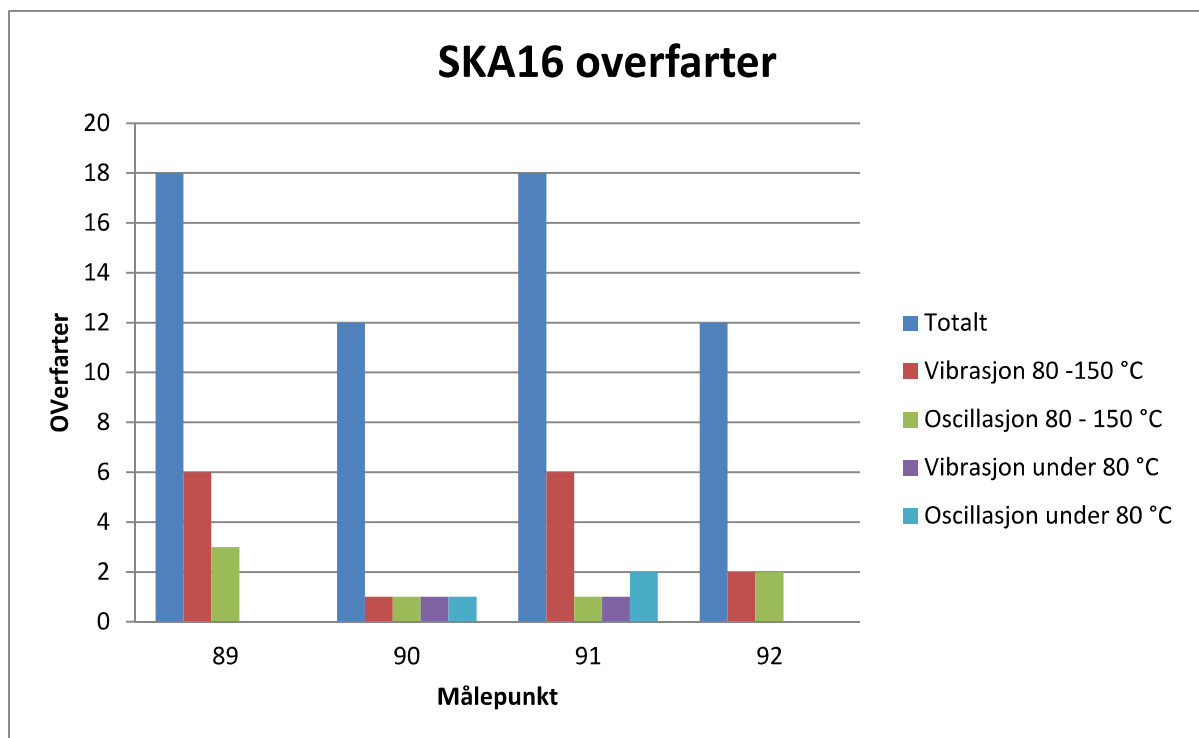
Vurdering: Det antas at det ikke har vært noen overfarter med vibrasjon eller oscillasjon under ønsket temperatur på 80 °C.

4.4 SKA16

Tabell 4 Oversikt over de avleste data fra utvalgte målepunkter med SKA16. Tabellen angir målepunktene, deres plassering med kilometerverdi, hulrominnhold, definerte risikosoner i rapport fra Telle, samt en grovt avlest hastighet på utlegger i områdene hvor målepunktene befant seg. Overfarer samlet er oppsummert fra begge leverandører. Overfarer Hamm ble filtrert ut og sortert for seg da dette var mulig hos denne leverandøren. Målepunkt 89 og 91 hadde godkjent hulrom og er markert i grønt.

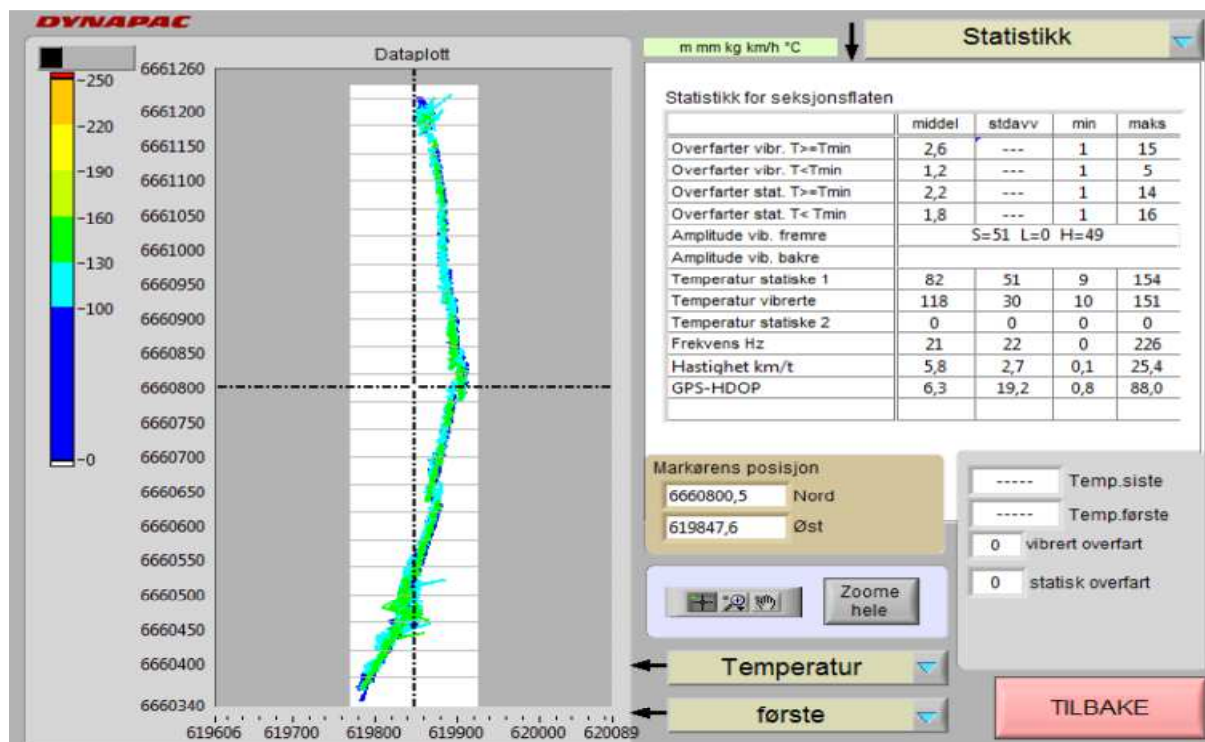
SKA16									
Målepunkt	Km	Hulrom %	Risikosone m	Utleggerhastighet m/min	Overfarer Samlet		Overfarer Hamm		
					Totalt	Vibrasjon 80 -150 °C	Oscillasjon 80 - 150 °C	Vibrasjon under 80 °C	Oscillasjon under 80 °C
89	4,084	3,65	570 - 579	6	18	6	3	0	0
90	3,968	8,06		5,2	12	1	1	1	1
91	3,878	3,01	769 - 777	4,5	18	6	1	1	2
92	3,810	5,69		5,5	12	2	2	0	0

Vurdering: Tabell 4 er vurdert nærmere i kapittel 5.1.2 Vurdering SKA16.



Figur 71 Grafisk illustrasjon av de ulike typer overfarer fra Tabell 4.

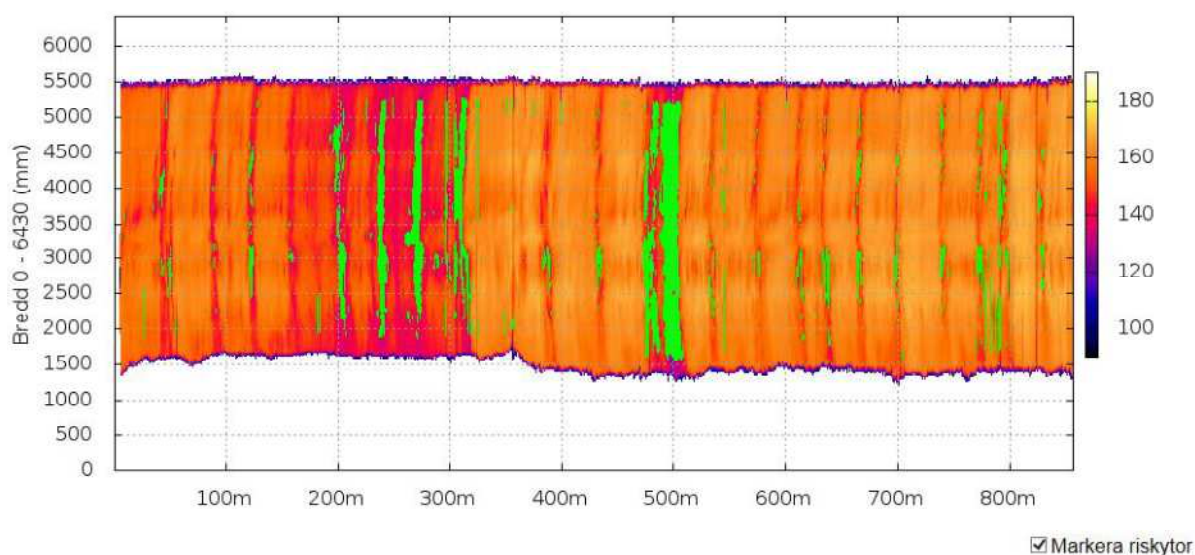
Vurdering: Figur 71 illustrerer at det totalt sett har vært mange overfarer. Det er enklere å se sammenhengen mellom de godkjente målepunktene og antall overfarer med vibrering de har fått. Dette kan sees på diagrammet for målepunkt 89 og 91. De ikke godkjente målepunktene 90 og 92 har en til to overfarer med vibrasjon over 80 °C.



Figur 72 Statistikk som analyseprogrammet har utarbeidet fra hele dekkeleggingen.

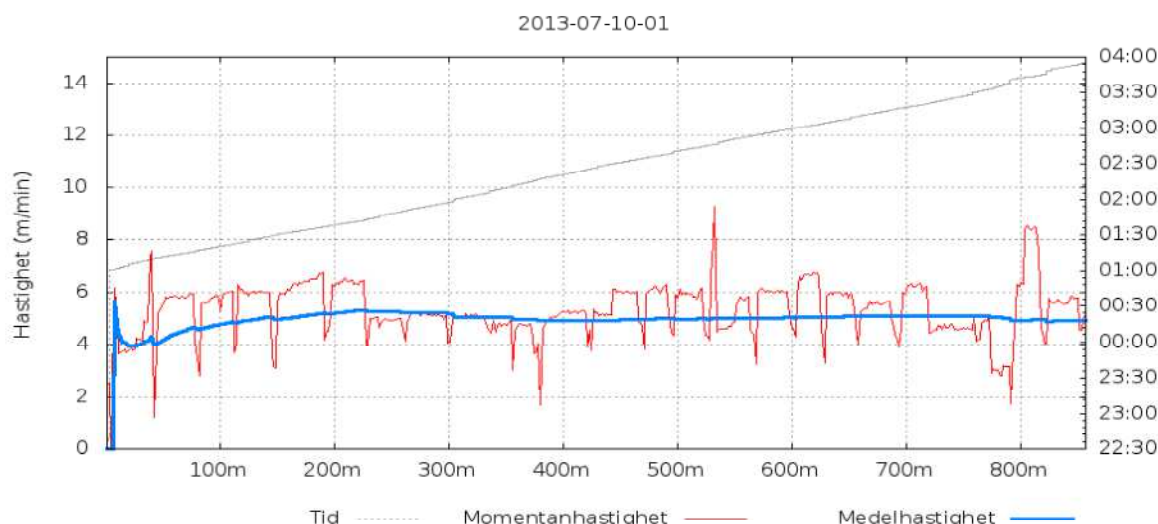
Vurdering: Det har i oppgaven vært lagt mest vekt på GPS-HDOP i Figur 72. Dette fordi det har vært dårlig posisjoningsdata på overfartene. Den dårlige posisjonen har påvirket hvordan antallet overfarter har blitt talt opp.

4.4.1 Risikoområder fra utlegger



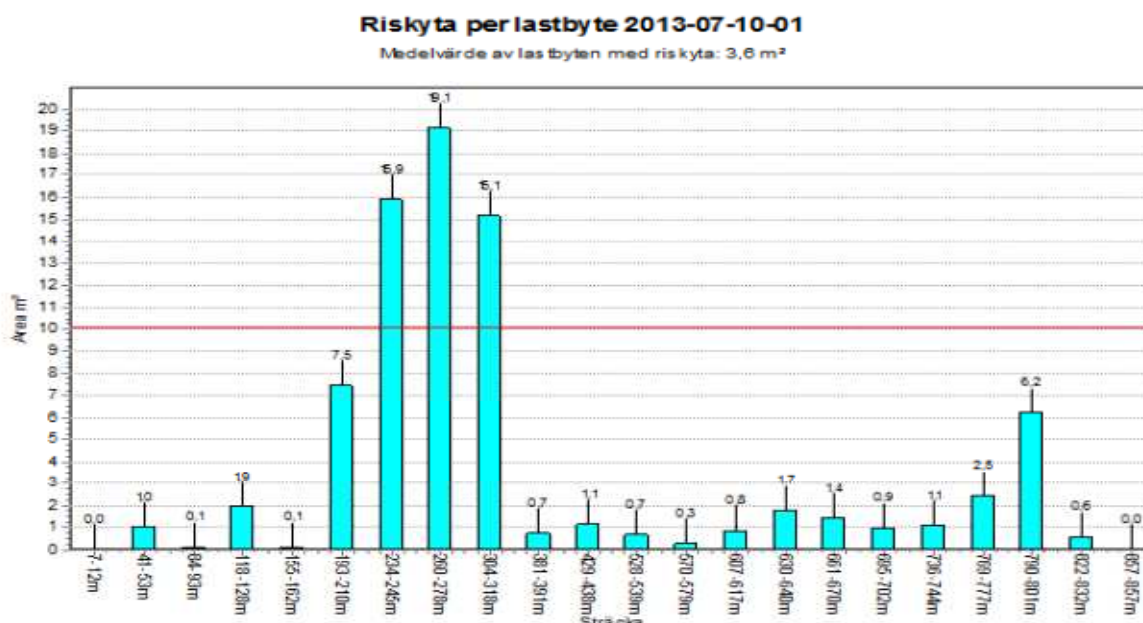
Figur 73 Utvalgt strekning som ble dekkelagt, med risikoareal markert. (Telle 2013)

Vurdering: Figur 73 viser partiene med lav temperatur fra lassbyttene. Dette er målt opp i antall m^2 i Figur 75.



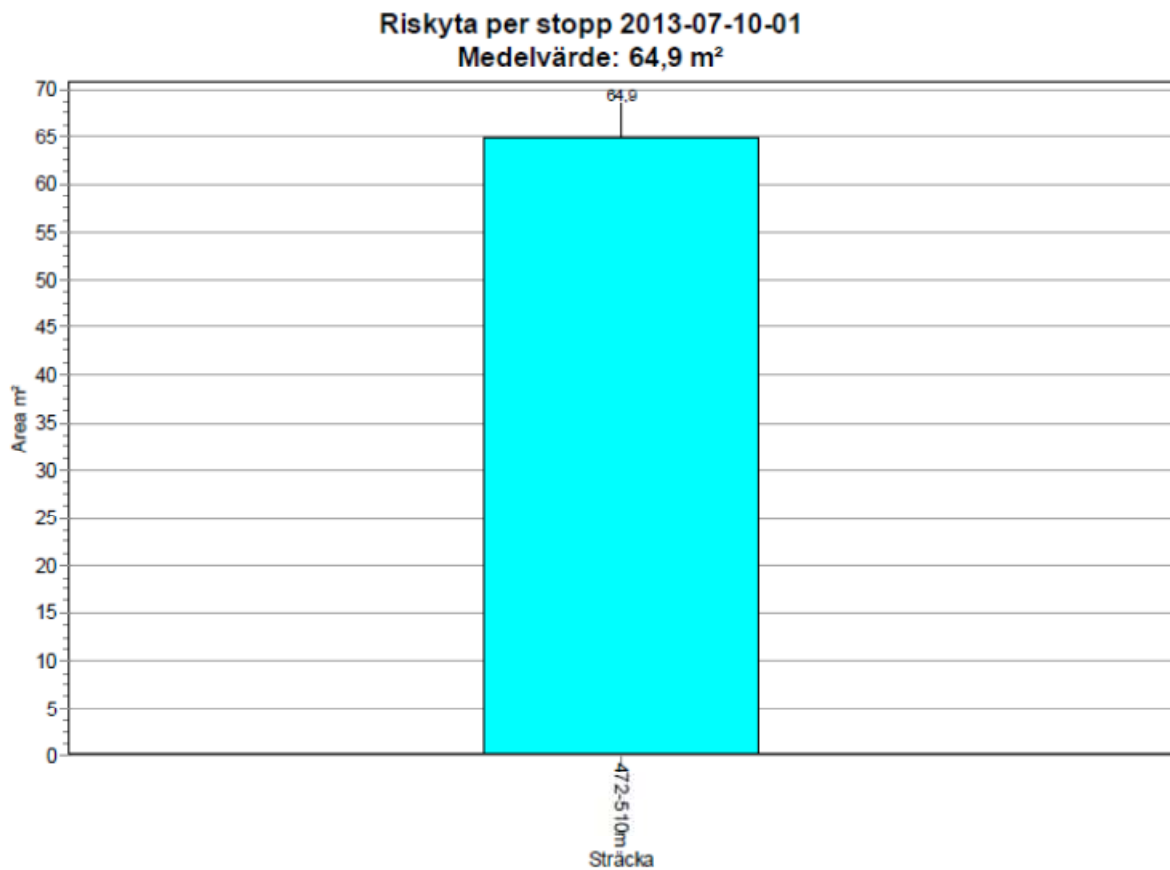
Figur 74 Utleggerens hastighet under dekkeleggingen. (Telle 2013)

Vurdering: Figur 74 viser utleggerens hastighet. Hastigheten er markant lavere enn ved utleggingen av AB16. Utleggeren skal fremdeles ikke kjøre fortere enn 4-5 m/min. Hvis utlegger kjører for fort vil det bli dårlig tid for valsen å lukke dekket. Massen kan bli lagt ut ujevnt. Utlegger bør også ha færrest mulig stans da dette kan medføre en høynet risiko for separasjon i massene. Stansene kan sees der momentanhastigheten faller markant.



Figur 75 Utvalgt risikoareal hvor det har vært lassbytter til utleggeren. (Telle 2013)

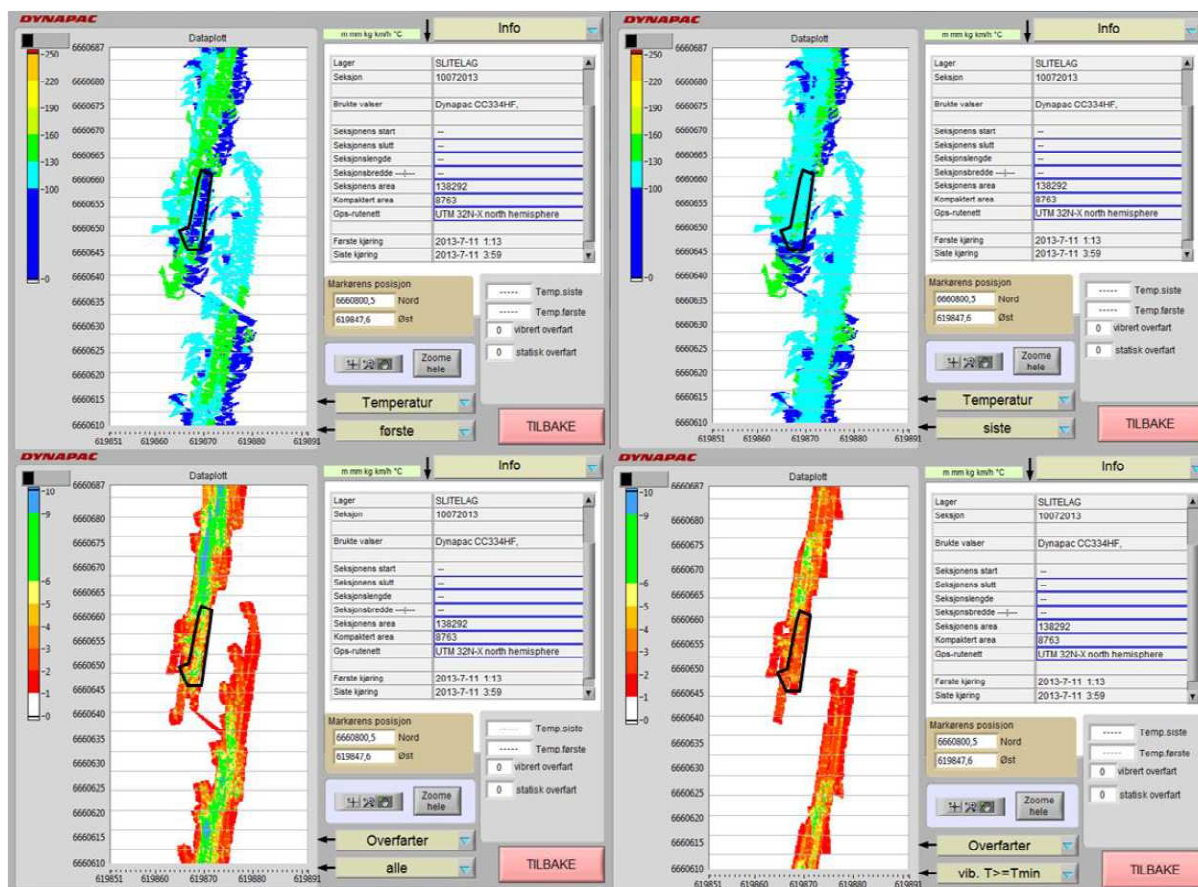
Vurdering: Figur 75 viser de definerte risikoarealene etter de merkede partiene i Figur 73. Her det målt opp i antall m². Risikoarealene kommer av lassbytter med kalde masser. Dette gir valsene dårligere tid til kompakteringsarbeidet.



Figur 76 Resterende utvalgte risikoområde hvor det har vært lassbytter til utleggeren. (Telle 2013)

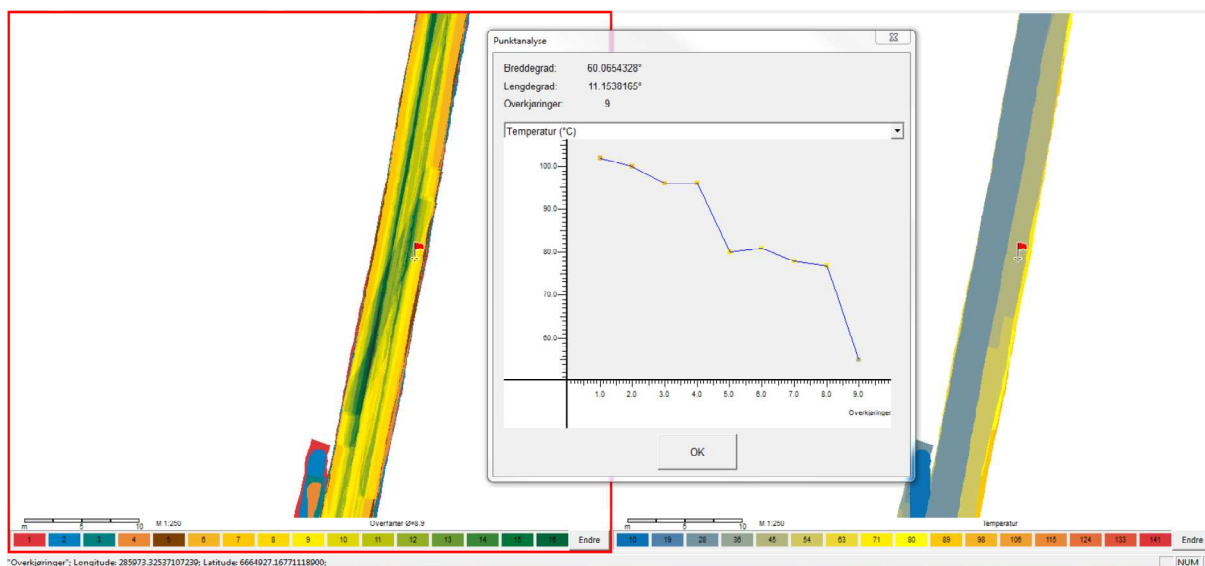
Vurdering: Figur 76 viser et særlig stort risikoareal. Dette kan man se på samme strekning i Figur 73. Her det målt opp i antall m^2 . Risikoarealene kommer av lassbytter med kalde masser. Dette gir valsene dårligere tid til kompakteringsarbeidet.

4.4.2 Målepunkt 89



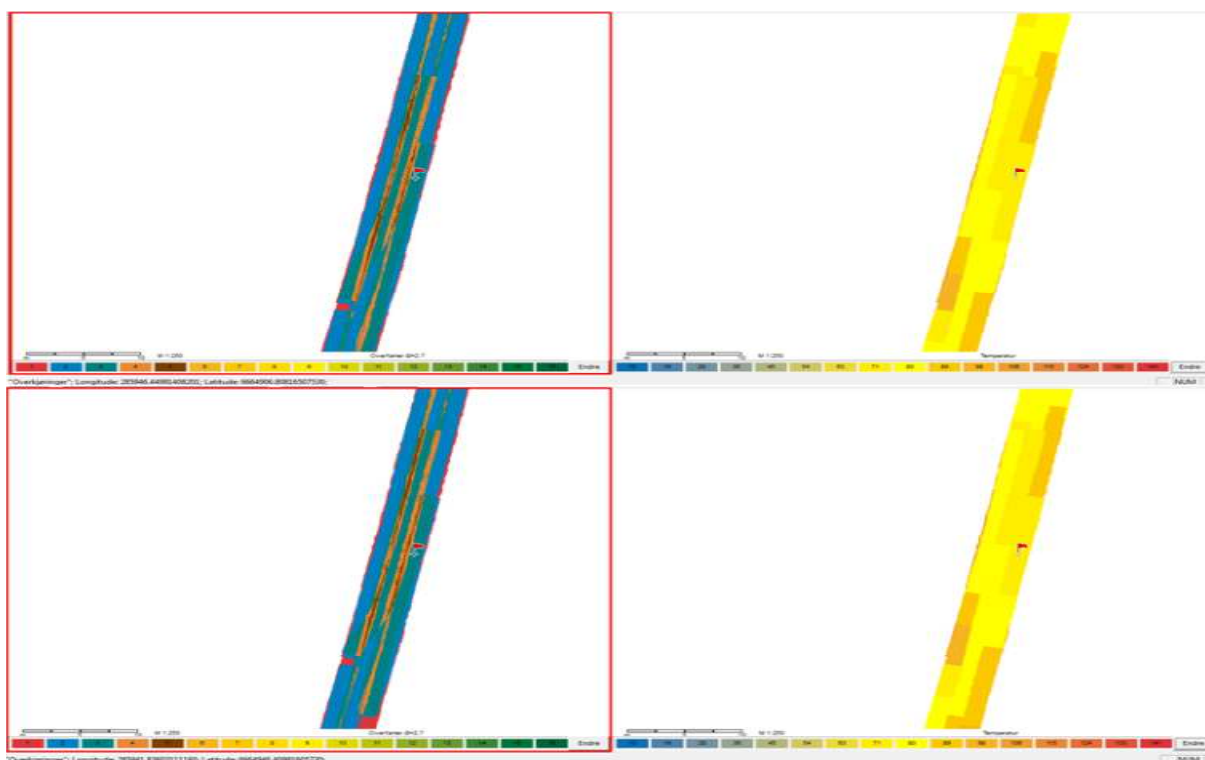
Figur 77 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur først overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{min} som var satt til 100 °C.

Vurdering: Temperaturen i Figur 77 virker å være lavere i det utvalgte området ved første overfart enn ved siste. Avlesningen ved siste overfart virker å gi et bedre bilde av den faktiske temperaturen. Andelen som er markert under 100 °C kan være en avlesning fra tilliggende asfalt som er kald, eller nylagt asfalt som er nedkjølt ekstra i kontakt med kaldere asfalt. Bildet har fått en forstyrrelse hvor man kan se at deler av skanningen har hoppet bort et stykke til høyre. Dette reduserte kvaliteten av grunnlagsdataene. Det utvalgte partiet er vurdert til å ha fått 3 overfarter med vibrasjon.



Figur 78 Alle typer overfarter som er utført av valsen fra Hamm mellom 10 og 150 °C.

Vurdering: Som vist i Figur 78 indikeres det ved punktanalysen at første overfart ble utført ved 103 °C.



Figur 79 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

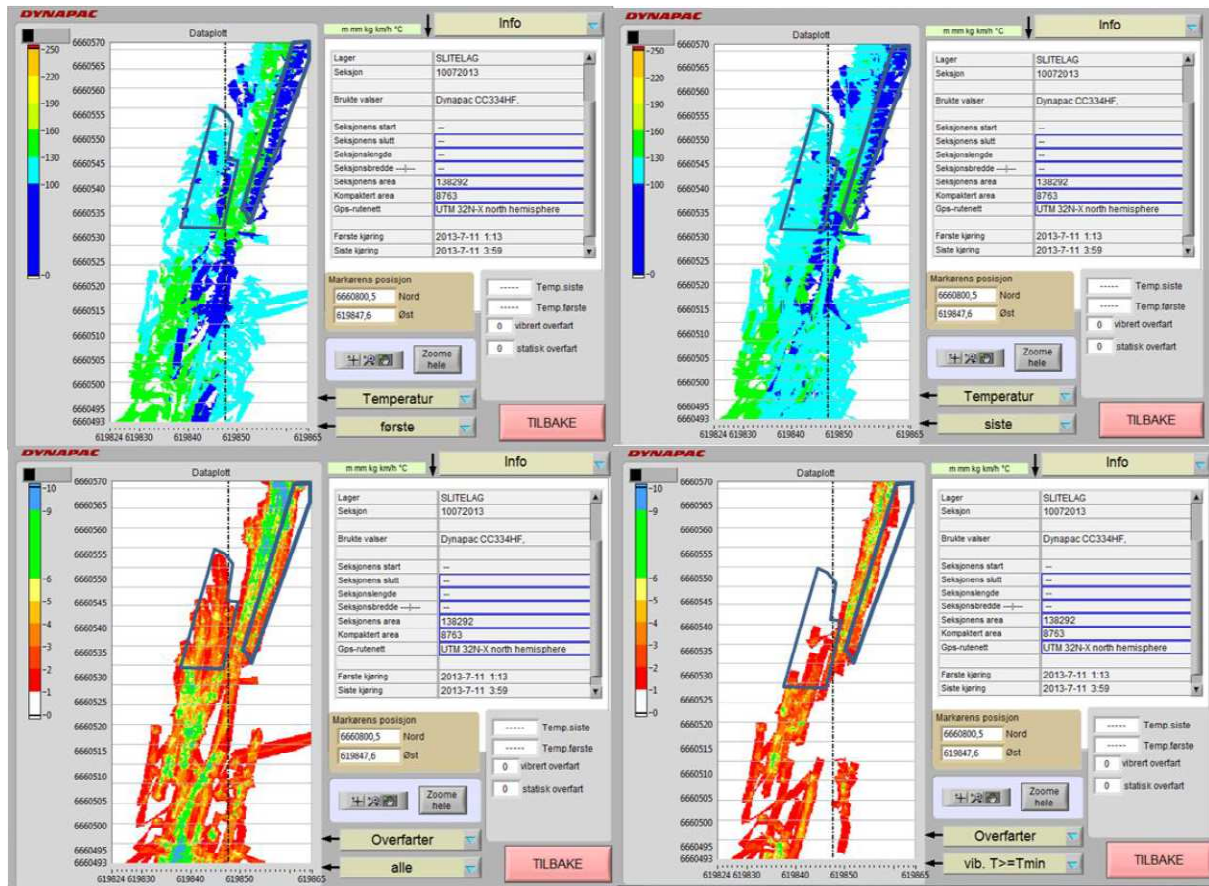
Vurdering: Det er utført tre overfarter med vibrasjon og oscillasjon i Figur 79 over 80 °C.



Figur 80 Overfarter fra Hamm utført mellom 10 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

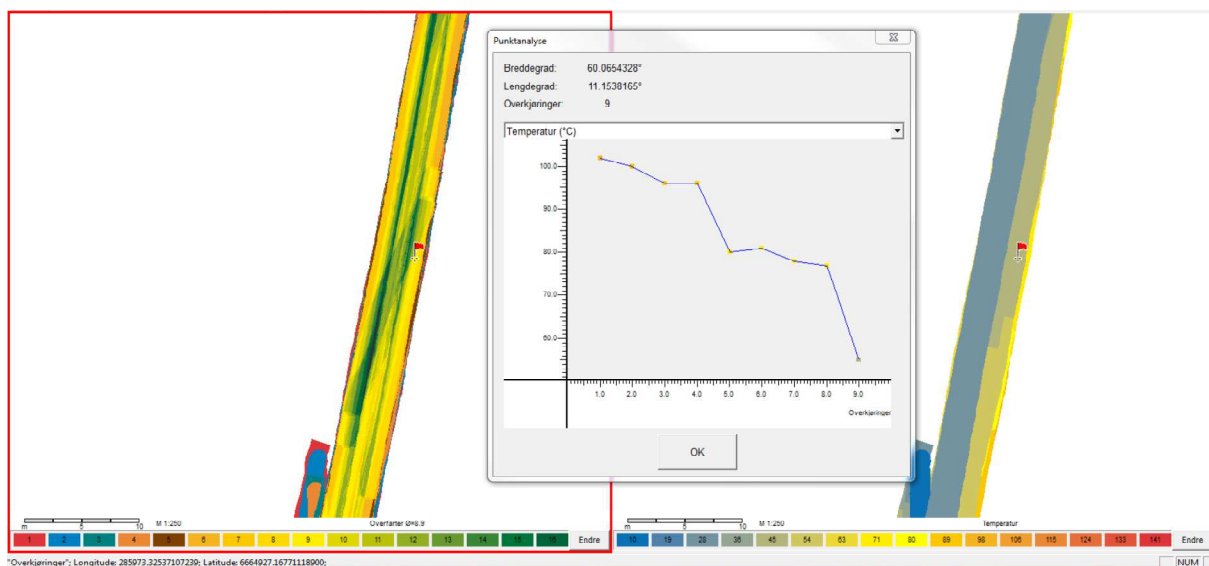
Vurdering: Det er ikke utført overfarter nedenfor 80 °C.

4.4.3 Målepunkt 90



Figur 81 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur først overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{min} som var satt til 100 °C.

Vurdering: Det ble markert to partier som kunne ha en utfordring med tanke på lav temperatur og få overfarter. Høyre felt er brukt videre i evalueringen. Det flyter noe utover i Figur 81, det antas at dette skyldes dårlig satellittmottak. Temperaturen indikeres å være lav mot skjøt og det har vært kun en overfart i samme område.



Figur 82 Alle typer overfarter som er utført av valsen fra Hamm mellom 10 og 150 °C.

Vurdering: Første overfart er gjort ved litt over 100 °C. Valseføreren må da stå på for å rekke det antallet overfarter han burde ha før man når 80 °C.



Figur 83 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

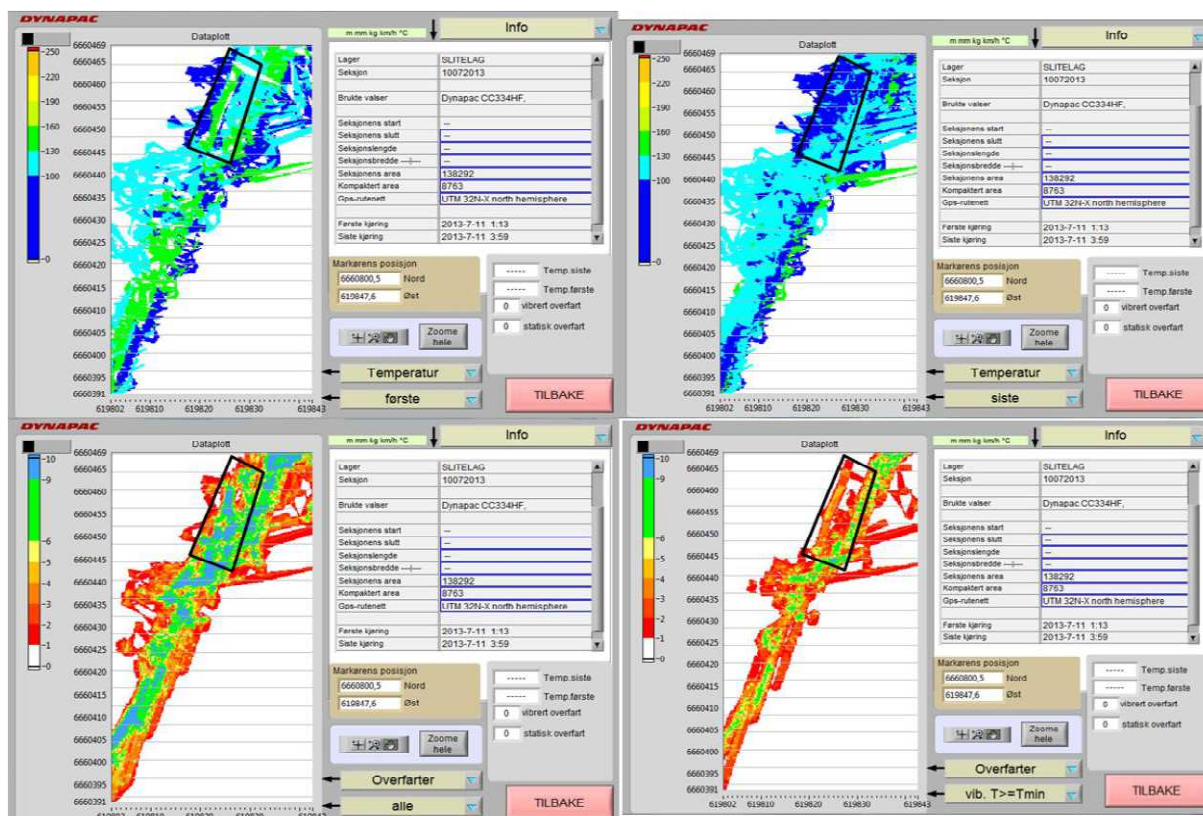
Vurdering: Det er kun utført en overfart med vibrasjon og oscillasjon over ønsket temperatur på 80 °C.



Figur 84 Overfarter fra Hamm utført mellom 10 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

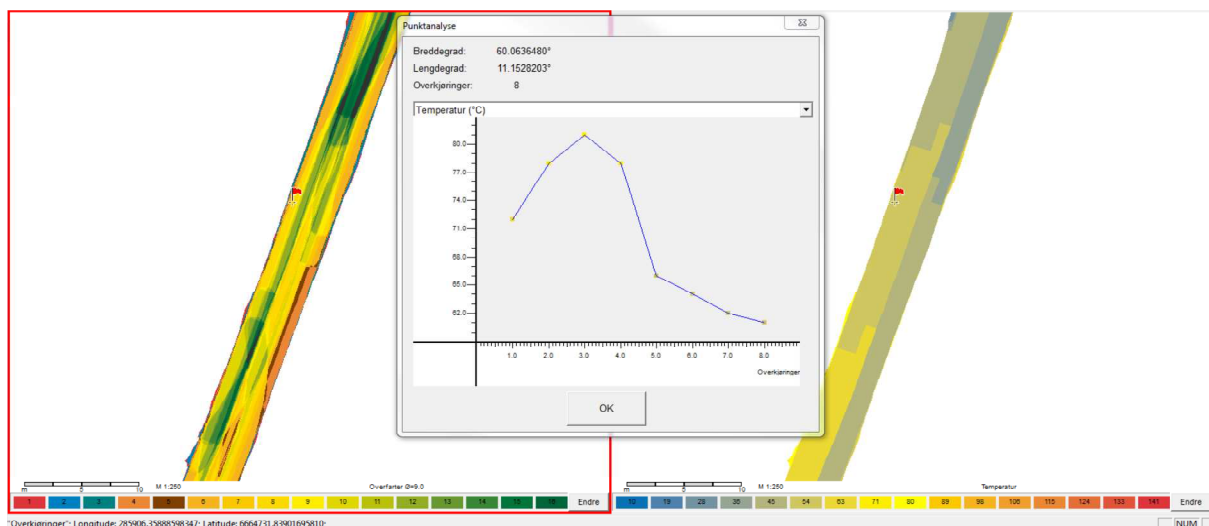
Vurdering: Det utvalgte området i Figur 84 har blitt kompaktert med en overfart med vibrasjon og oscillasjon utenfor det ønskede arbeidsområdet, ved siste overfart indikeres det en temperatur på 50 – 60 °C.

4.4.4 Målepunkt 91



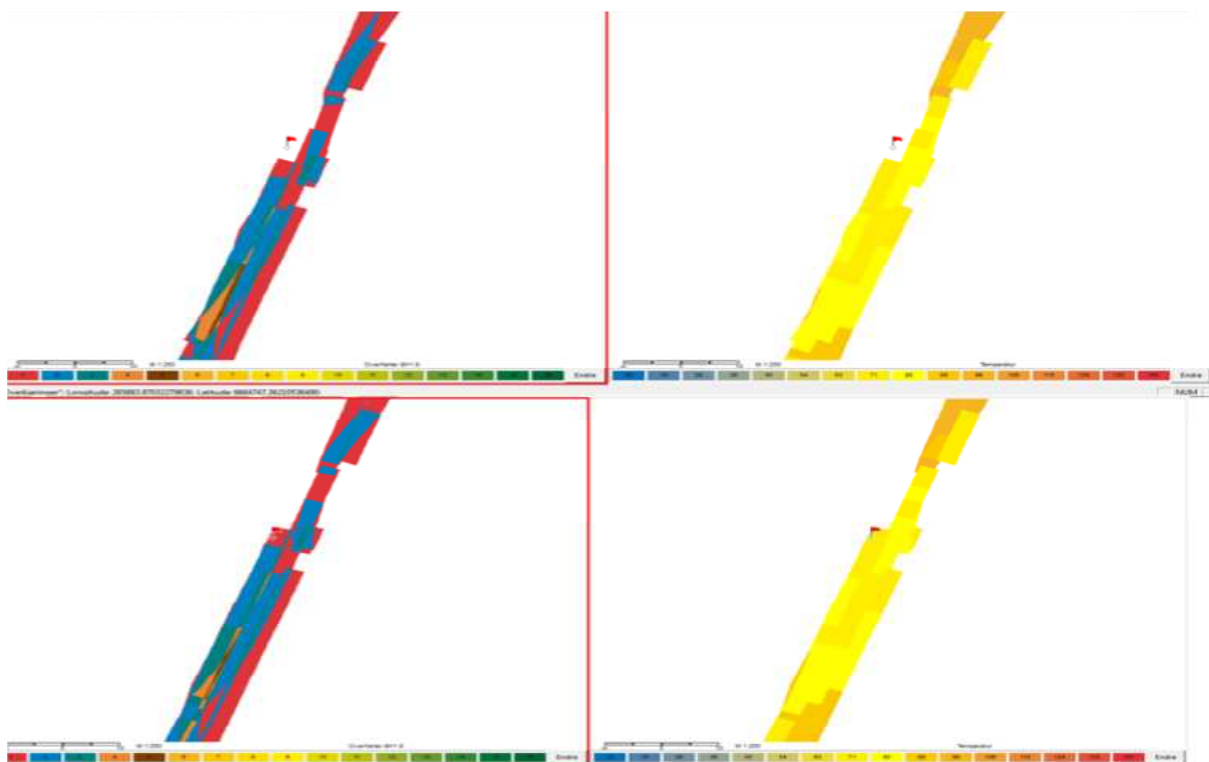
Figur 85 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur først overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{min} som var satt til 100 °C.

Vurdering: Temperaturen virker å være noe lav til venstre i det markerte området i Figur 85, men dette kan skyldes varmetap mot tiliggende asfalt som er kald. Det indikeres også at en stor del av det utvalgte området har en temperatur på 100 °C eller mindre ved siste overfart. De skannede overfartene flyter litt utover, noe som ødelegger for å kunne si mer om kompakteringen. Men til tross for at det flyter utover virker det meste av dekket kompaktet.



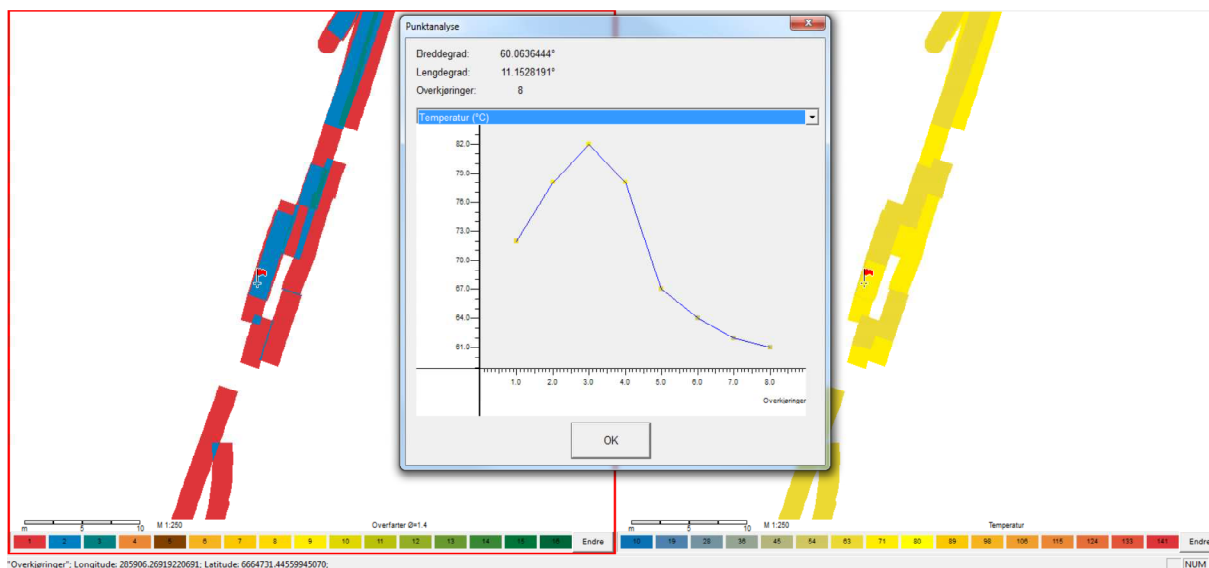
Figur 86 Alle typer overfarter som er utført av valsen fra Hamm mellom 10 og 150 °C.

Vurdering: Punktanalysen som vises i Figur 86 viser en lavere temperatur på de to første overfartene med en topp på 82 °C. Dette virker å være en målefeil da temperaturen ikke skal stige. Det virker derfor grunn til å tro at de første overfartene bør være over 80 °C.

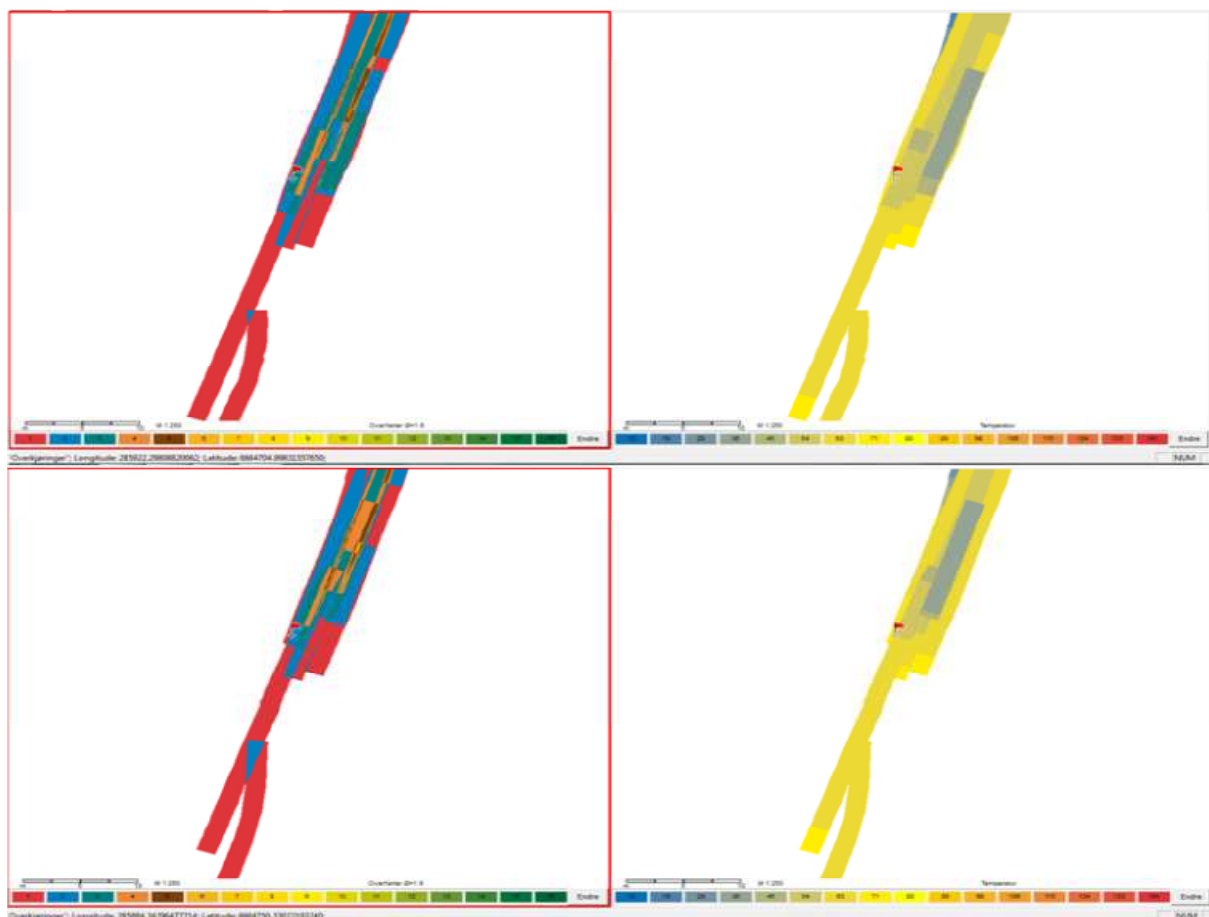


Figur 87 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 °C. Øverst V. ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

Vurdering: Som tidligere nevnt har noen av punktene falt bort da det indikeres en lavere temperatur fra starten av. Figur 87 viser derfor kun en overfart med oscillasjon og ingen med vibrasjon. Figur 88 er derfor regnet med når antallet overfarter er blitt summert opp.



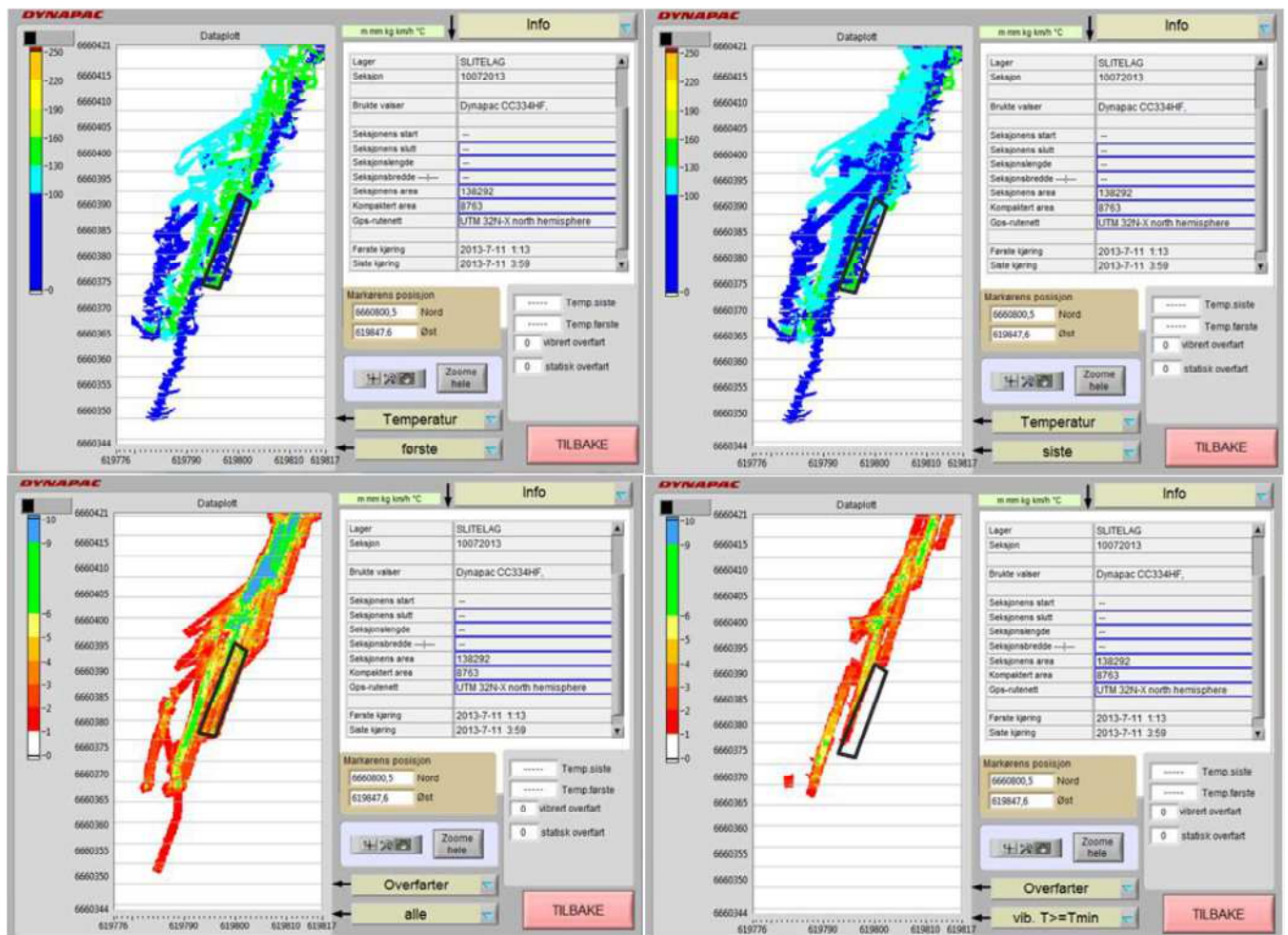
Figur 88 Vibrasjoner mellom 70 og 80 °C. Bildet til venstre viser antall overfarter, mens venstre bildet angir temperaturen ved siste overfart.



Figur 89 Overfarter fra Hamm utført mellom 10 og 70 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

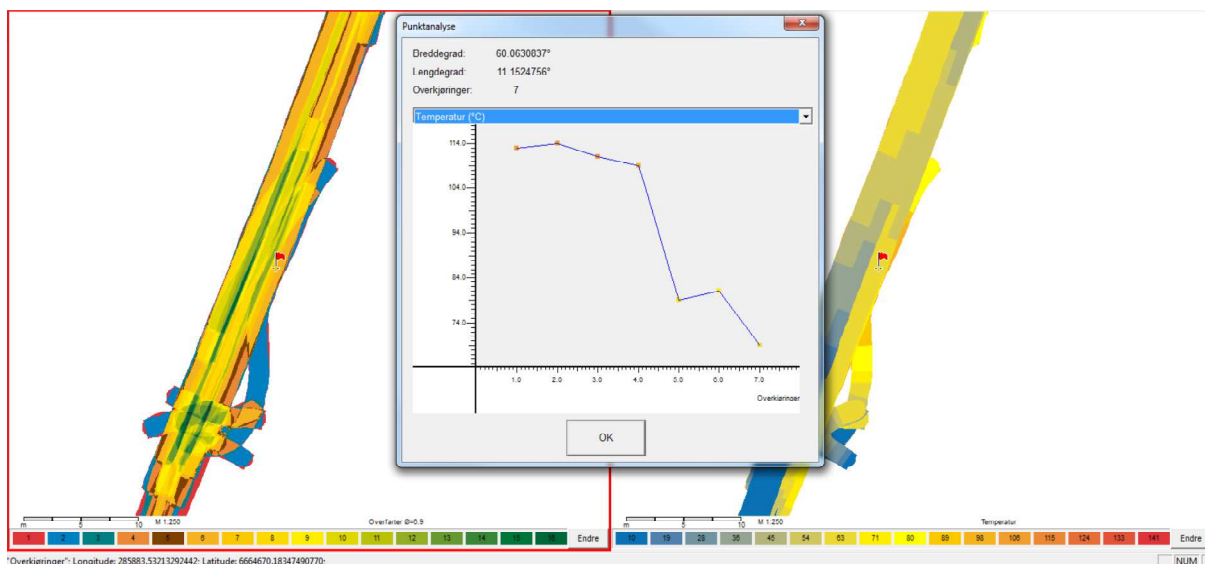
Vurdering: Punktet i Figur 89 har fått to overfarter med vibrasjon og oscillasjon under anbefalt arbeidstemperatur på 80 °C.

4.4.5 Målepunkt 92



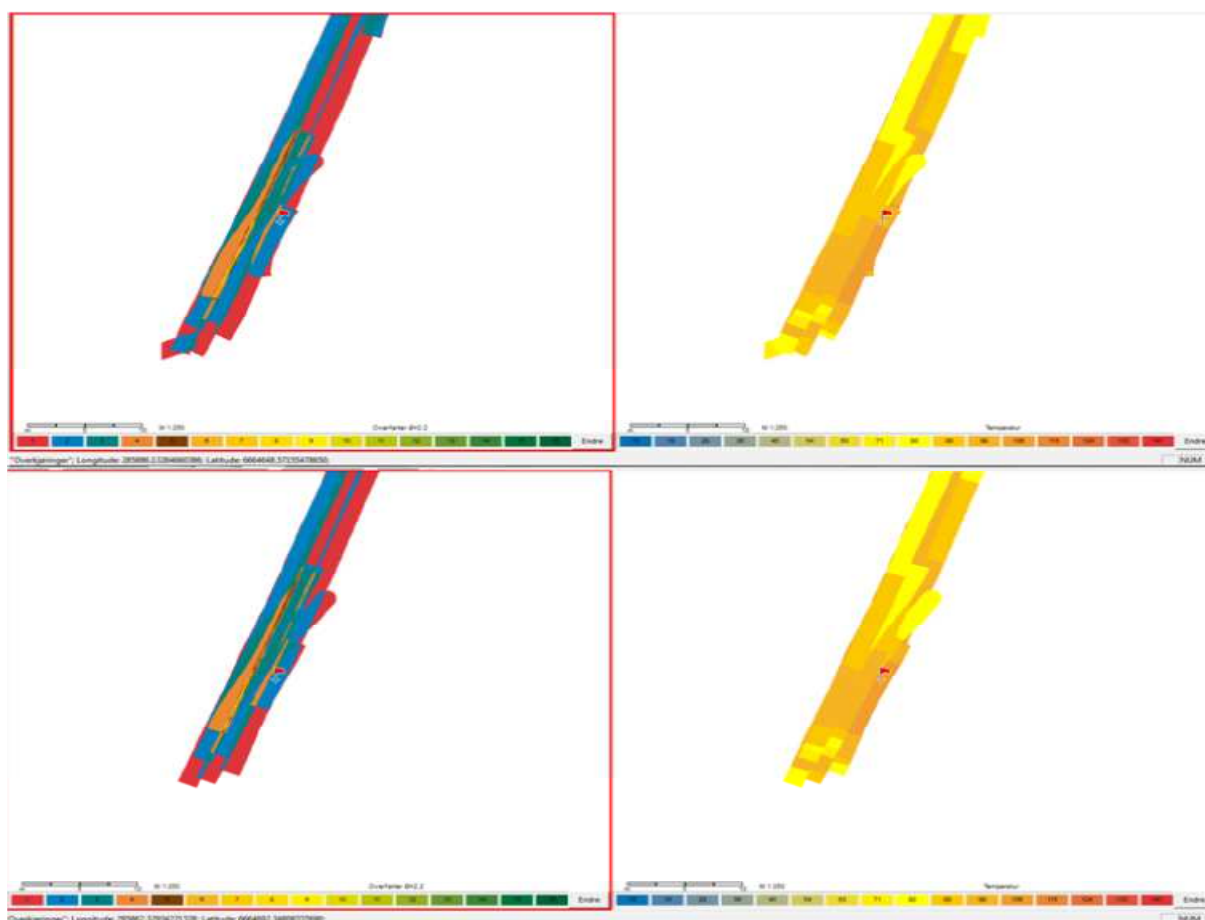
Figur 90 Sammensatt bilde av kompakteringen fra Dynapac's vals. Øvre V. bilde viser temperatur først overfart, øvre H. bilde viser temperatur siste overfart. Nedre V. bilde viser antall overfarter både statiske og med vibrasjon. Nedre H. bilde viser antall overfarter med vibrasjon over T_{min} som var satt til 100 °C.

Vurdering: Temperaturen virker å være lav innen det merkede området ved første og siste overfart i Figur 90. Dette kan skyldes at det temperaturen har falt pga varmetap inntil det eksisterende dekket. Området har fått noen overfarter med statisk kompaktering, men ikke med vibrasjon. Skanningen virker å flyte noe utover, dette kan påvirke hvordan kompakteringen fremvises. Det antas at dette kan ha bakgrunn i at mottaket for satellittsignalene har vært for dårlig.



Figur 91 Alle typer overfarter som er utført av valsen fra Hamm mellom 10 og 150 °C.

Vurdering: Det ble utført totalt syv overfarter som vist i Figur 91. Starttemperaturen var indikert til 114 °C.



Figur 92 Overfarter fra Hamm utført mellom 80 og 150 grader °C. Øverst V. Ser man antall overfarter med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overfarter utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

Vurdering: Det ble utført to overfarter med vibrasjon og oscillasjon over 80 °C.



Figur 93 Overførte fra Hamm utført mellom 10 og 80 grader °C. Øverst V. Ser man antall overførte med vibrasjon, øverst H. viser temperatur ved siste overfart med vibrasjon. Nederst V. ser man antall overførte utført med oscillasjon og nederst H. vises temperatur ved siste overfart med oscillasjon.

Vurdering: Det ble ikke gjennomført noen overførte med vibrasjon eller oscillasjon under 80 °C.

5 Diskusjon

5.1 Sammenstilling av data

Denne delen har som formål å sammenstille dataene og prøve å forklare disse resultatene. Hvordan feilkilder kan ha påvirket dataene vil også bli drøftet. Dette vil først bli gjort for de respektive dekketyperne og deretter drøftet med en felles del.

Alle resultater er utarbeidet med bakgrunn i antakelsen om at fremste valse sin utførelse har mest å si på sluttresultatet. Andre valse vil slette til mer og stå for sluttbearbeidingen. Men andre valse vil også gi fremste valse anledning til å kunne ha noen færre overfarter og således lukke dekket etter utlegger raskere. Dynapac sine valse kjørte fremst, mens Hamm var nummer to.

5.1.1 Vurdering AB16

Arbeidet ble evaluert med flere parametere. En samlet oppføring kan sees i Tabell 3. Det ble som tidligere nevnt inkludert målinger som ble utført med IR-skanner påmontert utlegger. Dette for å se om dennes utførelse kunne slå ut på sluttresultatet. I Figur 37 er det gjort en grafisk fremstilling av overfartene som ble utført. Dette er gjengitt fra Tabell 3, men er gjort for å bedre visualisere overfartene ved ulike temperaturintervall.

Overfartene er sortert, først samlet der overfartene fra Dynapac og Hamm er summert opp. De samlede overfarter med vibrasjon mellom 80 og 150 °C er så summert. Valsen fra Hamm er tatt opp for seg, da en kunne filtrere ut oscillasjon mellom 80 og 150 °C og for vibrasjon og oscillasjon under 80 °C.

Dynapac

Dette var første valse og det var dessverre noe vanskelig å gå inn på ønsket posisjon langs veien og få en god analyse av overfartene. Dette fordi skanningen var upresis i posisjoneringsen ved de ulike målepunktene. Dette vises ved at man ser forflytninger i horisontalplanet der hvor valsen har kjørt, et eksempel på dette kan sees i Figur 62. Ved de fleste målepunktene er det en utfordring at overfartene flytter noe utover. Hvis man ser på statistikken som analyseprogrammet til Dynapac har utarbeidet i Figur 38, virker ikke GPS målingene så tillitsvekkende. Det oppgis en middelvei av HDOP på 6,2 og standardavvik på 19,5. Hvis man ser til Figur 15 innebærer dette generelt et mindre presist mottak grunnet satellittens posisjonering. Standardavviket på 19,5 indikerer at det har vært store avvik på mottaket.

Ved temperaturmålingene er det også funnet avvik, der første overfart har målt lavere temperatur enn siste overfart. Generelt virker det som at siste overfart kan gi et mer riktig bilde av dekkets temperatur. Dette begrunnes med at valsen har hatt mange overfarter som gir bedre datagrunnlag for å estimere faktisk temperatur. Temperaturen virker å variere en del, men det antas at dette kan

skyldes leveranse av masse som har tapt varme under transport. Dette kan man finne igjen i Tabell 3, hvor disse målepunktene også har risikoarealer. En utetemperatur på + 10 °C har bidratt til å gi en raskere avkjøling av massen. Variasjonene kan også skyldes påvirkning av klimatiske forhold som vind, da man får et estimat av dekket basert på avlest varme i overflaten.

Hamm

Overfartene fra Hamm ser ut til å være mer presis i posisjoneringen. Man kan se vesentlig færre forstyrrelser på skanningen av overfartene. Hamm sitt analyseprogram inkluderer også overfarter med oscillasjon. En stor del av vegens areal og noen striper som har et høyere antall overfarter enn nødvendig. Stripene antas å oppstå grunnet overlapping ved overfartene. Det kan se ut som at valsefører ikke har vært bevisst valsemønsteret sitt. Det er mulig at det dekket noen steder har fått et ekstra antall overfarter da valsen iblant må etterfylles med vann.

Temperaturmålingene hadde noen avvik, som man kan se i punktanalysen i Figur 67. Dette gjorde det utfordrende å fastslå hvor mange overfarter som faktisk ble utført over 80 °C. Med bakgrunn i at temperaturen ikke stiger etter utlegging og at det ble målt høyere verdier antas det at kompakteringen har foregått over 80 °C. Dette er med forbehold om at målingene som indikerer en høyere verdi kan være feil. Ellers virker de målte temperaturene å kunne gi gode verdier.

Generelt

Overfartene totalt sett varierer fra 8 og helt opp til 16 totalt som vist i Tabell 3. Det er summert opp det totale antallet overfarter som ble gjort med vibrasjon over 80 °C. Dette er vibrasjoner utført av begge valsene. Den oscillerende vibrasjonen til Hamm er holdt utenfor, da dette ikke er benyttet likt hos begge leverandører. Man kan se at det bare er utført en til to overfarter totalt med vibrasjon, mens samtlige har fått en overfart med oscillasjon. Dette gir ikke det ønskede antallet overfarter som man ønsker seg. Ellers har fem av syv målepunkter blitt kompaktert med vibrasjon og oscillasjon under 80 °C. Dette kan ikke ha vært gunstig for hulrommet. Punkt 26 som var godkjent skiller seg lite fra de ikke godkjente. Men målepunkt 27 skiller seg ved at det ikke har fått noen overfart med vibrasjon under 80 °C. Utleggerens hastighet og de definerte risikozonene var det ikke mulig å se noen direkte sammenhenger med utfallet av kompakteringsarbeidet.

5.1.2 Vurdering SKA16

Det utførte arbeidet ble evaluert med flere parametere. En samlet oppføring kan sees i Tabell 4. Det ble som tidligere nevnt inkludert målinger som ble utført av utlegger. Dette for å se om dennes utførelse kunne slå ut på sluttresultatet. I Figur 71 er det gjort en grafisk fremstilling av overfartene som ble utført. Dette er gjengitt fra Tabell 4, men er gjort for å bedre visualisere overfartene ved ulike temperaturintervall.

Overfartene er inndelt likt som beskrevet i innledningen av 5.1.1 Vurdering AB16.

Dynapac

Dette var her også fremste vals og hadde de samme utfordringer som med AB16 i å få en god analyse av overfartene. Dette fordi skanningen hadde noe avvik i posisjoneringen ved de ulike målepunktene. Dette vises ved at man ser forflytninger i horisontalplanet der hvor valse har kjørt, et eksempel på dette kan sees i Figur 89. Ellers hadde de fleste målepunktene utfordring med at overfartene flyter noe utover. Hvis man ser på statistikken som analyseprogrammet til Dynapac har utarbeidet i Figur 72, virket ikke GPS målingene så tillitsvekkende. Det oppgis en middelvei av HDOP på 6,3 og standardavvik på 19,2. Hvis man ser til Figur 15 innebærer dette generelt et mindre presist mottak grunnet satellittenes posisjonering. Standardavviket på 19,2 indikerer at det har vært større avvik på mottaket.

Ved temperaturmålingene er det funnet avvik, ved at første overfart er det målt lavere temperatur enn ved siste overfart. Generelt virker det som at siste overfart kan gi et mer riktig bilde av dekkets temperatur. Dette begrunnes med at valse har hatt mange overfarter som gir bedre datagrunnlag for å estimere faktisk temperatur. Temperaturen i massen virker å variere en del, men det antas at dette kan skyldes at massen kan ha tapt varme under transport. Dette kan man finne igjen i Tabell 4, hvor risikoarealene er ført opp ved målepunkt 89 og 91. Variasjonene kan også skyldes påvirkning av klimatiske forhold som vind, da man får et estimat av dekket basert på avlest varme i overflaten.

Hamm

Hamm virker å ha et navigasjonssystem som fungerer mer presist under dekkeleggingen sammenlignet med Dynapac. Det er lite forstyrrelser å se ved målepunktene.

Temperaturmålingene ser ut til å gi et godt bilde, bortsett fra forstyrrelsen i målingen som man kan se på punktanalysen i Figur 86.

Generelt

Det virker generelt enklere å se sammenhengen mellom kompakteringsarbeidet og de godkjente målepunktene for SKA16. Dette kan man se i Figur 71. De godkjente punktene hadde seks overfarter med vibrasjon over 80 °C, mens de ikke godkjente kun hadde en til to overfarter. Det virker ikke som at man kan se seg ut noen sammenheng mellom de definerte risikosoner fra utlegger og sluttresultatet under denne dekkeleggingen. Dette viser den påvirkningen valsefører har på sluttresultatet. Det kan ha vært noe bedre tid til kompakteringsarbeidet da utetemperaturen var på + 16 °C ved denne dekkeleggingen.

5.1.3 Generelt for kontroll av dekkeleggingen

Det ble brukt to leverandørers system i evalueringen av kontinuerlig kompakteringskontroll. Dette var positivt da det var mulig å sette seg inn i hvordan begge systemene fungerte. Men dette vanskeliggjorde oppfølgingen av kompakteringen. Dette fordi systemene ganske enkelt ikke snakket sammen. Det må ha vært utfordrende for valseførerne at de ikke hadde et helhetsbilde av det utførte kompakteringsarbeidet. Det var fordeler og ulemper ved de to leverandørenes systemer. Dynapac sitt system DCA-A hadde en stor fordel med at systemet kunne produsere en statistikk over hele dekkeleggingen. Det var fordelaktig å kunne gå inn og sortere ut overfarter over og under en ønsket minimumstemperatur. Dette kunne man gjøre for overfarter totalt sett, statiske eller med vibrasjon. Ulempene med systemet var først og fremst dårlig posisjonerte satellitter og ingen referansekilde til hjelp. Dette forstyrret resultatene og utbyttet av målingene. Videre følt det begrensende at man ikke kunne få ut statistikk over et eget definert område. Avspillingsfunksjonen hadde også sine begrensinger. Dette grunnet at det ikke var mulig å ta ut sitt eget forhåndsdefinerte felt av skanningen og spille av denne. Det var også langtekkelig å måtte spille av hele opptaket for å få sett noe mot slutten. Avspillingsfunksjonen virker å ha et utviklingspotensial. Det kunne også være av interesse å vite snitthastighet på valsen over et definert område hvor det er mistanke om avvik.

Hamm hadde sin store fordel i å benytte GPS/GLONASS. Den økte mengden satellitter å forholde seg til hadde mye å si på kvaliteten av skanningen. Det at det er innebygde sensorer som holder kontroll på valsens posisjon ved mangelfull dekning har nok også hjulpet til med å gi gode data.

Punktanalysen som man kan gå inn og produsere på dekket gav mye verdifull informasjon. Det å kunne lese av temperatur per overfart gjør det enkelt å følge progresjonen i kompakteringen og analysere punktet. Det var også fordelaktig at man kunne bruke filtreringsfunksjonen for å produsere ønskede data, eksempelvis vibrasjoner over 80 °C. Ulempen med Hamm er at man ikke kan produsere en samlestatistikk over hele dekket eller utvalgte partier man vil se nærmere på.

Punktanalysen hadde vært mer utfyllende om man ved hver enkelt overfart hadde kunne sett hva valsefører hadde gjort. Figur 4 viser et eksempel på hvilke rekkefølge man skal kompaktere asfalten. Dette skulle en gjerne finne igjen i punktanalysen ved fremvising av overfartene.

Avspillingsfunksjonen hadde også sin begrensing som Dynapac med at man ikke kunne velge ut partier man vil spille av. Det kan virke langtekkelig å måtte spille av hele dekkeleggingen frem til ønsket området. Avspillingsfunksjonen kunne også hatt mer informasjon. Hva slags type kompaktering utføres ved denne overfarten, statisk, vibrasjon eller oscillasjon. Hastighet vil kunne være av interesse å vite. Dette begrenser ønsket om å bruke verktøyet i en jobbsammenheng.

Temperaturmålerens feilvisning kan også påvirke registreringen av overfartene. Dette var et gjentakende tilfelle under begge forsøksstrekningene, som er omtalt i vurderingen for AB16 og SKA16. Dette virker som en større svakhet for Dynapac, når man bare har første og siste overfart å forholde seg til. Men begge valser var utsatt for dette. Det kan være enklere å se at dette blir feil med Hamm sitt verktøy, som man kan se i Figur 88. Det er en mulighet at den lave temperaturmålingen er påvirket av at navigasjonssystemet ikke har god nok dekning og at det flyter unødvendig.

5.2 Forslag til krav i konkurransegrunnlag for asfaltkontraktene.

Det virker fornuftig å implementere bruk av kontinuerlig kompakteringskontroll i fremtidige kontrakter. Kravene kan formes slik:

- Valsene skal operere med ett felles dokumentasjonssystem. Systemet må kunne kommunisere med alle valsene som deltar i arbeidet. Alle valseførere vil slik kunne vite hva den andre har gjort og hva som gjenstår.
- Kompakteringsbehovet bør bestemmes ved valseforsøk. Der bestemmes antallet overfarer i forhold til den temperatur man kompakterer innenfor. Arbeidet skal ikke bearbeides under mykningspunktet. Eventuelt kan man forholde seg til retningslinjene beskrevet i kapittel 2.2.1 Valsing. Dekket skal da kompakteres med syv til åtte overfarer, hvorav tre til fire skal være med vibrasjon.
- Navigasjonssystemet må til enhver tid oppnå en nøyaktighet på minst 10 cm under hele dekkeleggingen. Om dette oppnås med GPS/GLONASS, bruk av CPOS eller RTK kan vurderes av entreprenør. Dette kan vurderes av entreprenør fra strekning til strekning, da det er ulik grad av elementer som forstyrrer. Eksempelvis trange daler eller store objekter langs veien, osv. Men oppstår det avvik vil det svekke kvaliteten av kompakteringskontrollen. En ordning der entreprenør får trekk i oppgjøret for å unngå dette kan vurderes.
- Målingene skal leveres i det koordinatsystem byggherren bestemmer.
- Der hvor isotopmåler har vært benyttet til kontroll bør dette stedfestes med koordinater. Det vil slik bli raskere å finne igjen områder hvor det har vært mistanke om avvik i veibanen.

5.3 Optimalisering av dekkekvalitet

5.3.1 Entreprenør

Det er entreprenør som må ta investeringskostnaden med å få installert kontrollutstyret på sine valser. Videre vil han måtte koste lisens på CPOS, eller investere i RTK utstyr hvis man ønsker å benytte dette. Entreprenør må i dag utføre egenkontroll av dekkeleggingen og har utgifter til dette. En økt bruk av kompakteringskontroll vil kunne redusere tidsbruk og laboratorieundersøkelser som de i dag må bekoste. Bruken av navigasjonssystem har skutt i været og prisen på slikt utstyr har gått veldig ned, det bør derfor ikke være større investeringsutgifter med å få dette på plass. Entreprenør vil ha fordelene med å kunne dokumentere ovenfor byggherren at arbeidet er tilstrekkelig utført. Byggherren kan vurdere et redusert krav til kontrollomfang ovenfor entreprenør om kvaliteten på ferdig dekke kan dokumenteres på annen måte. For entreprenør ligger det en redusert risiko for reklamasjon.

5.3.2 Valsefører

Dokumentasjonsutstyret vil gi valsefører en kontinuerlig tilbakemelding på arbeidet. Det er derfor viktig at man gir god opplæring i systemet, slik at bruker forstår hvordan man best kompakterer dekket med valsen. Systemet kan også virke motiverende for valsefører, da han selv får en bedre kontroll over arbeidet sitt. Han kan da raskere kunne ta tak i de partier hvor temperatur er lav eller overfartene er for få. Valsefører observasjoner må også bestemme hastighet på utlegger.

5.3.3 Byggherre

Det forventes at kvaliteten forbedres på dekkeleggingen med kontinuerlig kompakteringskontroll. Dette fordi valseføreren vet mer om kompakteringen av dekket. Byggherren oppnår også en bedre og raskere kontroll med hele kompakteringsarbeidet. En slik kompakteringskontroll vil gi kontroll på dekket over hele strekningen kontra den rettede prøvetaking som benyttes i dag. Kontrollen vil også kunne rettes mer presist mot svake partier. Dette vil slå gunstig ut for de kostnader som man har i dag på kontrollvirksomhet.

Levetiden på dekket bør også øke, når valsefører raskere vet om det er utført en god nok jobb. Dette vil kunne gi en kostnadsbesparelse, både i forhold til direkte kostnader for asfalt og til kontrollvirksomhet. Eksempelvis bruker Statens vegvesen region øst per i dag rundt 7 millioner NOK på byggherrekontroll av dekkelegging årlig. Dette innbefatter feltarbeid og laboratorieanalyser i etterkant. En økt kunnskap om dekket vil kunne redusere behovet for kontroller. Disse vil kunne bli mer rettet mot der man ved hjelp av kontinuerlig kompakteringskontroll så seg ut svake partier.

Ved at byggherren stiller krav til bruk av utstyret vil kostnaden kunne bli dekket inn ved økte asfaltpriser.

6 Konklusjon

Kontinuerlig kompakteringskontroll for asfalt er ikke tatt i bruk som dokumentasjonsverktøy per i dag. Samtlige land som ble brukt til sammenligningen, gjennomførte kontrollene på samme måte som i Norge. Dette ved rettet stikkprøvekontroll. Når det gjelder utprøving av verktøyet virker det som man har mest erfaring med dette i USA. FHWA i USA har utarbeidet sine retningslinjer som vist i kapittel 3.4. Forsøkene har basert seg mer på bruk av responsmålinger som parameter enn det som var aktuelt i denne oppgaven. Om man ønsker å utvide kompakteringskontrollen med denne parameteren kan man evaluere etter hvert som flere forsøk gjennomføres med dette. Bruk av tilstandsdata (spor, jevnhet og tekstur) synes å være fornuftige parametere til å måle effekten av kontinuerlig kompakteringskontroll i det videre arbeidet.

Forsøkene som ble benyttet hadde dessverre for store avvik i posisjoneringen til å kunne gjøre seg opp en absolutt mening om kompakteringsarbeidet. Dette gjaldt spesielt for dekkeleggingen av AB16. Det var derimot enklere å se en sammenheng mellom de målepunktene som var godkjente og ikke godkjente for SKA16. Dette fordi man kunne se at det var totalt seks overfarter med vibrasjon før mykningspunktet der målepunktene var godkjente, når det bare var en til to overfarter ved de som ikke var godkjente.

Manglende kompatibilitet mellom systemene kompliserte analysen. Dette medførte at man må gå inn manuelt for å finne igjen målepunktene i de ulike systemene. Dette kan man ikke bruke tid på når man skal evaluere kompakteringsarbeidet i en større kontrakt.

Kontinuerlig kompakteringskontroll virker som et egnet verktøy, men flere forsøk bør gjennomføres for å verifisere dette. Spesielt dekkeleggingen med SKA16 antyder at et tilstrekkelig hulrom er oppnådd. Det er totalt utført ved seks overfarter med vibrasjon der hulrommet er godkjent, mens det var kun en til to overfarter med vibrasjon ved de ikke godkjente. Dessverre var det ikke flere enn fire målepunkter, noe som kan være et statistisk sett dårlig grunnlag. IR-skanning av temperaturen i massen gir et verdifullt supplement til kompakteringskontrollen og bør absolutt benyttes. Dette til tross for at den kan ha noen avvik av klimatiske forhold som vind.

Som tidligere nevnt i forslag til krav i konkurransegrunnlag, bør valsen ha mottaker som kan oppnå en nøyaktighet på minst 10 cm. Valsene som benyttes må ha montert samme utstyr som kommuniserer med hverandre, slik at valseførerene har et helhetsbilde. Dette kommer godt til syne når man ser på det totale antallet overfarter som har blitt utført. Det virker unødvendig å ha opptil 18 overfarter på enkelte strekninger. Det virker også lite gunstig at valsefører tidvis har kompaktert dekket ved temperatur lavere enn bitumenets mykningspunkt.

Det bør stilles krav til at valseforsøk utføres for å bestemme det nødvendige antallet overfarter. Antallet overfarter som er nødvendig skal bestemmes i forhold til hvilken temperatur man arbeider innenfor. Ved fastsetting av antallet overfarter bør man også ta hensyn til utetemperatur og vind. Kompakteringsarbeidet skal uansett være avsluttet før man når mykningspunktets temperatur. Der hvor det ikke gjennomføres valseforsøk kan man forholde seg til retningslinjene beskrevet i kapittel 2.2.1 Valsing.

Man må på en enkel måte kunne gå inn på en parsell og evaluere resultatet av kompakteringen. Det vil være fordelaktig om programmene kan vise partiene hvor overfartene ikke er utført i forhold til planlagt valseprogram. Denne andelen bør også vises i en statistikk. Begge systemene har elementer som absolutt er av interesse å benytte. Dynapac har utviklet en løsning som produserer en ønsket statistikk over det overfarer antallet totalt sett, for vibrasjon og statisk. Dette gjelder over og under en definert minimumstemperatur. Det kan også være av interesse å kunne evaluere et punkt eller et område av dekket. Om begge leverandører kan tilføre dette til sine systemer vil man optimalisere kontrollmulighetene. Gitt at systemene oppnår en god nøyaktighet og man kjenner systemene har systemene sin verdi i dag.

7 Veien videre

Dette er et emne som absolutt har et potensial for videre utredning. En naturlig videreføring av oppgaven vil være gjennomføring av flere feltforsøk. Flere valser bør da arbeide opp mot samme system. Det virker naturlig å gjøre en ny analyse der navigasjonssystemet operer med en nøyaktighet på minst 10 cm.

Det kan også være av interesse å gjennomføre test med leverandørenes løsninger på responsmålinger. Det er en interessant avveining med bruk av responsmålinger sett opp i mot det å kreve et gitt antall overfarter. Dette fordi man da gjerne må vite mer om undergrunnen før dekkeleggingen. Man kan da spørre seg om man er villig til å bruke tid og penger på å gjøre disse undersøkelsene i forkant.

Sammenligning av resultatene med målinger av tekstur i overflaten er også et tema som kan være interessant å undersøke nærmere. Kan man si noe mer om dekket med bruk av kompakteringskontroll sett i sammenheng med hvor åpent steinen i dekket stikker frem.

Hvor mye av kompakteringsarbeidet som ødelegges ved vibrasjon og oscillasjon under mykningspunktet, kunne være av interesse å vite mer om. Man kan da bruke det som en del av trekk i utbetalingen, hvis man kan si noe om hvordan dette påvirker hulrommet negativt.

Kost og nytteberegninger vil kunne være av interesse å få mer kontroll på. Vil man kunne totalt sett komme økonomisk gunstig ut av å bruke kontinuerlig kompakteringskontroll. Dette ved å sette investerings- og driftskostnadene opp i mot økt levetid, potensielt færre arbeidstimer og laboratorieanalyser.

8 Referanser

- Arambula, E., Garboczi, E. J., Masad, E. & Kassem, E. (2008). Numerical analysis of moisture vapor diffusion in asphalt mixtures using digital images. Tilgjengelig fra: <http://link.springer.com/article/10.1617%2Fs11527-009-9554-3/fulltext.html> (lest 30.01.2014).
- Atlas Copco. (2014). Dynapac Tandem Asphalt Rollers. Tilgjengelig fra: http://issuu.com/dynapac/docs/dynapac_cc2200-7200_range_3492_023 (lest 12.05.2014).
- Australian Asphalt Pavement Association. (2004). National Asphalt Specification. Tilgjengelig fra: http://www.aapa.asn.au/cms_files/NatAsphaltSpecEd2.pdf (lest 12.05.2014).
- B-Bullock, J. (2008). European Standards for Asphalt. Tilgjengelig fra: http://www.agg-net.com/files/attachments/articles/european_standards_for_asphalts.pdf (lest 12.05.2014).
- Bleißmann, W., Garthe, F., Großhans, D., Körner, M., Lammen, H., Müssenich, H. & Schmidt, H. (2011). Guidelines to ensure the usable lifetime of hot mix asphalt pavements. Tilgjengelig fra: http://www.asphalt.de/media/exe/115/187fb375b650a1cdaa47f4aef3438894/april_2011_hi_nweise_nutzungsdauer_englisch.pdf (lest 12.05.2014).
- BOMAG. (2009). Basic principle of Asphalt Compaction. Tilgjengelig fra: http://www.bomag.com/world/media/pdf/PRE109016_0901.pdf (lest 12.05.2014).
- Dynapac. (2008). Compactasphalt. Tilgjengelig fra: http://www.podshop.se/Content/21/opensearchresult.aspx?file=3492%200020%2001_L.pdf (lest 11.05.2014).
- Dynapac. (2010). Dynapac Compaction Analyzer for Asphalt DCA-A. Tilgjengelig fra: <http://www.dynapac.com/en/Products/?product=667&cat=36> (lest 12.05.2014).
- Dynapac. (2011). Compaction Concepts. Tilgjengelig fra: http://issuu.com/dynapac/docs/compaction_concepts/1?e=2057607/5756896 (lest 12.05.2014).
- Dynapac. (2013). CC334HF. Tilgjengelig fra: http://pdf.dynapac.com/resources/pdfs/676/cc334hf_en-20130218.095432.pdf (lest 12.05.2014).
- Ekeli, T. E., K. Naterstad, Å. Wiborg, N. . (1996). *Asfaltboka - Grunnleggende lærebok i asfaltfaget*. Oslo: BA forlaget.
- Federal Highway Administration. (2003). Standard specifications for construction of roads and bridges on federal highway projects. Tilgjengelig fra: <http://flh.fhwa.dot.gov/resources/pse/specs/fp-03/fp-03usc.pdf> (lest 12.05.2014).
- FHWA. (1982). Principles of Construction of Quality Hot-Mix Asphalt Pavements - Inspectors' Training Course Manual. Tilgjengelig fra: http://www.fhwa.dot.gov/pavement/pub_details.cfm?id=584 (lest 12.05.2014).
- FHWA. (2011). Accelerated Implementation of Intelligent Compaction Technology for Embankment Subgrade Soils, Aggregate Base, And Asphalt Pavement Materials - Final Report. Tilgjengelig fra: <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/ic/pubs/hif12002.pdf> (lest 12.05.2014).
- Hamm. (2014a). DV 90 VV / DV 90 VO. Tilgjengelig fra: <http://www.hamm.eu/en/produkte/tandemwalzen/serie-dv/dv-90-vv.178.php#!tab=technische-daten> (lest 12.05.2014).
- Hamm. (2014b). *Hjemmeside til Hamm*. Tilgjengelig fra: <http://www.hamm.eu/en/technologien/> (lest 12.05.2014).
- Poole, I. (2014). *GPS Accuracy, Errors & Precision*: Radio-Electronics.com. Tilgjengelig fra: <http://www.radio-electronics.com/info/satellite/gps/accuracy-errors-precision.php> (lest 12.05.2014).
- Sandström, A. J. & Pettersson, C. B. (2003). Intelligent Systems for QA/QC in soil compaction. Tilgjengelig fra: <http://www.geodynamik.com/languages/pdf/trbg04.pdf> (lest 12.05.2014).

- Schröder, R., Arnold, P. & Schulze, C. (2008). *Compaction in asphalt construction and earthworks*. 1 utg.: Hamm,.
- Seeber, G. (2003). *Satelite Geodesy*. 2nd utg.: Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, 10785 Berlin.
- Statens kartverk. (2005). Satellittbasert posisjonsbestemmelse. 2nd. Tilgjengelig fra: <http://folk.uio.no/treiken/GEO4530/Satbasertposbest2005-01-12.pdf> (lest 12.05.2014).
- Statens kartverk. (2012). CPOS. statkart.no. Tilgjengelig fra: <http://www.statkart.no/Posisjonstjenester/CPOS/> (lest 07.04.2014).
- Statens vegvesen. (2007). *HB 014 Laboratorieundersøkelser*.
- Statens Vegvesen. (2011). *Håndbok 018*.
- Telle, R. (2012). Asfalttyper, proporsjonering og sammensetning: Veiteknisk institutt.
- Telle, R. (2013). Vurdering av IR-scanning på Romerike.
- Trafikverket. (2011). TRVKB 10 Bitumenbundna lager. Tilgjengelig fra: http://publikationswebbutik.vv.se/upload/6343/2011_082_TRVKB_10_bitumenbundna_lager.pdf (lest 12.05.2014).
- Trimble. (2005). AgGPS 332 GPS Receiver. Tilgjengelig fra: <http://dl.owneriq.net/1/140721f0-11aa-45e6-ae6f-541de2761d07.pdf> (lest 12.05.2014).
- Troxler Electronic Laboratories, I. (2009). Brochure - Troxler Thin Layer Density Gauge. Tilgjengelig fra: http://www.troxlerlabs.com/downloads/pdfs/4640/4640B_brochure.pdf (lest 12.05.2014).
- Wolfram. (2014). *Sums of Sine Waves with Several Step Sizes*. Tilgjengelig fra: <http://demonstrations.wolfram.com/SumsOfSineWavesWithSeveralStepSizesSawtoothOrSquareApproxima/> (lest 12.05.2014).

9 Vedlegg

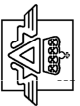
Vedlegg 1 – Samlestatistikk AB16 PMB

Vedlegg 2 – Samlestatistikk SKA16 PMB

Vedlegg 3 – Leggerapport AB16 PMB 20.06.2013

Vedlegg 4 – Leggerapport SKA16 PMB 11.07.2013

Vedlegg 1 – Samlestatistikk AB16 PMB



Statens vegvesen

Samlesstatistikk asfalt

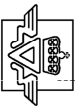
Region Øst

Oppdragnr.	1130142	Navn	E6 kif 4 GRAN X171 - LANGELAND N XR23		Reseptnr.	138232002901	Entreprenør	Lemminkäinen Norge AS	
Vegprosjektnr.	105604	Navn	Asfaltkontroll		Tol.seit	T1 Surf	Asfalterleverandør		
Kundnr.	41	Navn	Dekkepr.		Dekketype	Ab 16 Pmb			

Oppdragnr.	P.-nr.	Dato	Vegnr	HP	Km	Feltnr	Kategori/Serie															
							Øvre	11.0	16.0	21.0	24.0	27.0	35.0	46.0	61.0	80.0	100.0	6.00	Temp.	Hulrom		
1130142	1	20.06.2013	EV6	11	4.884	F4	Pfivnedre	7.0	10.0	13.0	16.0	19.0	23.0	34.0	49.0	68.0	89.0	5.20	140.0	2.0		
1130142	2	19.06.2013	EV6	11	5.41	F4		9.4	12.6	17.0	20.9	25.9	34.1	45.8	61.6	75.2	98.0	5.75	169.0			
1130142	4	28.06.2013	EV6	11	2.318	F4		7.9	10.7	14.5	18.0	22.1	28.2	36.5	51.3	63.7	98.1	5.20	173.0			
1130142	5	25.06.2013	EV6	11	4.251	F4		9.2	12.3	17.0	21.0	25.6	33.5	44.6	64.2	78.2	98.6	5.50	159.0			
1130142	6	25.06.2013	EV6	11	3.435	F4		9.5	12.9	17.0	20.5	24.7	31.3	42.9	62.3	78.0	98.5	5.50	163.0			
1130142	7	28.06.2013	EV6	11	2.863	F4														2.39		
1130142	8	28.06.2013	EV6	11	2.849	F4															7.06	
1130142	9	28.06.2013	EV6	11	2.778	F4															6.78	
1130142	10	28.06.2013	EV6	11	2.656	F4															2.31	
1130142	11	28.06.2013	EV6	11	2.618	F4															3.79	
1130142	12	19.06.2013	EV6	11	5.742	F4															3.03	
1130142	13	19.06.2013	EV6	11	5.649	F4															6.50	
1130142	14	19.06.2013	EV6	11	5.615	F4															10.06	
1130142	15	19.06.2013	EV6	11	5.559	F4															2.35	
1130142	16	19.06.2013	EV6	11	5.493	F4															7.94	
							Middel	9.0	12.1	16.4	20.1	24.6	31.8	42.4	59.9	73.8	98.3	5.5	167.2	5.2		
							Std avvik	0.7	1.0	1.3	1.4	1.7	2.7	4.1	5.8	6.8	6.8	0.3	0.22	6.0	2.8	
							Maks	9.5	12.9	17.0	21.0	25.9	34.1	45.8	64.2	78.2	98.6	5.75	173.0	10.1		
							Min	7.9	10.7	14.5	18.0	22.1	28.2	36.5	51.3	63.7	98.0	5.20	159.0	2.3		
							Antall	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	10	
							% over	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50		
							% innen	100	100	100	100	100	100	100	100	25	75	100	100	50		
							% under	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0		

Hulrom med * er isotop

Vedlegg 2 – Samlestatistikk SKA16 PMB



Statens vegvesen

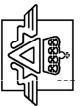
Samlestatistikk asfalt

Region Øst

Oppdragnr.	1130142	Navn	E6 kif 4 GRAN X171 - LANGELAND N XRP23			Reseptnr.	138132006901	Entreprenør	Lemminkäinen Norge AS							
Vegprosjektnr.	105604	Navn	Asfaltkontroll			Tol.sett	T1	Asfalterevandør								
Kundnr.	41	Navn	Dekkepr.			Dekketype	Ska 16 Pmb									

Oppdragnr.	P.-nr.	Dato	Vegnr	HP	Km	Feltnr	Kategori/Serie															
							Øvre	11.0	15.0	19.0	22.0	25.0	32.0	41.0	50.0	63.0	75.0	87.0	95.5	5.81	169.0	
1130142	39	04.07.2013	EV6	10	6.102	F4	7.0	9.0	11.0	14.0	17.0	20.0	29.0	38.0	51.0	63.0	75.0	87.0	95.5	5.81	169.0	
1130142	40	04.07.2013	EV6	10	6.102	F4	8.5	11.3	14.6	17.0	19.7	23.9	30.3	43.7	58.8	73.9	88.9	98.9	5.71	177.0		
1130142	42	09.07.2013	EV6	10	5.014	F4	8.8	11.8	14.6	16.4	18.7	22.7	29.4	42.9	55.3	67.3	77.3	82.2	5.82	163.0		
1130142	43	10.07.2013	EV6	10	4.194	F4	9.6	12.4	15.3	17.3	19.5	23.9	30.7	42.5	52.2	62.2	72.2	76.6	5.81	169.0		
1130142	51	04.07.2013	EV6	10	6.144	F4														4.21		
1130142	52	04.07.2013	EV6	10	6.048	F4														11.38		
1130142	53	04.07.2013	EV6	10	6.014	F4														10.26		
1130142	54	04.07.2013	EV6	10	5.929	F4														9.94		
1130142	55	04.07.2013	EV6	10	5.755	F4														7.11		
1130142	56	04.07.2013	EV6	10	5.593	F4														5.41		
1130142	57	10.07.2013	EV6	10	4.674	F4														2.77		
1130142	58	10.07.2013	EV6	10	5.557	F4														7.19		
1130142	59	10.07.2013	EV6	10	4.998	F4														7.60		
1130142	60	05.08.2013	EV6	10	3.0	F4	9.3	11.7	14.4	16.3	18.5	22.2	28.0	43.0	57.2	71.4	85.6	99.8	5.54	167.0		
1130142	61	06.08.2013	EV6	10	2.971	F4														5.69		
1130142	62	06.08.2013	EV6	10	2.851	F4														2.00		
1130142	63	06.08.2013	EV6	10	2.761	F4														0.84		
1130142	64	06.08.2013	EV6	10	2.687	F4														2.89		
							Middel	9.0	11.8	14.7	16.8	19.1	23.2	29.6	43.0	57.2	71.4	85.6	99.8	5.54	167.0	
							Std avvik	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.9	1.2	0.5	4.5	1.4	0.13	6.2	3.3		
							Maks	9.6	12.4	15.3	17.3	19.7	23.9	30.7	43.7	62.5	98.9	5.82	177.0	11.4		
							Min	8.5	11.3	14.4	16.3	18.5	22.2	28.0	42.5	52.2	95.5	5.54	163.0	0.8		
							Antall	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	13	
							% over	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62	
							% innen	100	100	100	100	100	100	75	100	100	75	100	100	31		
							% under	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	8	

Hullrom med " er isotop



Statens vegvesen

Samlestatistikk asfalt

Region Øst

Oppdragnr.	1130142	Navn	E6 kif 4 GRAN X171 - LANGELAND N XRP23				Reseptnr.	138132006901	Entreprenør	Flere finnes						
Vegprosjektnr.	105604	Navn	Asfaltkontroll				Tol.sett	T1	Asfalterevandør							
Kundnr.	41	Navn	Dekkepr.				Dekketype	Ska 16 Pmb								

Oppdragnr.	P.-nr.	Dato	Vegnr	HP	Km	Feltnr	Øvre	Pfri nedre	Kategori/Serie										Temp.	Hulrom	
									0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	8,0	11,2	16,0			Bindem.
1130142	83	08.08.2013	EV6	10	0,486	F4	11,0	15,0	19,0	22,0	25,0	32,0	41,0	50,0	63,0	99,0	6,30	180,0	5,0	1,52	
1130142	84	08.08.2013	EV6	10	0,434	F4														2,53	
1130142	85	08.08.2013	EV6	10	0,384	F4														2,95	
1130142	86	08.08.2013	EV6	10	0,318	F4														4,61	
1130142	87	08.08.2013	EV6	10	0,242	F4														4,65	
1130142	88	08.08.2013	EV6	10	0,178	F4														2,93	
1130142	89	11.07.2013	EV6	10	4,084	F4														3,65	
1130142	90	11.07.2013	EV6	10	3,968	F4														8,06	
1130142	91	11.07.2013	EV6	10	3,878	F4														3,01	
1130142	92	11.07.2013	EV6	10	3,81	F4														5,69	
1130142	93	11.07.2013	EV6	10	3,688	F4														2,97	
1130142	94	11.07.2013	EV6	10	3,616	F4														4,97	
1130142	95	11.07.2013	EV6	10	3,212	F4														3,69	
1130142	96	11.07.2013	EV6	10	3,155	F4														5,17	
1130142	97	11.07.2013	EV6	10	3,041	F4														2,44	
1130142	98	08.08.2013	EV6	10	0,438																
1130142	99	06.08.2013	EV6	10	1,784																
							Middel	9,7	12,9	15,7	17,7	20,1	24,3	31,4	48,2	69,1	98,6	5,72	160,0	3,9	
							Std. avvik	0,6	0,3	0,1	0,1	0,3	0,5	0,8	1,4	3,6	0,0	0,15	3,5	1,6	
							Maks	10,1	12,9	15,7	17,8	20,4	24,6	31,9	49,1	71,6	98,6	5,93	165,0	8,1	
							Min	9,3	12,5	15,6	17,6	19,9	24,0	30,8	47,2	66,6	98,6	5,72	160,0	1,5	
							Antall	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	15
							% over	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	0	20		
							% innen	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100	73		
							% under	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	

Hulrom med * er isolop

Vedlegg 3 – Leggerapport 20.06.2013

Vedlegg 4 – Leggerapport 11.07.2013



Statens vegvesen

Leggerappport for dekkearbeider

Dagsrapport dato: 11.07.2013

Side 4 av 8

versjon juni 2011

Entreprenør:	Lemminkäinen Norge AS	Kontrakt:	1-02-2013-03-v1	Punkt nr:	05A
Veg nr:	Ev 6	Hp:	10	Parsell:	Ev6 Gran-Langeland

Fra Hp	Fra m	Til Hp	Til m	Felt	Lengde m	Bredde m	Annet areal (beskriv):	
10	3798	10	3200	4	598	4,1		
Tiltak / Lagdel		Masstype		Resept nr.		Areal m ²	Mengde tonn	Forbruk kg/m ²
Slitelag		Ska 16 pmb		138 132 006 901		2451	276,6	112,85
Sum dagsrapport:							2451	276,6

Værforhold / lufttemperatur under legging:				Annet arbeid:		
Målt kl.	Temperatur	Værforhold	Vegbane under legging		Antall kummer:	stk
2	+18		Terr:	X	Antall sluk:	stk
			Fuktig:		Klebet areal:	2451 m ²
			Våt:		Håndlegging:	tonn
					Nattarbeid (tillegg):	276,6 tonn
Annet:						

Kontroll / Kvalitet:								Kommentarer:
Målt kl:	Massetemperatur Målt på / i:			Målt ved:				
	Bil	Båt	Veg	Utlegger	Hp	m	Felt	
			158					<input type="checkbox"/>
								<input type="checkbox"/>
								<input type="checkbox"/>
								<input type="checkbox"/>
Dagskjøter, Utleggerstopp, Annet:			Hp	Km.	Felt	Målt m/rettholt	Avvik	
Dagskjøt			10	3798	4			<input type="checkbox"/>
								<input type="checkbox"/>
								<input type="checkbox"/>

Visuell vurdering						Merknader:
	Fra		Til		Felt	
	Hp	m	Hp	m		
Blanke partier						
Sprekker						
Åpne partier						
Valsespor / sår						
Annet. Angi under:						

SLUTTRAPPORT / SAMLERAPPORT (føres kun etter siste leggedag)											
Veg nr.	Fra		Til		Lengde m	Bredde m	Tiltak / Lagdel	Masstype	Areal m ²	Mengde tonn	Forbruk kg/m ²
	Hp	m	Hp	m							

Dato for start: 04.07.2013 Dato for slutt: 08.08.2013 Underskrift: Håkan Ericsson

Originalrapport leveres Statens vegvesen v/byggeleder senest 1 uke etter legging



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no