

Undersøke presisjon og effektivitet av Ground Penetrating Radar for å definere hulrom i asfaltdekket

Raymond Helland

Master i veg og jernbane

Innlevert: mai 2018

Hovedveileder: Inge Hoff, IBM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk

**Undersøke presisjon og effektivitet av
Ground Penetrating Radar for å definere
hulrom i asfaltdekket**



Statens vegvesen

Veg og Jernbane – Masterstudium

Trondheim, Mai 2018

Norwegian University of Science and Technology

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet som en avslutning på erfaringsbasert masterstudium i Veg og Jernbane med studieretning veg, ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Lab- og vegteknologiseksjonen i Statens vegvesen, Region midt.

Jeg vil gjerne rette en takk til veilederne mine: Haris Brcic og Trond Østen ved Statens vegvesen region midt, som har hjulpet meg en hel del med bakgrunnsstoff, rådata og veiledning når det gjelder faglige utfordringer og Inge Hoff ved NTNU som har vært min hovedveileder med sin gode erfaring har ledet meg i riktig retning.

I tillegg er jeg takknemlig for hjelpen jeg fikk av Viktor Hedfors og Milos Duric.

Sammendrag

Ground Penetrating Radar, GPR, blir benyttet til kvalitetskontroll av hulrom i asfaltdekker, både i Sverige og Finland. Det er her blitt akseptert som en relativt god måte å vise variasjonene i hulrom i dekkets lengderetning. På bakgrunn av dette har det blitt gjennomført sammenligningsmålinger av hulrommet i to reasfalterte strekninger i Akershus fylke. En måling utført av isotop densitetsmåler (Seaman C300) sett opp mot et kalibrert GPR-målt hulrom.

Resultatene viser små variasjoner i målinger gjort med Seaman C300. 70 % av målingene på Fv. 229 er innenfor akseptabel feilmargin, sammenlignet med resultatet fra GPR-målt hulrom.

Oppgaven undersøker rådata fra tidligere gjennomførte målinger med GPR, og resultatet sammenlignes med målinger gjort med isotop densitetsmåler. Oppgaven inneholder en teoridel som beskriver tradisjonelle metoder å undersøke hulrom, deretter en beskrivelse av hvordan GPR fungerer, og kort om GPR og hulromsundersøkelser. Presentasjon av data er illustrert av figurer og tabeller under kapitlet resultater. Deretter blir tolkningen diskutert og på grunnlag av dette lyder konklusjonen:

- GPR målt hulrom kan potensielt brukes som et supplement til kontroll av kvalitet i asfalterte dekker.
- Det å analysere data fra GPR har mye å si for nøyaktigheten av resultatet, derfor er det nødvendig med gode erfaringer av slike analyser.
- GPR er lett anvendelig og det går hurtig å hente inn data. Derfor er det et brukbart verktøy å supplere med når en skal undersøke hulromsandelen i asfaltdekker.

Abstract

Ground Penetrating Radar (GPR), is used for quality control of the air voids in the paved roads, both in Sweden and Finland. In these countries, it has been accepted as a relatively good way to view the variations of air voids in the asphalt layer. Because of this, there have been undertaken comparison measurements of air voids in two paved roads in Akershus County, Norway. One measurement was taken with an Isotope density gauge (Seaman C300) and this was compared to a calibrated GPR-measurement of air voids.

The results show a small variation in the measurements made by Seaman C300. 70% of measurements made with the C300 on two of the roads were within the acceptable margin of error when compared with the results from the GPR-measured air voids.

This thesis examines data from previously conducted measurements with the GPR and the results compared with the measurements made by an Isotope density gauge. The study contains a theoretical part, which describes the traditional methods of investigating the air voids, and then a description of how GPR works and short explanation about GPR and air void examinations. The figures and tables in the chapter 'Results' give a presentation of the data. The results are then discussed. Based on the results, the conclusions are as follows:

- GPR measured air voids can potentially be used to complement the control of quality in paved roads.
- It is important that the analyst has the correct knowledge and experience of such GPR surveys, since this has a lot to say about the accuracy of the results.
- GPR is easily used and it is quick to retrieve the data. It is therefore a feasible tool to supplement other existing methods when investigating air voids in paved roads.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
Figurer og tabeller	vi
Forkortelser og begrepsavklaringer	vii
1 Innledning	1
2 Litteratur for oppgaven	2
2.1 Overbygningens elementer (veikroppen)	2
2.1.1 Veidekke	2
2.1.2 Utlegging og kvalitetskrav av asfaltdekke	3
2.1.3 Konsekvenser ved feil hulromsandel	5
2.2 Metode for kontroll av asfaltdekke	8
2.2.1 Prøvetaking av dekker – borkjerneprøve	8
2.2.2 Måle hulromsprosenten	8
2.2.2.1 Isotop densitetsmåler	9
2.2.2.2 Undersøke i laboratoriet	10
2.3 Posisjonering	12
2.4 Ground Penetrating Radar (GPR)	13
2.4.1 Introduksjon av GPR	13
2.4.2 Grunnleggende GPR-teknologi	14
2.4.3 GPR-system	14
2.4.4 Parameter som påvirker spredningen til EM-bølger	15
2.4.4.1 Konduktivitet (σ)	15
2.4.4.2 Dielektriske permittivitet	16
2.4.4.3 Magnetiske permeabilitet (μ)	17
2.4.5 Hvordan analysere rådata fra en undersøkelse	17

2.4.6	GPR-teknologi og hulrom i asfaltdekke	18
2.4.6.1	<i>Metallplate refleksjonsmetoden</i>	19
2.4.6.2	<i>Behandling og beregning av rådata fra GPR undersøkelse</i>	20
2.4.6.3	<i>Behandling av rådata og beregning av hulromsinnhold</i>	20
3	Kort om veistrekningene	22
3.1	Fv. 229 i Akershus.....	22
3.2	Europavei 6 i Akershus.....	24
4	Metode	26
4.1	Road Doctor (RD) programvare	26
4.1.1	Hulromsundersøkelser.....	27
5	Resultater	30
6	Diskusjon	38
7	Konklusjon.....	40
8	Videre arbeid	41
9	Referanser	42
10	Vedlegg	45

Figurer og tabeller

Figur 1 - De forskjellige lagene i en overbygning	2
Figur 2 - Nødvendig dekketemperatur for komprimering.....	4
Figur 3 – Dekkeskader som skyldes høyt hulrom i skjøt.	6
Figur 4 – Høyt hulrom gir steinslipp i hjulsporene.	6
Figur 5 - «Blødning» i asfaltdekke.....	7
Figur 6 – Bilde av uttaking av borkjerneprøve	8
Figur 7 – Isotop densitetsmåler.	9
Figur 8 - Skjermdump av prosessert data fra RD.....	12
Figur 9 – GPR-profil, målt med en luftkoplet antenne med impuls radar	18
Figur 10 – Fv. 229 hp 01 5358-13435m fra Holen til Ydersbotn	22
Figur 11 – Europavei 6 hp 09 4855-6002m ved Lindeberg	24
Figur 12 – Skjermdump av prosessert data fra RD	27
Figur 13 – Utrekning av k i RD.....	28
Figur 14 – Andel hulrom på Ev. 6 i felt 2.	30
Figur 15 – Andel hulrom på Fv. 229 i felt 2 fra 6360-9357 meter.....	31
Figur 16 – Andel hulrom på Fv. 229 i felt 2 fra 9358-12357 meter.....	32
Figur 17 – Andel hulrom på Fv. 229 i felt 2 fra 12358-13437 meter.....	33
Figur 18 – Andel hulrom på Fv. 229 i felt 1 fra 6360-9357 meter.....	34
Figur 19 – Andel hulrom på Fv. 229 i felt 1 fra 9358-12357 meter.....	35
Figur 20 – Andel hulrom på Fv. 229 i felt 1 fra 12358-13437 meter.....	36
Figur 21 – Eksempel på en kalibreringsprosedyre til GPR-måling av hulrom på asfaltdekke	41
Tabell 1 - Tolerans for hulromsprosent.....	5
Tabell 2 – Hulromsresultatet fra borkjerneprøvene langs Fv. 229.....	23
Tabell 3 – Viser hulromsresultatet fra borkjerneprøvene langs Ev. 6.....	25
Tabell 4 – Sammenligner hulrom på Ev. 6.....	36
Tabell 5 – Sammenligner hulrom i felt 2 på Fv. 229.	37
Tabell 6 – Sammenligner hulrom i felt 1 på fv. 229.	37

Forkortelser og begrepsavklaringer

GPR – Ground Penetrating Radar, GPR, er et måleinstrument som bruker elektromagnetiske teknologi til å undersøker undergrunnen.

ÅDT – Årsdøgntrafikk, er antall kjøretøy som passerer per døgn forbi et bestemt punkt langs en vei.

Ab – asfaltbetong, er en type asfalt som blir brukt på lavtrafikkerte veier.

Agb – asfaltgrusbetong, er en type asfalt som blir brukt på lavtrafikkerte veier.

Ska – skjelettasfalt, er en type asfalt som blir benyttet ved høytrafikkerte veier.

RD – Road Doctor, er et program som kan brukes til å tolke GPRmålinger. Dette programmet kan regne ut hulrom langs en strekning.

NVDB – Nasjonal vegdatabank, er data som gir informasjon om veien og objekter langs veien.

Fv – Fylkesvei.

Ev – Europavei.

EM – Elektromagnetisk.

1 Innledning

Hvert år blir det bevilget store ressurser til å reasfaltere dekker over hele landet. Det ble i 2018 bevilget 2,7 milliarder NOK, fordelt med om lag 0,9 milliarder NOK til riksveier og 1,8 milliarder NOK til fylkesveier. Det skal legges rundt 3100 kilometer med asfalt i år, som tilsvarer lengre enn Norge på langs. Dette er kun mengden av veier som blir reasfaltert på grunn av vedlikehold i år, så kommer asfaltering av nye veier i tillegg.

Jeg vil derfor i samarbeid med Statens vegvesen undersøke metoder for å kontrollere kvaliteten av dekkene som blir lagt. Ønsket er å finne en like pålitelig, men mer effektiv og ikke destruktiv metode til å kontrollere dette på, enn de tradisjonelle metodene. Da disse metodene tar lang tid å utføre og analysere, de er i tillegg ressurskrevende. Et annet viktig moment, er at resultatet av de tradisjonelle metodene gjelder kun på punktet hvor prøven er tatt ut og skal være representativ for en hel strekning. Dette vil forandres om det er mulig å innføre Ground Penetrating Radar, GPR, som et godkjent kontrollverktøy, da denne kan analysere hele strekninger på kort tid.

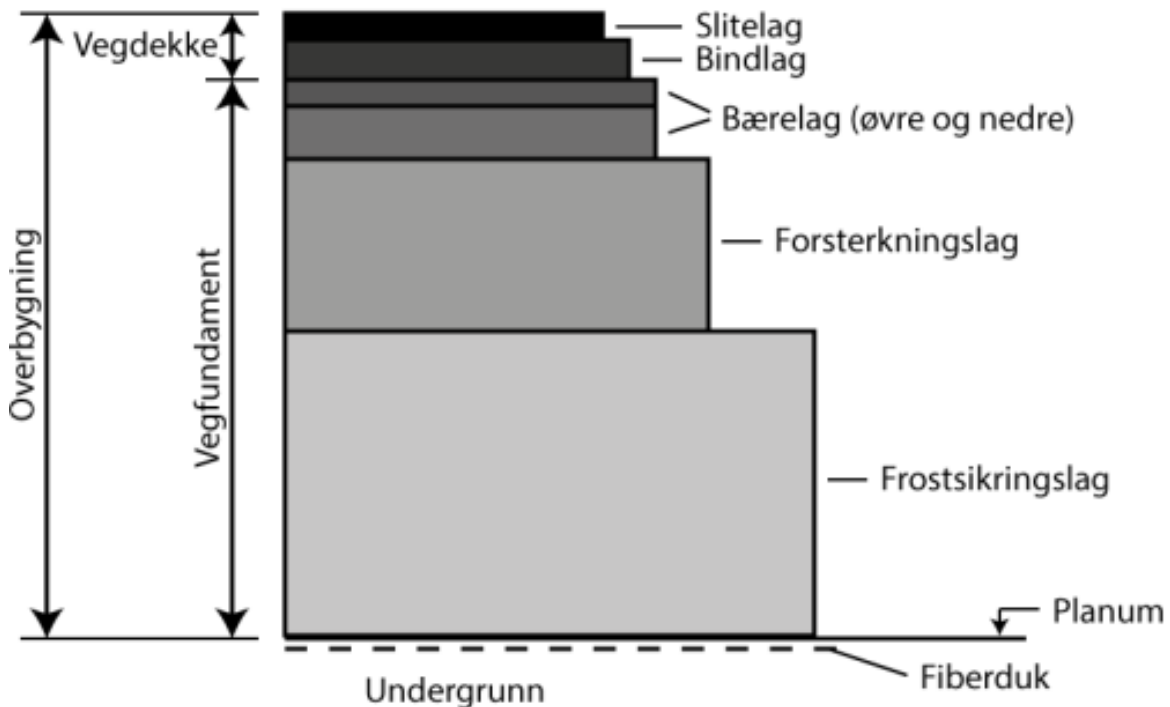
En faktor som utgjør en viktig betydning for kvaliteten på et asfaltdekke er hulromsandel. Hovedformålet med denne oppgaven er å analysere om GPR kan fungere som et bra redskap for å beregne hulromsprosent i et nyforlagt asfaltdekket.

Problemstillingen ble derfor å undersøke presisjonen og effektiviteten til GPR, til definere hulrom i asfaltdekket.

2 Litteratur for oppgaven

2.1 Overbygningens elementer (veikroppen)

Overbygningens (også kalt veikroppen i vegvesenets sammenheng) hovedoppgave er å fordele lastene fra kjøretøy ned i undergrunnen på en slik måte at det ikke oppstår uakseptable eller skadelige deformasjoner. En overbygning vil være oppbygd slik som figuren under beskriver, vegdekke, bærelag og forsterkningslag, eventuelt også isolasjonslag for frostsikring, samt filterlag eller fiberduk.



Figur 1 - De forskjellige lagene i en overbygning. (Statens vegvesen, 2016b)

2.1.1 Veidekke

I det øverste laget i en overbygning finner vi veidekke. Den består av to lag, slitelaget som ligger på toppen og bindelaget som ligger under. Veidekke består i de fleste tilfeller av asfalt og kan brukes på alle vegtyper og for alle trafikkbelastninger. Valget av asfalttype som egner seg best avgjøres av trafikkmengde, andel tunge kjøretøy, piggdekkslitasje, klimapåkjenninger, vegens omgivelser og hvilken type vegkonstruksjon som ligger fra før. Asfaltdekker består av

tilslag og et råoljebasert bindemiddel. Det finnes flere typer sammensetninger med andel tilslag og andel bitumen i asfaltblandingen. Det er i hovedsak tre asfalttyper vegvesenet benytter langs sine riks-, fylkes-, og gangveier. De tre typene er asfaltgrusbetong (Agb), asfaltbetong (Ab) og skjelettasfalt (Ska). Agb og Ab er en ensartet blanding av tørket, oppvarmet steinmateriale blandet med bitumen. Agb skiller seg fra Ab først og fremst ved at det brukes et mykere bindemiddel. Agb og Ab brukes begge som bindelag, og som slitelag av veier og gater med $\text{ÅDT} < 3000$ og på gang- og sykkelveier. Ska er en bindemiddelrik asfaltmasse med meget gode sliteegenskaper. Massetypen benyttes hovedsakelig på veier med $\text{ÅDT} > 5000$.

Funksjoner vegdekket skal ha:

- God friksjon. Det er viktig med høy friksjon, slik at kjøretøy kan ferdes trygt på veiene.
- God slitestand, da den skal tåle slitasje mot piggdekk. God slitestand vil minske spordannelse i veiene og svevestøv.
- God deformasjonsmotstand, slik at den tåler belastningen fra trafikken. Det vil si at materialet må ha lav etterkompaktering, og forskyvning skal være lik null.
- Høy utmattingsmotstand, slik at den tåler trafikkbelastning over tid. Dersom mikrosprekker dannes, skal ikke disse sprekkene utvikle seg over tid til å bli betydelige sprekker som kan skade dekket.
- God bestandighet mot aldring, slik at den tåler klimaets påkjenning over tid.

Andre funksjoner det bør vurderes om vegdekke skal ha:

- Støydempende egenskaper ved tett bebyggelse.
- Dreneringsevne i tunnel med mye drypp eller andre områder med mye vannpåkjenning.
- God motstand mot høy temperatur. Slik at deformasjon ved høy temperatur ikke skal skje.
- Lystekniske evner. Vegdekkets evne til å reflektere lys er viktig i tunnel og andre veier hvor det er behov for gode siktforhold.

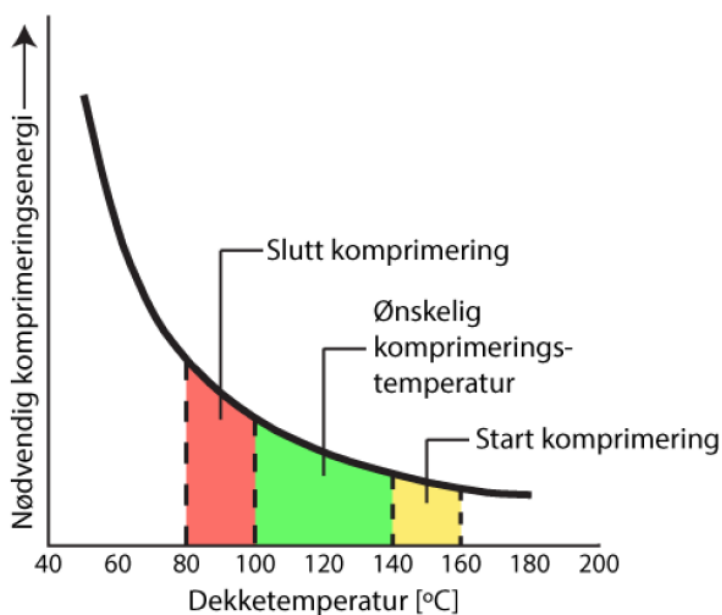
2.1.2 Utlegging og kvalitetskrav av asfaltdekke

Kapittelet tar for seg hvilke konsekvenser feil hulromsprosent kan gi på asfaltdekke.

Produksjonen skal foregå med egnet blandeutstyr og på en slik måte at blandingen gir en homogen masse. Innmating av bindemiddel og andre råvarer skal være kalibrert slik at blandeverket produserer masse med mest mulig jevn kvalitet.

Ved transport av massene skal separasjon unngås og ved varme masser skal det etterstrebtes minst mulig varmetap og minst mulig temperaturvariasjoner i massen. Veibanen skal klargjøres ved at overflaten skal være fast og jevn, og uten løse materialer eller vann på underlaget. For å oppnå tilstrekkelig klebing til underlaget skal det benyttes klebemiddel, med mindre det kan dokumenteres god heft til underlaget.

Selve utleggingen av asfalt skal gjøres i en jevn hastighet, slik at dekketykkelsen blir jevn. Komprimering er en viktig del av dekkeleggingen. Det er viktig at det vales umiddelbart etter utleggingen, da «lukkes» overflaten og varmetapet reduseres. Figuren under viser at man må valse dekket før temperaturen blir for lav, normalt mens temperaturen er over 80°C. For å vite hvor mange overfarer/passinger som gir tilstrekkelig komprimering av asfaltdekke, kan det være nødvendig med prøvekomprimering og måling med densitetsmåler ved eller før oppstart. Da vil man sikre at hulromsprosenten målt i ferdig dekke tilfredsstillende kravene til den enkelte dekketype.



Figur 2 - Nødvendig dekketemperatur for komprimering. (Statens vegvesen, 2015a)

Hulrom i asfaltdekke er det mellomrommet mellom steinmaterialene som ikke er fylt med bindemiddel. Størrelsen på dette hulrommet har stor betydning for asfaltdekkets levetid. Krav til hulromsprosent er beskrevet etter dekketykkelse mellom 60-80 kg/m² og tykkelse > 80 kg/m²,

i tabell 1. Hvis en skal regne ut nøyaktig dekketykkelse fra kg/m^2 til centimeter, avhenger dette av densiteten til bindemiddelet og tilslagsmaterialene som er benyttet, og dekkets komprimeringsgrad. Men en tommelfingerregel er at 25 kg/m^2 tilsvarer cirka 1 cm tykt.

Tabell 1 - Tolerans for hulromsprosent. (Statens Vegvesen, 2014a).

	Hulromsprosent	
	Enkeltprøver	Middel av 5 prøver
Ab		
Tykkelse $60-80 \text{ kg/m}^2$		
Slitelag	2-7	2-6
Bindlag	2-8	2-7
Tykkelse $> 80 \text{ kg/m}^2$		
Slitelag	2-5	2-5
Bindlag	2-7	2-6
Ska		
Tykkelse $60-80 \text{ kg/m}^2$		
Slitelag	2-7	2-6
Bindlag	2-8	2-7
Tykkelse $> 80 \text{ kg/m}^2$		
Slitelag	2-5	2-4,5
Bindlag	2-7	2-6
Top		
Slitelag	0,5-4,0	0,7-3,5
Agb		
Tykkelse $60-80 \text{ kg/m}^2$		
Slitelag	2-7	2-6
Bindlag	2-8	2-7
Tykkelse $> 80 \text{ kg/m}^2$		
Slitelag	2-5	2-5
Bindlag	2-7	2-7

2.1.3 Konsekvenser ved feil hulromsandel

For høyt hulrom gir tilgang på vann i asfaltdekke. Trykket fra hjul på kjøretøy vil kunne presse vann inn mellom bindemiddel og stein og forårsake dårlig vedheft og steinslipp. Med mye vann i dekket kan frostsprengning gi steinslipp. Et asfaltdekke med høyt hulrom slites raskere og er mer utsatt for stein og mørtelslipp enn et dekke med riktig hulrom. Mange

undersøkelser viser at for høyt hulrom gir vesentlig redusert levetid for asfaltdekke. Derfor er det viktig å tilstrebe korrekt hulrom i dekke.



Figur 3 – Dekkeskader som skyldes høyt hulrom i skjøt. (Statens vegvesen, 2015a)



Figur 4 – Høyt hulrom gir steinslipp i hjulsporene. (Statens vegvesen, 2015a)

For lavt hulromsandel kan gi ustabilitet og blødninger i varme sommerperioder. Det skyldes at bindemiddelet utvider seg litt mer ved oppvarming enn steinmaterialet. Hvis det ikke er nok hulrom vil asfalten bli overfylt med bitumen og vil begynne «å flyte». Kravet til bitumenfylt hulrom ved proporsjonering av resepten er satt for å sikre at denne tilstanden ikke inntreffer.

Konsekvenser for blødning i asfaltdekke er blankpolerte områder som kan være veldig glatte ved regnvær. Friksjonen på dekket kan da være like glatt som isbelagt dekke. Det at det er like aktuelt midt på sommeren som andre årstider, kan skape trafikkfarlige situasjoner, ettersom en ikke forventer glatte dekker på en sommerdag. Strakstiltak som gjøres når en oppdager blødning er å frese lett i hjulsporene, slik at det oppstår tilfredsstillende friksjon og trafikken kan gå som normalt. Det kan også være aktuelt å frese bort området med blødning og reasfaltere etterpå.



Figur 5 - «Blødning» i asfaltdekke. (Statens vegvesen, 2014c)

Veidekke uten trafikk blir gradvis utsatt for nedbryting på grunn av klimapåkjenninger. Sollys vil føre til en langsom herdning av et bituminøse bindemiddelet i veidekket. Magre dekker med en meget tynn film av bindemiddel over steinmaterialet vil være mer utsatt for herdning enn et bindemiddelrikt og tett dekke. Herdningen vil føre til at bindemiddelets evne til å holde på steinmaterialene blir dårligere, og man vil, over tid, få en forvitring av dekkeoverflaten.

2.2 Metode for kontroll av asfaltdekke

Kapittelet tar for seg tradisjonelle kontroller som utføres av nylagte asfaltdekker for å finne hulromsprosent og lagtykkelse.

2.2.1 Prøvetaking av dekker – borkjerneprøve

Metoden ved borkjerneprøve kan benyttes for alle vegdekke kvaliteter og prøven uttas i veibanen med borkjernemaskin. Prøve som skal benyttes til hulromsmåling skal tas etter at dekket er ferdig komprimert. Det skal hentes ut en representativ prøve som består av minimum to kjerner fra asfaltdekket som skal analyseres. Kjerneprøven skal være uten sprekker eller andre skader, dersom dette oppstår skal ikke prøven benyttes. Prosessen er beskrevet i håndbok R211 – Feltundersøkelser pkt. 15.441.



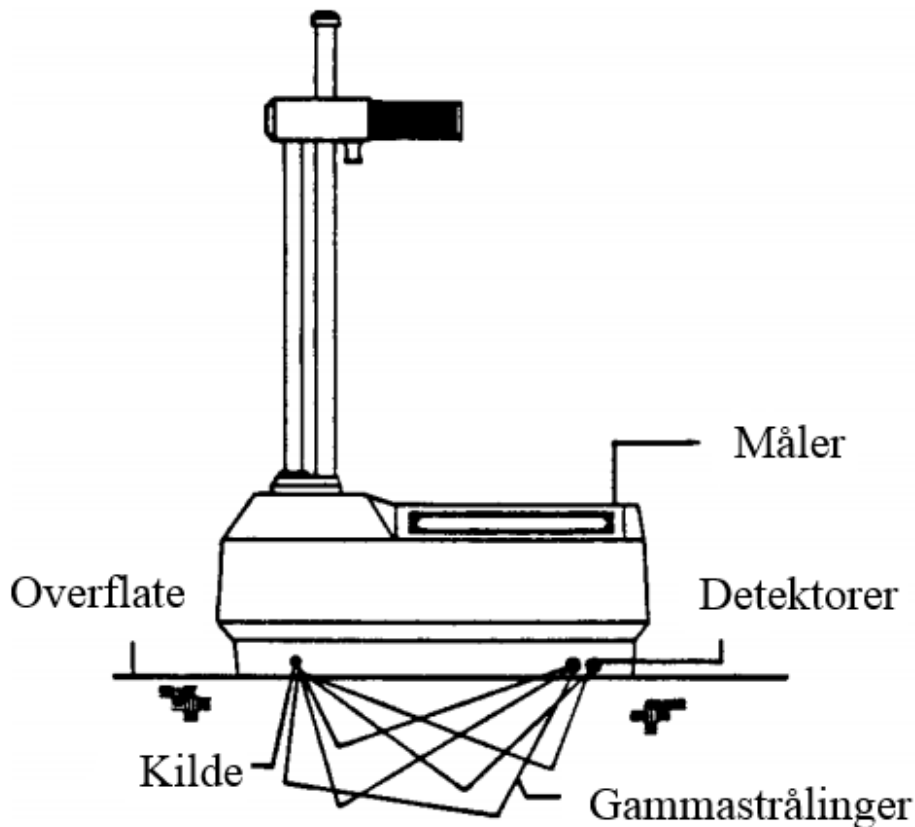
Figur 6 – Bilde av uttaking av borkjerneprøve (Foto: Trond Østen Okt. 2017)

2.2.2 Måle hulromsprosenten

Det er flere forskjellige måter å finne hulrommet i et asfaltdekke. Metodene isotop densitetsmåler og undersøke borkjerne i laboratoriet blir gjennomgått i dette kapittelet.

2.2.2.1 Isotop densitetsmåler

Troxler og Seaman er to vanlig isotop densitetsmålere som benyttes i Statens vegvesen. Isotop densitetsmåler beregner densitet til et materiale ved hjelp av radioaktiv gammastrålekilde. Målinger som er gjort med isotop densitetsmåler i denne oppgaven er av typen Seaman 300, derfor blir fremgangsmåten for denne beskrevet. Maskinen brukes til å måle en punktmåling. Målingen utføres ved å strø kalkmel i et jevnt lag på et tørt dekke for å utfylle porer i overflaten. For hver punktmåling gjøres fire målinger. En måler to ganger deretter roterer måler 180 grader og utfører to målinger til. For å sammenligne isotop målinger med GPR-målinger, er begge deler utført på samme sted, mellom hjulsporene. Gjennomsnittet av dette blir densitet i punktet. For mer beskrivelse av hvordan en isotop densitetsmåler brukes, se standarden NS-EN 12697-7 eller (Statens vegvesen, 2014b).



Figur 7 – Isotop densitetsmåler. (Roadscanners Oy, 2016)

Radioaktive metoder for tetthetsmåling har oppnådd et rykte om høyere grad av nøyaktighet. Nøyaktig beregning av hulrom avhenger av hvilken metode man sammenligner med. Når radioaktive metoder sammenlignes med konvensjonelle kjerneprøver i asfaltdekker, har

kjerneprøver som analyseres i laboratoriet, en høyere nøyaktighet og regnes som fasiten av metoder som benyttes.

2.2.2.2 Undersøke i laboratoriet

For å finne prosenten av hulrom i dekket er det først og fremst nødvendig å regne ut tettheten (densitet) til dekket. Med en utboret borkjerne fra vei eller laget i laboratoriet, kan en måle tettheten. Det er 4 ulike metoder å gjøre dette på.

Metode A kalles forsegling og benyttes på prøver med noenlunde tett overflate, ved store åpne hulrom vil denne metoden være unøyaktig. Metode A beregnes på grunnlag av dens oppdrift i vann. Det kompenseres for hulrom som er skåret over ved utboring ved å vokse prøven før nedsenkning i vann.

Metode B kalles for måling og benyttes til å beregne prøver som har så stort hulrom (over 10%) at andre metoder ikke er egnet. I denne metoden veies prøven og volumet bestemmes ved å måle dimensjonene med skyvelære.

Metode C - hydrostatisk overflatetørr og er egnet til dekker med litt åpen overflate hvor det kan være vanskelig å fjerne voks. Bør ikke benyttes på dekker med forventet hulrom over 7%, da den ville gi inntil 1% høyere hulrom enn det egentlige hulrommet. Metoden beregnes på grunnlag av oppdrift i vann, slik som metode A, men i tillegg skal enn veie avtørket, fuktig prøve i luft.

Metode D – veiing vått og tørt, er egnet forutsatt at det ikke er åpne hulrom på snittflaten eller dype groper i endeflatene. Prøvens volum beregnes på grunnlag av dens oppdrift i vann. Det kompenseres ikke for hulrom som er skåret over ved utboring.

Metode A, B, C og D er mer detaljert beskrevet i (Statens vegvesen, 2016a). Siden det erfaringsmessig er metode C som har høyest presisjon når det kommer til resultat av densitet, er denne metoden benyttet i oppgaven og resultatene ligger som vedlegg 2.

Når en da har funnet prøvens densitet, masse per volumenhet inkludert hulrom, sammenligner en dette resultatet mot maksimumsdensitet (uten hulrom), for den aktuelle bituminøse blandingen. Maksimumsdensiteten kan en regne ut ved teoretisk beregning eller ved hjelp av stålpyknometer og vann (Statens vegvesen, 2016a). Siden det erfaringsmessig er

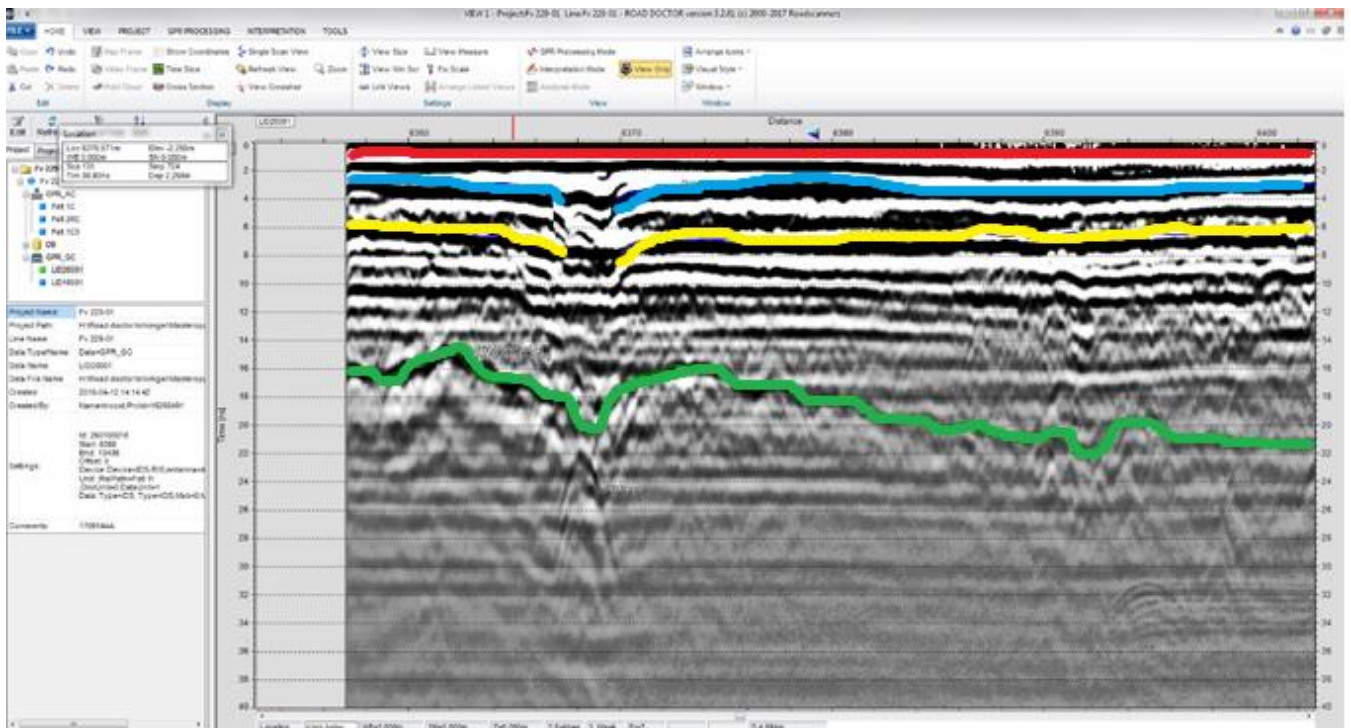
stålpyknometer og vann som gir mest presist og nøyaktig resultat av maksimumsdensitet, er denne metoden benyttet i oppgaven og resultatene ligger som vedlegg 1. Dersom en har fått asfaltresepten, er maksimumsdensiteten oppgitt i dette dokumentet, som finnes i vedlegg 3.

Formel 1 – Beregning av hulromsprosent V:

$$V = \left(1 - \frac{\text{prøvens densitet}}{\text{maksimumsdensitet}}\right) * 100$$

2.3 Posisjonering

Under GPR målingene fungerte ikke selve GPS-signalene. Derfor ble det målt inn start og stopp punkt under tilhengerfestet med en GPS. Punktet ble målt inn med Trimble Geoexplorer 6000 serie. Det ble kjørt med jevn hastighet under hele målingen, hastigheten var 40 km/t og kjøretøyet var satt i Cruise Control. Veistrekningen ble målt med trippsteller som er montert på framhjulet av kjøretøyet. Trippsteller ble kalibrert rett før målingene ble gjort. På denne måten er unøyaktigheten minimert så godt som mulig. Under tolkning av data, vil det bli sammenlignet plassering av stikkrenner, for å forsikre rett plassering. Figur 8 illustrerer et eksempel på hvordan en stikkrenne synliggjøres.



Figur 8 - Skjermdump av prosessert data fra RD. I åpningen av den blå og gule linjen ligger en stikkrenne.

2.4 Ground Penetrating Radar (GPR)

2.4.1 Introduksjon av GPR

Denne oppgaven tar for seg, om det er mulig, å bruke rådata fra GPR-teknologi for å kvalitetskontrollere hulrom av et asfaltdekke. Det er gjort lignende studier rundt hulrom i asfalt tidligere (Imad L. Al-Qadi, 2011) (Saarenketo T. , 2008) (Wivelstad, 2015).

GPR er en ikke-destruktiv grunnundersøkelses metode som blir brukt til undersøkelse av veier, jernbaner, bruer, flyplasser, tunneler og eventuelt gjenstander i omgivelsene (Lalagüe, 2015) (Ibrekk, 2015). Den store fordelen er den kontinuerlige profilen radaren gir ved skanning av en lengre strekning, (Plati, 2010), i forhold til den tradisjonelle prøvemethoden som er å utbore en prøve. GPR-teknologi har blitt et nyttig redskap spesielt for strukturelle evalueringer av veier i prosjekteringsfasen, men blir også mer og mer brukt til kvalitetskontroll og kvalitetssikring av anleggsprosjekter (Saarenketo T. , 2006) (Wivelstad, 2015).

Konseptet startet av El Said (El Said, 1956) hvor han brukte elektromagnetisme til å måle vann i den egyptiske ørkenen. De neste tiårene ble teknologien brukt til måling av istykkelse og undersøke arkeologiske områder. Etter datateknologien startet for fullt i 1980-tallet, ble GPR sett på som mer levedyktig teknologi for et økende antall formål, som vi ser av det brede utvalget av programmer og studier vi ser i dag (Annan, 2003).

Over de siste 20-30 årene har de nordiske landene opparbeidet seg en god del kunnskaper når det kommer til hvordan benytte seg av GPR-teknologi. De nordiske landene har vært pionerer når det kommer til utvikling av program for tolkning av rådata. Det jobbes med en felles forståelse av hvordan rådata til hulrom i asfalt skal behandles og tolkes, slik resultatene av en kvalitetskontroll er pålitelige (Saarenketo T. , 2011a) (Lalagüe, 2015) (Lahouar, 2003). Partene må ha tilstrekkelig kunnskap og tillit til målingene og resultatet, slik at det blir oppfattet som rettferdig.

2.4.2 Grunnleggende GPR-teknologi

Dette kapitlet tar i korte trekk for seg grunnleggende teknologi innen GPR, en grundigere gjennomgang er beskrevet i (Imad L. Al-Qadi, 2011) (Wivelstad, 2015).

GPR-antenne består vanligvis av en sender og en mottaker. Senderen har som oppgave å sende elektromagnetisk (EM) energi inn i et medium for så å bli sendt videre, mens noe av energien blir sendt tilbake. EM-bølger som spres i bakken har en hastighet som bestemmes hovedsakelig av de elektriske egenskapene et medium har. Når en endring skjer (for eksempel i et grensesnitt mellom to tilstøtende materialer), vil en del av energien reflekteres tilbake og fanges opp av mottakerantennen.

For hver utgående bølge, vil GPR systemet registrere amplituden og tiden bølgen bruker på å reise fra senderantennen til reflektoren og tilbake til mottakerantennen ("to-veis reise tid"). Pulsene som sendes ut er regulerbare sendes ut med definert tidsintervaller. For å konstruere en GPR profil, vil antennen bevege seg i linjen som undersøkes. Fysiske parametere som påvirker bølgene er et mediums elektriske konduktivitet, dielektrisitet og magnetisk ømfintlighet.

2.4.3 GPR-system

Det finnes to typer GPR'er, en impuls og en step frequency. Kort forklart så sender impuls GPR på en frekvens, mens step frequency bruker mange frekvenser på en gang. Det er impuls GPR som er benyttet i denne oppgaven og denne typen undersøkelser er det enten luftkoblet eller bakkekoblet antenne som benyttes. Luftkoblet antenne har en høyde på rundt 30-50 cm over overflaten til materialet man skal undersøke, mens bakkekoblet ligger på overflaten eller henger så vidt over overflaten (Saarenketo T. &., 2000) (Wivelstad, 2015) (Lahouar, 2003).

Det er luftkoblet antenne som er benyttet i denne oppgaven og blir kort presentert her. Luftkoblede antenne bruker en frekvens på mellom 0,5 GHz til 2,5 GHz. Det er frekvensen 1,0 GHz som blir benyttet i de fleste undersøkelser av asfaltdekke og er også benyttet i resultatene i denne oppgaven. Da det luftkoblede antennesystemet har en avstand til overflaten, er det mulig å utføre GPRundersøkelsen i en ganske høy hastighet, uten at kvaliteten blir påvirket. Kjøretøyets hastighet avhenger av antall skanninger en ønsker å utføre per sekund. Luftkoblet antenne kan utføre 100 skanninger i sekundet dermed blir også kjøretøyets maksimale hastighet 100 km/t (Saarenketo T. &., 2000). Men den anbefalte hastigheten er rundt 60 km/t, eller lavere.

2.4.4 Parameter som påvirker spredningen til EM-bølger

Elektromagnetiske bølger er beskrevet i stor grad i litteraturen (Daniels, 2004) (Jol, 2008) (Annan, 2009) og blir ikke beskrevet i detalj i denne oppgaven. Det vil bli en kort introduksjon av betydelige parameter for EM-teknologi i dette delkapittelet (Saarenketo T. , 2006).

Elektriske egenskaper

Den elektrisk konduktivitet (σ), dielektriske permittiviteten (ϵ) og den magnetiske permeabilitet (μ) er egenskaper som er viktig for et medium, og styrer utbredelsen og demping av elektromagnetiske bølger. De har også sammenknytning til hverandre.

Ofte er geologiske materiale beskrevet som dielektriske. Teoretisk er dielektrisitet perfekt isolatorer og er ikke spenningsførende. I virkeligheten vil alle geologiske materialer til en viss grad redusere elektromagnetisk energi ved å om forvandle den til varme. Disse materialene er bedre referert til som "lav-tap dielektrisk" i stedet for "dielektrisk".

2.4.4.1 Konduktivitet (σ)

Konduktiviteten til et materiale beskriver evnen det har til å lede elektrisk strøm. Når elektrisk strøm blir anvendt, vil ladningen flytte fra et sted til et annet, og dette demper den elektromagnetisk energien.

Lav-tap betingelser, dempingen tilnærmes til:

Formel 2:

$$\alpha \approx \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon_r}}$$

Hvor α er det demping (Np/m), σ er konduktivitet (S/m), ϵ_r er relativ dielektriske permittivitet og μ er den magnetiske permeabilitet ($\mu = 1$ for de fleste geologiske materialer). Formelens viser at jo høyere ledningsevnen er, jo større er dempingen av EM-bølger. Kartlegging i miljøer hvor det er høy elektrisk konduktivitet, slik som i metall, saltvann eller leire, vil føre til høy signaldemping og begrenser signalets penetrasjonsdybde (Jack, 1999). Dette svekker styrken

på reflekterte signaler, og GPR er stort sett ineffektiv i disse miljøene. Signaldempingen øker ved både materialets konduktivitet og antenne frekvens som benyttes (Cassidy, 2009).

2.4.4.2 Dielektriske permittivitet

Dielektriske permittiviteten (ϵ) karakteriserer materialets muligheten til å lagre og utgi elektromagnetisk energi, og den er direkte knyttet til hastigheten som EM-kurven sprer gjennom mediumet. En økt permittivitet vil redusere signalets utbredeshastighet (Cassidy, 2009).

Begrepet "dielektriske konstant", eller relativ permittivitet (ϵ_r) brukes ofte når en beskriver materialets permittivitet. Den er definert som:

Formel 3:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

Hvor ϵ er den dielektriske permittiviteten av det aktuelle materialet og ϵ_0 er den dielektriske permittiviteten av vakuum (8.8542×10^{-12} F/m) (Cassidy, 2009).

Permittiviteten av et medium vil variere betydelig med tilstedeværelse av vann, da fritt vann vil polarisere ved påvirkning av et elektrisk felt og den vil øke permittiviteten ved en økning av vanninnhold. De fleste materialer som brukes til oppbygging av vei har en tørr permittivitet på rundt 4-14 og bituminøse masser er 4-8, til sammenligning har vann en permittivitet på rundt 81 (Annan, 2009). Den dielektriske konstanten av et materiale er lineært proporsjonal til sin prosentandel av vanninnhold (Fontul, 2014).

Effekten er ikke så fremtredende for vann som er bundet, enten vannet har frosset til is eller vannet har bundet seg til andre mineraler. Da de molekylære rotasjonene til vann er mer begrenset (Grote, 2005). For praktiske formål, kan frosset vann regnes som en frekvens som er uavhengige lav-tap medium. Dette fører til at fuktigheten trenger å overskride en viss oksygenmetning i materialet (over 1 % avhengig av kornstørrelse) for å påvirke den generelle permittiviteten (Cassidy, 2009).

2.4.4.3 Magnetiske permeabilitet (μ)

Magnetiske permeabilitet (μ) er evnen et materiale har til å bli magnetisert når det blir utsatt for et elektromagnetisk felt. For eksempel elektrisk konduktivitet, en økt magnetiske permeabilitet demper EM-bølger, og gjør at GPR er ineffektiv. Men hverken bitumen eller steinmaterialer inneholder en signifikant mengde magnetiske egenskaper, slik som for eksempel jernoksid. Effekten av den magnetiske permeabilitet på EM-energi er derfor antatt å være ubetydelig ($\mu = 1$) (Daniels, 2004) (Lahouar, 2003).

2.4.5 Hvordan analysere rådata fra en undersøkelse

"Nøkkelen til vår forståelse av GPR er det faktum at bildet vi ser på skjermen ikke er et tverrsnitt av undergrunnen, men er i stedet en tidsavhengig respons av undergrunnens spredning av EM-energi, som er registrert i mottakerantennen" (Cassidy, 2009).

Å relatere y-aksen (tid) til den faktiske dybden av grensesnittet som er oppdaget, må vi vite signalets utbredeshastighet gjennom undergrunns medium. Verdien vil avhenge av materialets EM-egenskaper, tomrommene og fuktighetsinnhold (Cassidy, 2009).

Selv når sammensetning til et materiale i et lag er kjent, trenger ikke de dielektriske egenskapene være proporsjonale med volumets fraksjoner for hvert materials komponent (Annan, 2009). Dette betyr at det vil være usikkerhet i GPR målinger relatert til signalets hastighet, og verdiene bør være basert på in-situ-testing eller omfattende kvantitative data for lignende material komposisjoner (f.eks. type asfalt, Ska, Ab, Agb).

Den relative permittiviteten kan brukes til å beregne relativ spredningshastighet for homogene isotopiske materialer ved hjelp av:

Formel 4:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

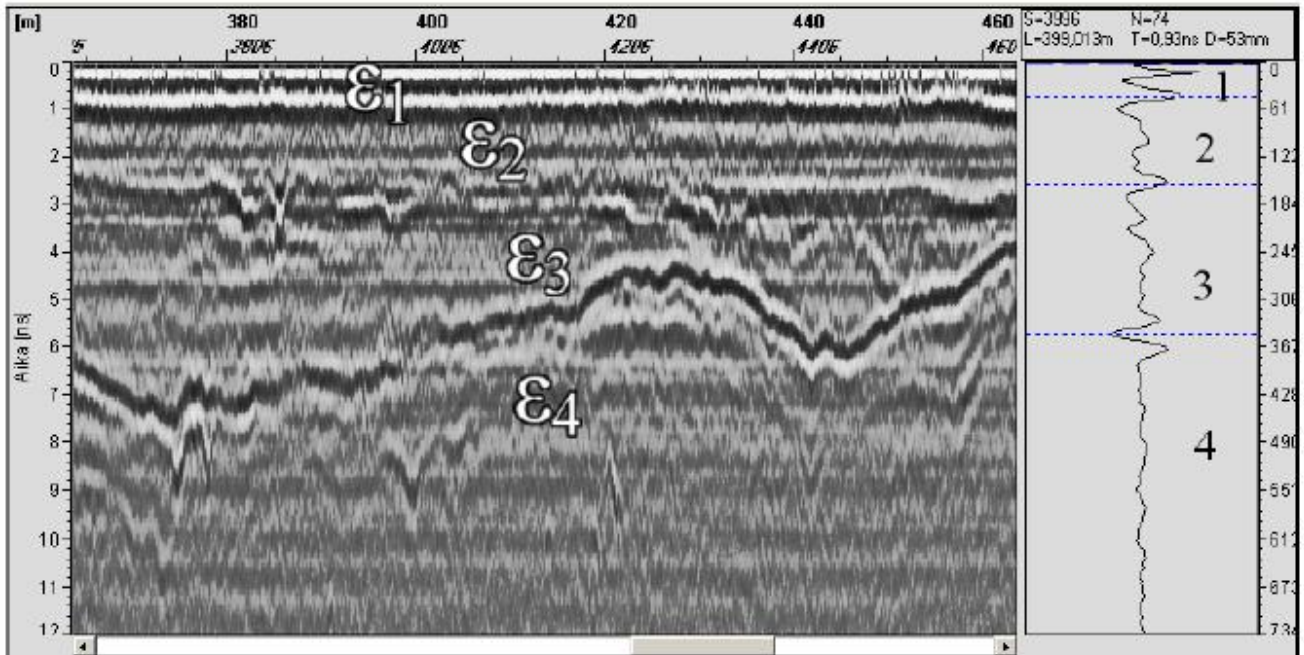
Hvor c er utbredelsen hastigheten til lys i vakuum (3×10^8 m/s) og ϵ_r er den relative permittiviteten av medium (Gallagher, 1999) (Daniels, 2004).

Når hastigheten (v) er kjent, kan dybden av signalets refleksjon beregnes ved hjelp av:

Formel 5:

$$d = v\left(\frac{t}{2}\right)$$

Hvor d er dybden til oppdaget grensesnitt, v er signalets spredningshastighet gjennom et medium og t er to-veis reisetid av signalet (Sender \rightarrow grensesnittets refleksjon \rightarrow mottaker).



Figur 9 – GPR-profil, målt med en luftkoplede antenne med impuls radar. Kopi av (Saarenketo T. , 2011a). Profilen har refleksjoner fra grensesnitt med to medium med ulike dielektriske egenskaper (ϵ). Figurens strukturlag 1 beskriver asfalten, lag 2 beskriver bærelaget, lag 3 forsterkningslaget og lag 4 videre i grunnen. Figuren viser at den dielektrisk verdien til materialet (fuktighet) øker nedover fra veibanen med unntak av dielektrisk verdi for grunnen (ϵ_4), den er mindre enn forsterkningslaget og derfor blir refleksjonen invertert (en svart linje i midten av to hvite linjer).

2.4.6 GPR-teknologi og hulrom i asfaltdekke

Siden slutten av 1990-tallet har GPR-teknologi økt populariteten rundt kvalitetskontroll av nybygget veier. De første årene ble GPR brukt til kvalitetskontroll for å måle tykkelse i de forskjellige lagene i veistrukturen (Saarenketo T. , 2008) (Lalagüe, 2015). I de senere årene har det blitt utviklet GPR kvalitetskontroll programmer som inkluderer måling av hulromsinnhold i asfaltdekker (Saarenketo T. &. , 1998) (Saarenketo T. , 2008) (Lalagüe, 2015) (Wivelstad, 2015).

GPR-teknologi brukes til å måle den dielektriske verdien av asfaltdekke, som deretter brukes til å beregne hulromsinnhold av dekket.

Begrepet "hulromsinnhold" brukes til å representere forholdet mellom volumet av porer og det totale volumet av asfaltdekke og er presentert som prosent.

2.4.6.1 Metallplate refleksjonsmetoden

Når en GPR undersøkelse gjøres med en luftkoblede hornantenne, er en av de mest nøyaktige metodene å benytte metallplate refleksjonsmetoden til å måle den dielektriske verdien ϵ . Den dielektriske permittiviteten ϵ_1 av første laget blir kalkulert som:

Formel 6:

$$\sqrt{\epsilon_1} = \frac{1 + \frac{A_0}{A_m}}{1 - \frac{A_0}{A_m}}$$

Mens den dielektriske permittiviteten ϵ_2 blir regnet ut som følgende:

Formel 7:

$$\sqrt{\epsilon_2} = \sqrt{\epsilon_1} * \frac{1 + \left(\frac{A_0}{A_m}\right)^2 + \frac{A_1}{A_m}}{1 - \left(\frac{A_0}{A_m}\right)^2 - \frac{A_1}{A_m}}$$

Hvor A_0 er amplituden for GPR bølgeformen fra asfaltoverflaten, mens A_1 er amplituden for GPR bølgeformen fra laget under asfalt og A_m er amplituden for GPR bølgeformen fra metallplaten.

Før hver måling med GPR, skal en måle amplituden på en metallplate, hvor nesten alt signal vil bli reflektert. På den måten vil GPR bli kalibrert og klar for å beregne den dielektriske verdien av objekt som ønskes.

Metallplate refleksjonsmetoden gjør det mulig å ha kontinuerlig beregning av ϵ , noe som er gjør den hendig til bruk av beregning av hulrom i asfaltdekket (Lalagüe, 2015) (Wivelstad, 2015).

2.4.6.2 Behandling og beregning av rådata fra GPR undersøkelse

Hovedmålet for å utføre en undersøkelse med GPR i asfaltdekke, er å beregne hulromsandel, og deretter gi informasjon om kvaliteten til veieier og/eller til entreprenør som har utført legging av dekket. Hvis datainnsamling er riktig utført med riktig utstyr, kan det med profesjonell behandling og tolkning potensielt gi en kvalitetskontroll av resultatet. Følgende delkapittel beskriver en generell retningslinje for behandling og tolkning.

2.4.6.3 Behandling av rådata og beregning av hulromsinnhold

Hvordan behandling av rådata fra luftkoblet antenne er beskrevet i (Saarenketo T. , 2011b) (Cassidy, 2009) og kun en kort versjon blir presentert her.

Beregningen av hulromsverdier er basert på bruk av gjennomsnittlig dielektriske verdier. For å bruke denne metoden må en utbore 2 eller flere borkjerner og undersøke disse i laboratoriet, for å definere funksjonen mellom dielektrisitetsverdien og hulromsinnholdet (Lalagüe, 2015) (Saarenketo T. &, 1998) (Wivelstad, 2015). Resultatet fra kjerneprøvene vil gi hulromsverdien, mens GPR-målingene gir en gjennomsnittlig dielektrisk verdi på punktet vi har i kjernen. På denne måten vil hulrommet bli kalibrert opp mot metoder i laboratoriet som er godkjent av nasjonale asfaltstandarder og retningslinjer. På bakgrunn av hulromsverdien og den respektive dielektriske verdien funnet i laboratoriet, blir koeffisienten bestemt og beregning av hulromsinnholdet blir gjort med:

Formel 8:

$$y = 272,93e^{-1,3012k\epsilon_x}$$

Hvor y er hulromsandelen, k er en kalibrert faktor og ϵ_x er den målte dielektriske verdien fra det reasfalterte laget. Formelen er beskrevet i (Roimela, 1998). Når den dielektriske verdien av asfalt blir målt, skal en korrigere resultatet når en benytter luftkoblet antenne. Ved å benytte denne metoden, GPR overflaterefleksjon, er målenøyaktigheten av hulromsinnholdet +/- 0,9 % (Sebesta S. S., 2012). Detaljene for dette eksperimentet er ikke kjent, og det forutsettes at testingen ble gjort i et kontrollert omgivelser for å oppnå en så høy nøyaktighet.

Det ble i 2003 benyttet den eksponentielle metoden for å oppdage segregering i tre asfaltdekker (Sebesta S. &, 2003). Den variable og den miksetavhengige parameterne i formel 8 ble fastsatt

for hvert avsnitt ved kalibrering av borkjerner, og graden av korrelasjon mellom overflatens dielektriske permittivitet og laboratoriemålte målinger av hulrom ble hentet ut. For alle seksjoner, er korrelasjonen veldig høy, fra 0,80 til 0,99. Dermed kan asfaltdekkets densitet potensielt bli avdekket.

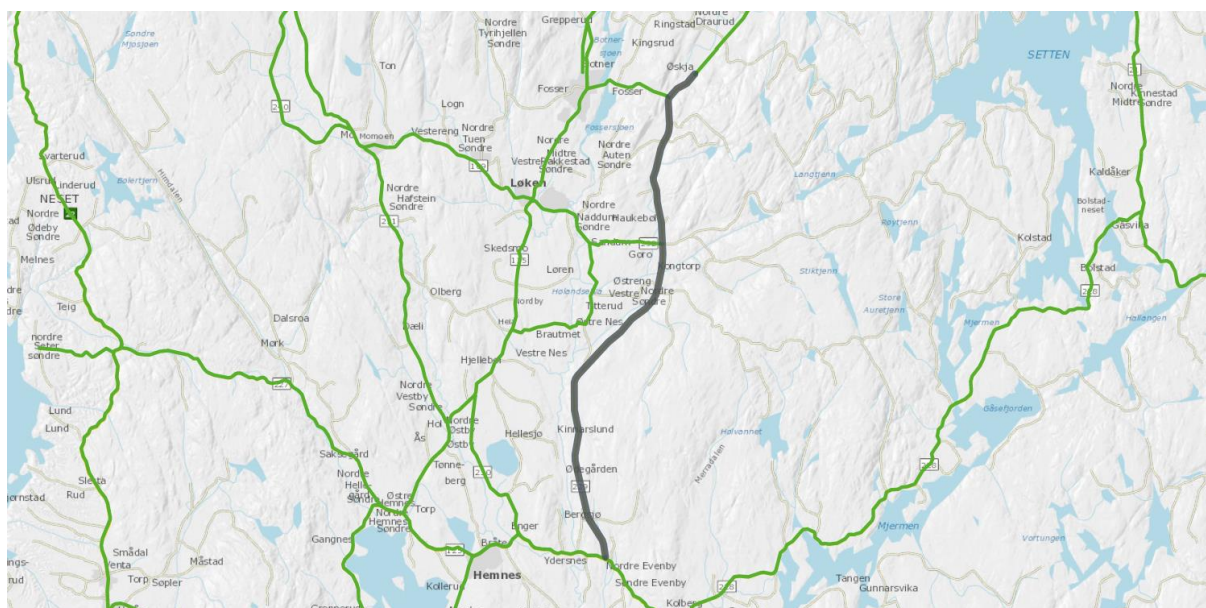
Det er to studier fra (Popik, 2009) hvor det ble utført lignende studier på 26 og 18 asfaltdekker. Også her var det god korrelasjon mellom GPR-målt dielektriske verdier og laboratoriemålte hulrom, med en korrelasjon på 0,73 og 0,80. Mens korrelasjonen fra studie (Sebesta S. S., 2012) varierte fra 0,76 til 0,81.

3 Kort om veistrekningene

Det er to reasfalterte veistrekninger som er blitt undersøkt i denne oppgaven. Hver retning av veistrekningen på Fv. 229 er undersøkt, mens en retning på Ev. 6 er undersøkt med GPR. Nedenfor følger en kort beskrivelse av veistrekningene samt resultat av hulrom hvor GPR-målingene er foretatt. Det er boret ut borkjerner fra mellom hjulspor i kjørefeltene. Dette er gjort i hvert kjørefelt som er blitt målt med GPR. Derfor har hver strekningsmåling sin egen resultatdata for hulromsandel fra borkjerner, og som videre har blitt analysert i Road Doctor, RD.

3.1 Fv. 229 i Akershus

Den ene veistrekningen som ble undersøkt i oppgaven er Fylkesvei 229 i Akershus fylke. Veistrekningen er Hp 01, fra 5358-13435 meter, fra Holen til Ydersbotnen. Veien har gul midtstripe, som betyr den består av to felt, felt 1 og felt 2. Dekkebredden pr felt er gjennomsnittlig 3,2 meter og dekketykkelsen er omtrent 45 millimeter. Masseforbruket er 113 kg/m² på strekket, og ble lagt den 31.07.2017. ÅDT for aktuell strekning er rundt 1000 i 2017, mens andel tunge kjøretøy er 10 %. Dette er data som er innhentet fra Nasjonal vegdatabank (NVDB). Kart over aktuell strekning er vist i figur 10.



Figur 10 – Fv. 229 hp 01 5358-13435m fra Holen til Ydersbotn (uthevet grå strek).

Slitelaget som er benyttet på strekningen er Ab 16 (70/100). Dette er en type asfalt som i hovedsak brukes til slitelag på dekker som har en ÅDT < 3000.

Det er tatt ut åtte borkjerner fra veistrekningen, fire fra hvert felt. Prøvene er til å kalibrere GPR-data, det er ikke boret ut prøver til sammenligne resultatet opp mot GPR-målingene. Dette på grunn av økonomi, ressurser og tidsbruk ble det ikke tatt ut flere borprøver. Det er Statens vegvesen Region øst som har boret ut borkjernene, og jeg har analysert prøver i laboratoriet. Diameter på hver prøve er 100 millimeter og i tabellen nedenfor følger data fra borkjernene. Siden alle fire prøvene i hvert felt er tatt samme sted har jeg brukt gjennomsnittet av hulrommet på de fire forskjellige prøvene.

Prøve ID	Massetype	Felt	Lokasjon [m]	Densitet ρ _d [g/cm ³]	Maksimums densitet [g/cm ³]	Hulrom [%]
Fv229 A1	Ab 16	1	7679	2,393	2,457	2,60 %
Fv229 B1	Ab 16	1	7679	2,388	2,457	2,81 %
Fv229 C1	Ab 16	1	7679	2,383	2,457	3,01 %
Fv229 D1	Ab 16	1	7679	2,390	2,457	2,73 %
Gjennomsnitt						2,79 %

Fv229 A2	Ab 16	2	7370	2,394	2,457	2,56 %
Fv229 B2	Ab 16	2	7370	2,404	2,457	2,16 %
Fv229 C2	Ab 16	2	7370	2,415	2,457	1,71 %
Fv229 D2	Ab 16	2	7370	2,401	2,457	2,28 %
Gjennomsnitt						2,18 %

Tabell 2 – Hulromsresultatet fra borkjerneprøvene langs Fv. 229.

Undersøkelsene man benyttet var hydrostatisk overflatetørr og maksimumsdensiteten fra pyknometerundersøkelser. To tilfeldige prøver, A2 og C2, ble tatt ut for å undersøke maksimumsdensitet og gjennomsnittet av disse to ble brukt videre for å finne hulrommet.

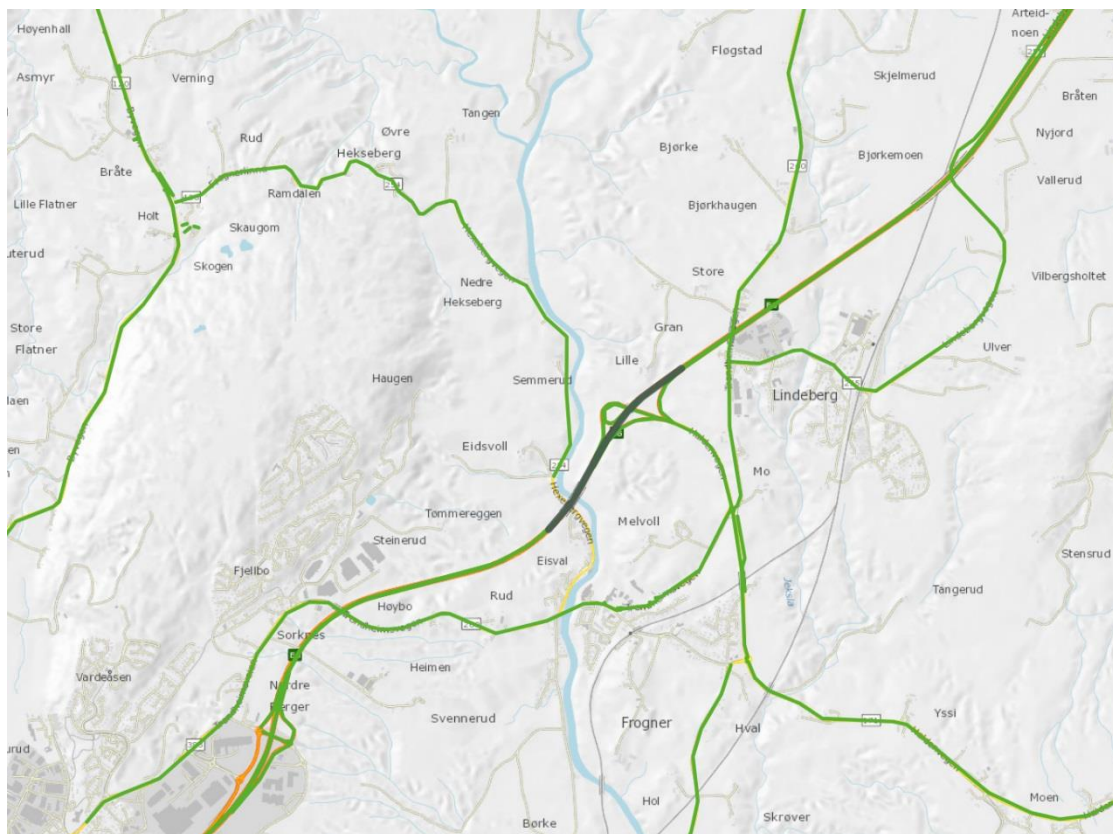
Maks hulrom som ble målt i felt 1 var 3,01 % og minste var 2,60 % og differansen er 0,41 %. Gjennomsnittet er 2,79 og variasjon er relativt liten på disse fire målingene.

Maks hulrom som ble målt i felt 2 var 2,56 og minste hulrom var 1,71 og differansen er 0,85%. Gjennomsnittet er 2,18 og det er noe variasjon i målingene.

Både GPR-målingen og borkjerneprøvene er hentet ut 14.09.2017, 7 uker etter dekkelegging ble utført. Det er brukt resultat fra isotop densitetsmåler til å sammenligne GPR-målinger.

3.2 Europavei 6 i Akershus

En veistrekningen på Ev. 6 i Akershus fylke ble den andre veien som ble undersøkt i denne oppgaven. Veistrekningen er Hp 09, fra 4855-6002 meter, ved Lindeberg. Det er to kjørefelt i hver retning på denne veien, men kun det ene feltet er reasfaltert og er blitt undersøkt med GPR. Det er kun felt 2 som er undersøkt. Dekkebredden på hver kjørebane er i gjennomsnitt fire meter, dekketykkelsen på slitelaget som er forlagt er 46 centimeter. Masseforbruket på stedet er 114 kg/m^2 , og ble lagt 20.06.2017. ÅDT på den aktuelle strekningen er 64660, mens andel tunge kjøretøy er 12,9 %. Data er innhentet fra NVDB. Kart over aktuell strekning er vist i figur 11.



Figur 11 – Europavei 6 hp 09 4855-6002m ved Lindeberg (uthevet mørk grønn strek).

Slitelaget som er benyttet på strekningen er Ska 16. Dette er en type asfalt som i hovedsak brukes til slitelag på dekker som har en ÅDT < 10000, hvor det forekommer piggdekksslitasje og er utenfor tett bebyggelse.

Det er tatt ut fire borkjerner fra veistrekningen, alle fire er tatt samme plass på strekningen som er undersøkt. Prøvene er til å kalibrere GPR-data, det er ikke boret ut prøver til sammenligne resultatet opp mot GPR-målingene. Dette på grunn av økonomi, ressurser og tidsbruk ble det ikke tatt ut flere borprøver. Det er Statens vegvesen Region øst som har boret ut borkjernene, og jeg har analysert prøver i laboratoriet. Diameter på hver prøve er 100 millimeter og i tabellen nedenfor følger data fra borkjernene. Siden alle fire prøvene i hvert felt er tatt samme sted har jeg brukt gjennomsnittet av hulrommet på de fire forskjellige prøvene.

Prøve ID	Massetype	Felt	Lokasjon [m]	Densitet ρd [g/cm3]	Maksimums densitet [g/cm3]	Hulrom [%]
E6 A1	Ska 16	2	5152	2,396	2,502	4,24 %
E6 B1	Ska 16	2	5152	2,405	2,502	3,88 %
E6 C1	Ska 16	2	5152	2,417	2,502	3,40 %
E6 D1	Ska 16	2	5152	2,402	2,502	4,00 %
Gjennomsnitt						3,88 %

Tabell 3 – Viser hulromsresultatet fra borkjerneprøvene langs Ev. 6.

Undersøkelsene man benyttet var hydrostatisk overflatetørr og maksimumsdensiteten fra pyknometerundersøkelser. To tilfeldige prøver, A1 og C1, ble tatt ut for å undersøke maksimumsdensitet og gjennomsnittet av disse to ble brukt videre for å finne hulromsprosenten.

Maks hulrom som ble målt i felt 2 var 4,24 og minste hulrom var 3,40 og differansen er 0,84 %. Gjennomsnittet er 3,88 og det er variasjon i målingene.

Både GPR-målingen og borkjerneprøvene er hentet ut 19.09.2017 og det er nesten 13 uker etter dekkelegging ble utført. Det er brukt resultat fra isotop densitetsmåler til å sammenligne GPR-målinger.

4 Metode

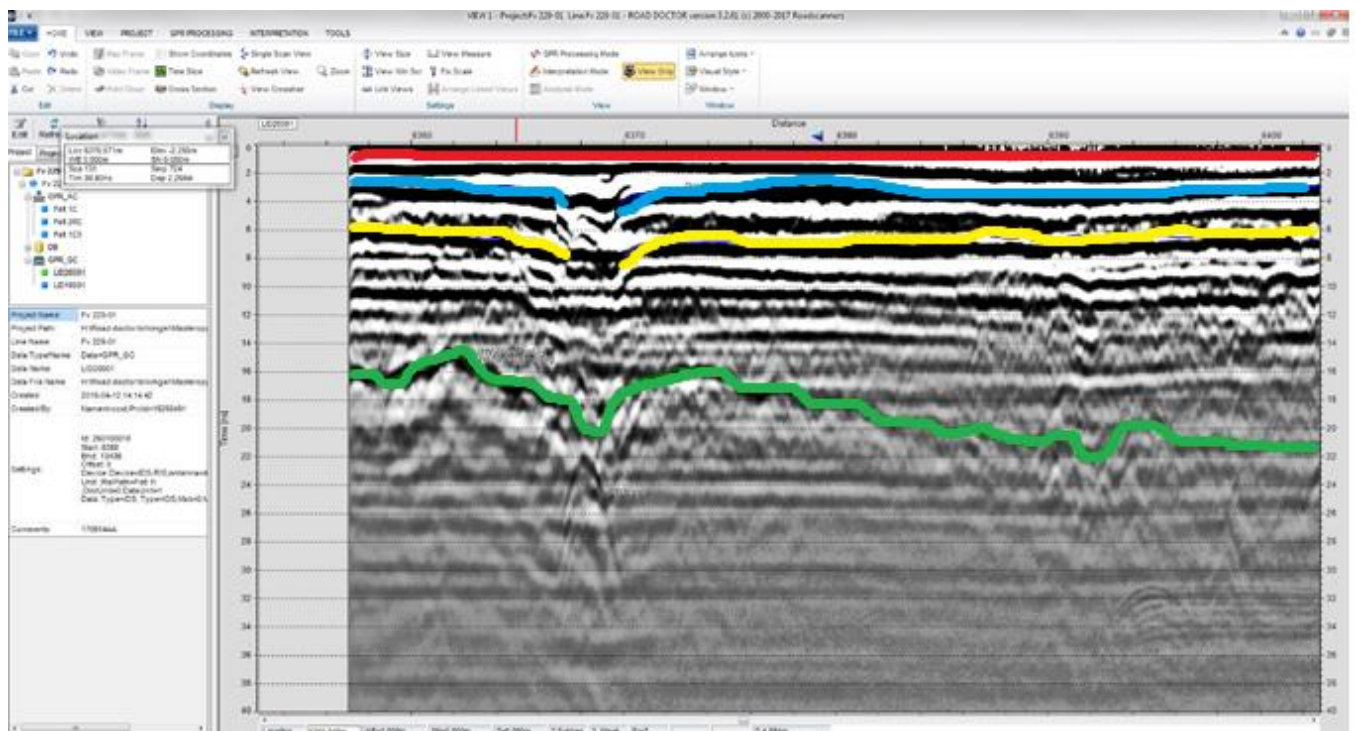
To veistrekninger er undersøkt i denne oppgaven, begge ligger i Akershus fylke. Det er benyttet GPRmåling til å undersøke dekket og dataene har videre blitt tolket i programmet Road Doctor, RD. Resultatet er presentert i figurer og diagrammer under kapittelet resultat. Det er kun tatt ut borkjerne for å kalibrere GPR-målinger, ikke for å sammenligne resultatet som fremkommer av målinger gjort med GPR. Det er derimot brukt målinger fra isotop densitetsmåler til å sammenligne med resultatet fra GPR. På grunn av økonomi, ressurser og tidsbruk ble det ikke tatt ut flere borprøver.

4.1 Road Doctor (RD) programvare

Metoden som er blitt brukt i denne oppgaven er å tolke og analysere rådataen fra GPR-målingene i programmet RD.

Programvaren RD er prosjektbasert, hvor en oppretter prosjekt for ønsket formål. For eksempel for strekninger som blir reasfaltert. Brukeren kan fritt velge flere veistrekninger som blir reasfaltert i samme prosjekt. En veistrekning kan i tillegg til rådata fra luftkoblet og bakkekoblet GPR-målinger inneholde data om undersøkelse av spordybde, opptak med videokamera eller bilder, nedbøyningsmålinger, IR målinger, etc.

Når rådata fra en luftkoblet måling skal undersøkes i RD, må man prosessere dataen først. For å fjerne uønsket støy bruker man flere funksjoner i programmet. Signalbehandling gjøres hovedsakelig på pc-skjermen, noe som forenkler søket etter den beste innstillingsverdien. Alternativer for signalbehandling i RD er for eksempel, fjerning av statisk bakgrunn, om man ønsker et bedre/klarere signal kan man ta bort små variasjoner i signalet – automatisk- eller manuell signalforsterkning, vertikal og horisontal filtrering, migrering, man kan også reversere polariteten av dataen som ønskes tolket med flere nyttige funksjoner. Fremgangsmåten i forhold til hulromsundersøkelser blir beskrevet nærmere i (Wivelstad, 2015). Når valgte faktorer er lagt inn legges resultatet fra skanningen av metallplaten, deretter er programmet klar for å bearbeide rådataen. Resultatet av bearbeiding gir en datafil som videre brukes til å utføre en beregning av hulromsprosenten. Når denne filen er prosessert i RD, vil man få et resultat som videre kan tolkes, figur 12 illustrerer et eksempel.



Figur 12 – Skjermdump av prosessert data fra RD. Her ser man et snitt i lengderetning av en utvalgt veistrekning på fylkesvei 229. X-aksen er lengden på målingen i meter og strekker seg fra cirka 6360 meter til 6400. Mens y-aksen er dybden på målingen i nanosekund. Det er relativt tydelige lagskiller ved rundt 1 ns rød strek, rundt 2,5 ns blå strek, rundt 4 ns gul strek og det nederste skillet beveger seg fra rundt 15 til 22 ns fremstilt med grønn strek. Vi ser også ei stikkrenne rundt 6368 meter og nedover y-aksen, hvor blå og gul strek har et opphold.

RD kan vise GPR data på en rekke måter. Y-skalerting av GPR displayet er justert etter en tidsskala og gir etter en fast dielektrisk permittivitetsverdi en hulroms- og/eller dybdeskala. Brukeren kan i stor grad påvirke hvordan dataene vises ved å endre farge på terskelen til skalaen. Programmet tillater også brukeren å vise GPR data målt med forskjellige antenner i det samme vinduet, som overlappende profiler, eller i separate vinduer.

4.1.1 Hulromsundersøkelser

I forkant av hver GPR-skanning ble det utført en metallplate skanning. Dette blir gjort for å kalibrere GPR-måleren som skanner asfaltdekket. GPR kan deretter måle den dielektriske verdien ϵ av ønsket strekning. Man behøver to eller flere borkjerneprøver for å finne hulrommet. I denne oppgave ble det brukt fire borkjerneprøver. Deretter kan kalibrasjonsfaktoren k regnes ut ved å snu på formel 8.

$$y = 272,93e^{-1,3012k\varepsilon_x}$$

$$\ln(y) = \ln(272,93) - 1,3012k\varepsilon_x$$

$$k = \frac{\ln\left(\frac{272,93}{y}\right)}{1,3012\varepsilon_x}$$

Hulrom utregnet fra fire borkjerner fra tabell 2 og 3 lagt inn i RD:

Void Content Calibration Values			
File Name	H:\Road doctor tolkinger\Masteroppgave		
Void Content%	2,79		
	Average	Standard Deviation	
Dielectric Value	6,09	0,15	
Pavement Thickness	0,00mm		
Calibration Factor	0,5784		
Accept		Cancel	

Void Content Calibration Values			
File Name	H:\Road doctor tolkinger\Masteroppgave		
Void Content%	2,18		
	Average	Standard Deviation	
Dielectric Value	5,97	0,13	
Pavement Thickness	0,00mm		
Calibration Factor	0,6215		
Accept		Cancel	

Void Content Calibration Values			
File Name	H:\Road doctor tolkinger\Masteroppgave		
Void Content%	3,88		
	Average	Standard Deviation	
Dielectric Value	5,45	0,10	
Pavement Thickness	0,00mm		
Calibration Factor	0,5997		
Accept		Cancel	

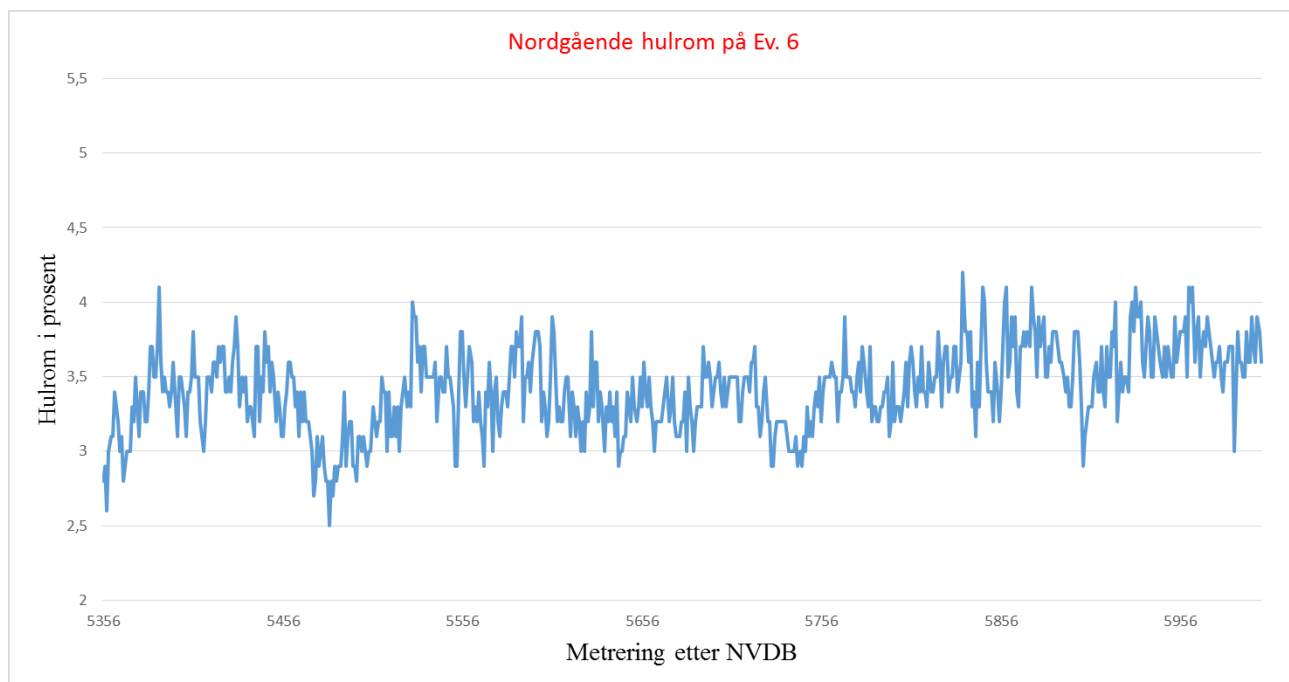
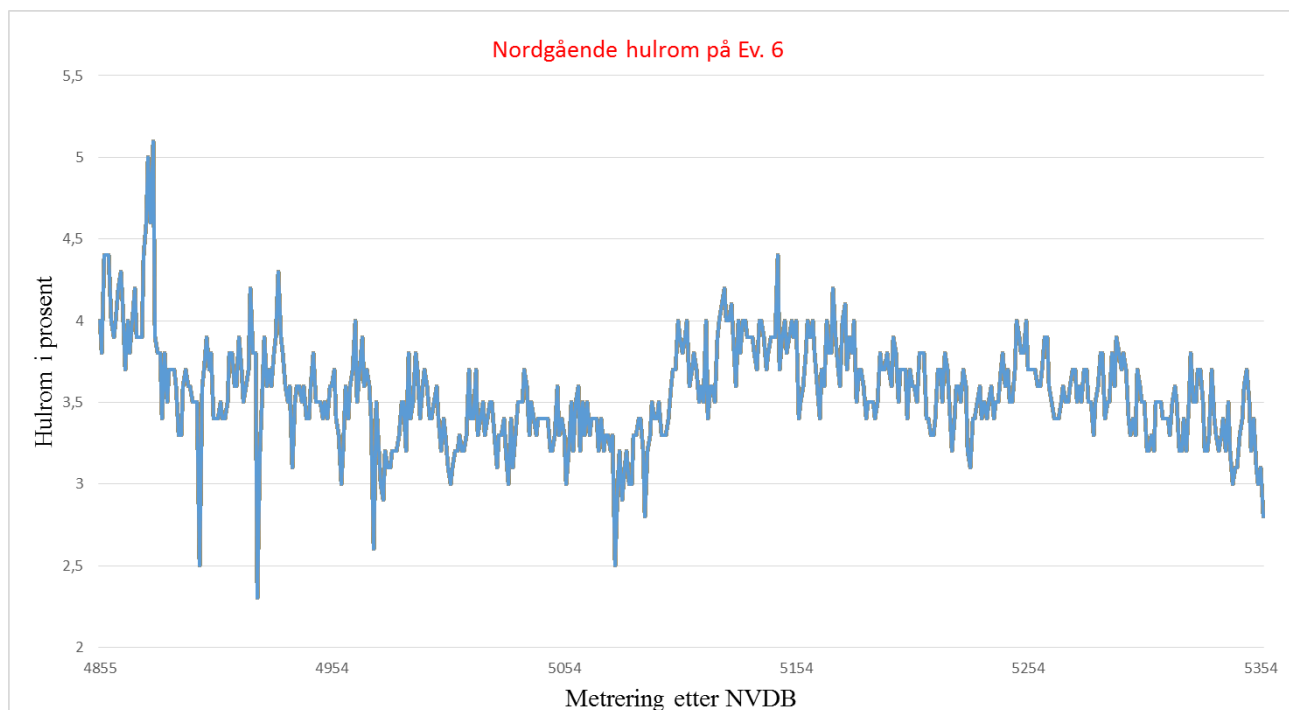
Figur 13 – Utregning av k i RD. Fra øverst, felt 1 Fv. 229, felt 2 Fv. 229 og nederst felt 2 Ev. 6.

RD kalkulere asfaltdekkets hulrom på resten av strekningen ved å benytte kalibrasjonsfaktor fra figur 13. Det er viktig at hulromsandelen man får fra prøvene blir lagt inn nøyaktig hvor den er tatt ut på strekningen. En utvidet beskrivelse av hvordan programmet RD brukes til å analysere og tolke rådata fra GPR-måling finner en i (Wivelstad, 2015).

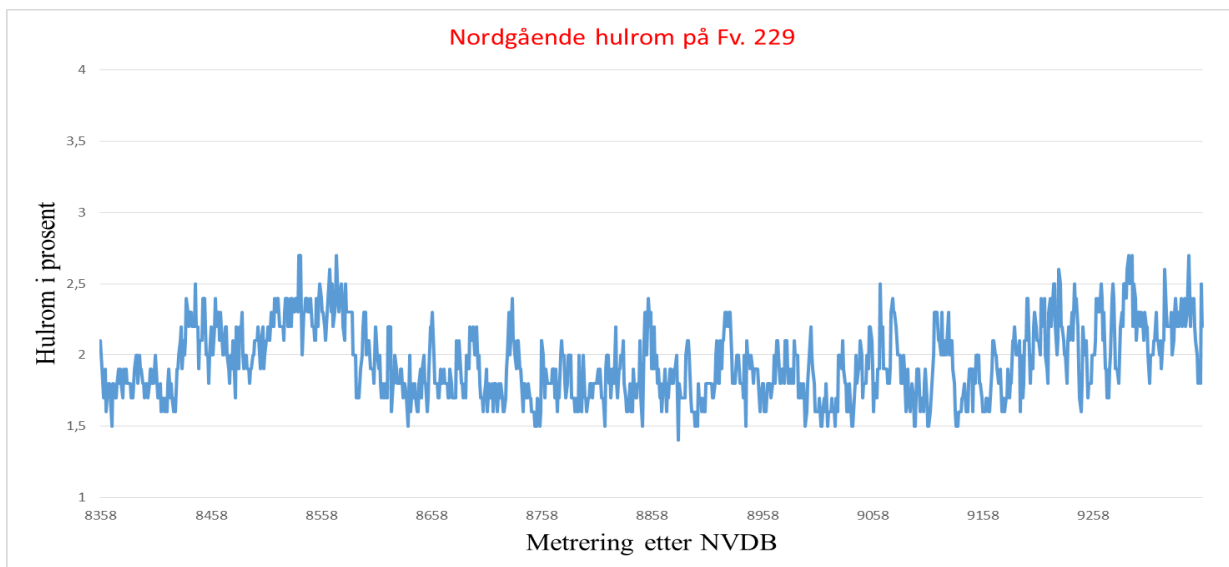
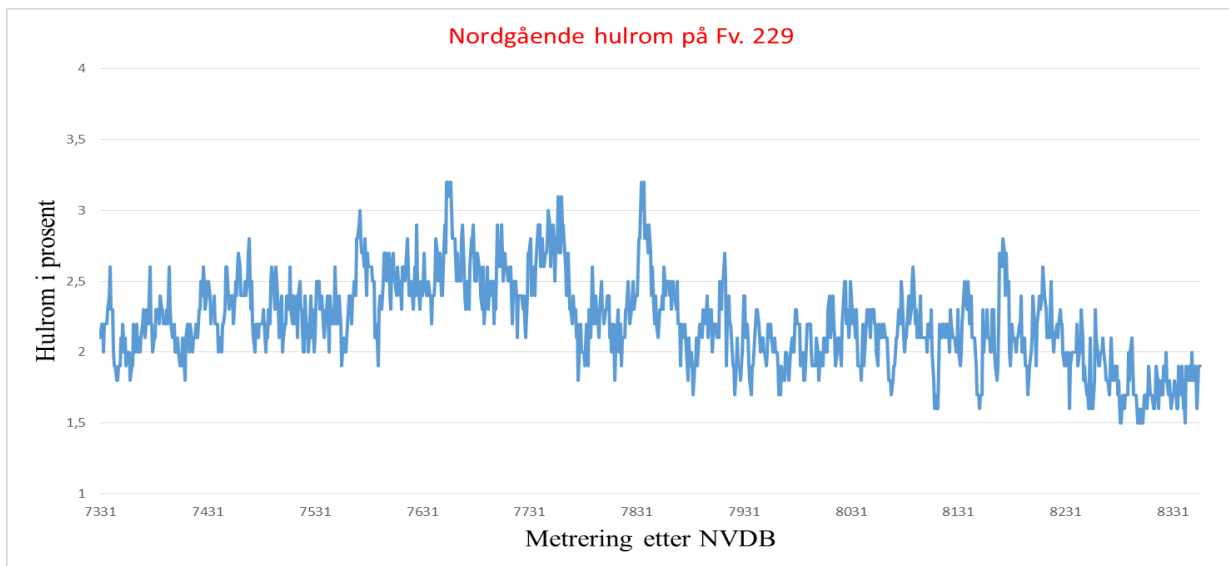
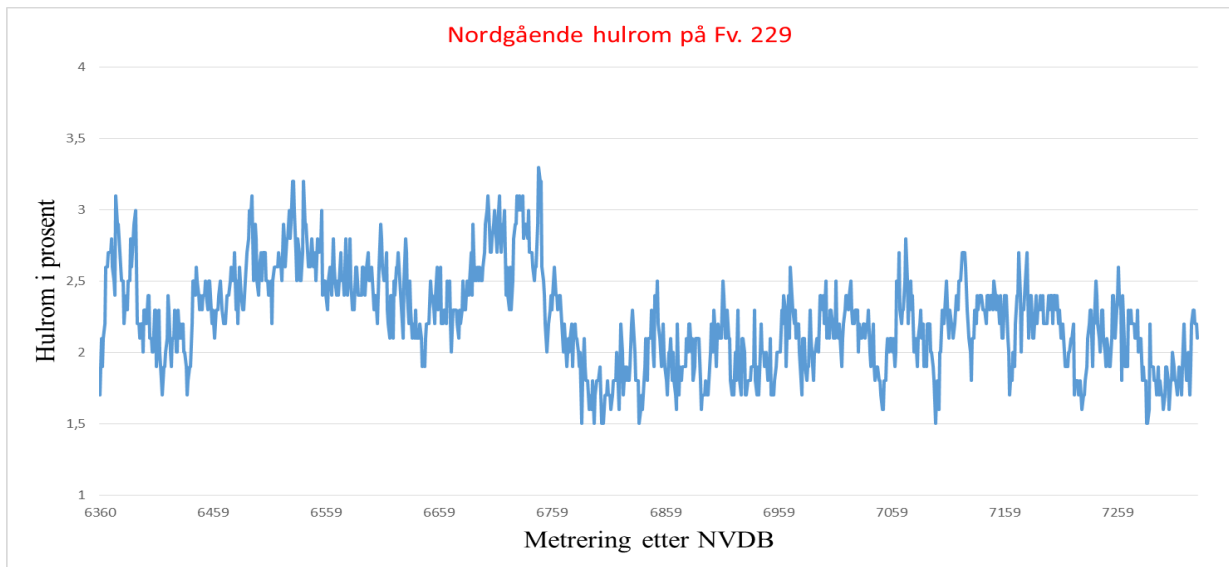
Hulromsdataene fra RD kan enkelt eksporteres til Excel-fil for å lage diagrammer eller grafer av dataen. Det er også mulig å fremstille resultat med fargegraf langs strekningen i RD programmet. Siden strekningen på Fv. 229 er over 6,0 kilometer er disse resultatene delt inn i omtrent 1000 meter, mens strekningen på Ev. 6 er litt over 1,0 kilometer er denne delt inn i omtrent 500 meter. Hver verdi på hulrom som vises i tabellene er et gjennomsnitt av hulromsprosenten fordelt på disse inndelte meterne.

5 Resultater

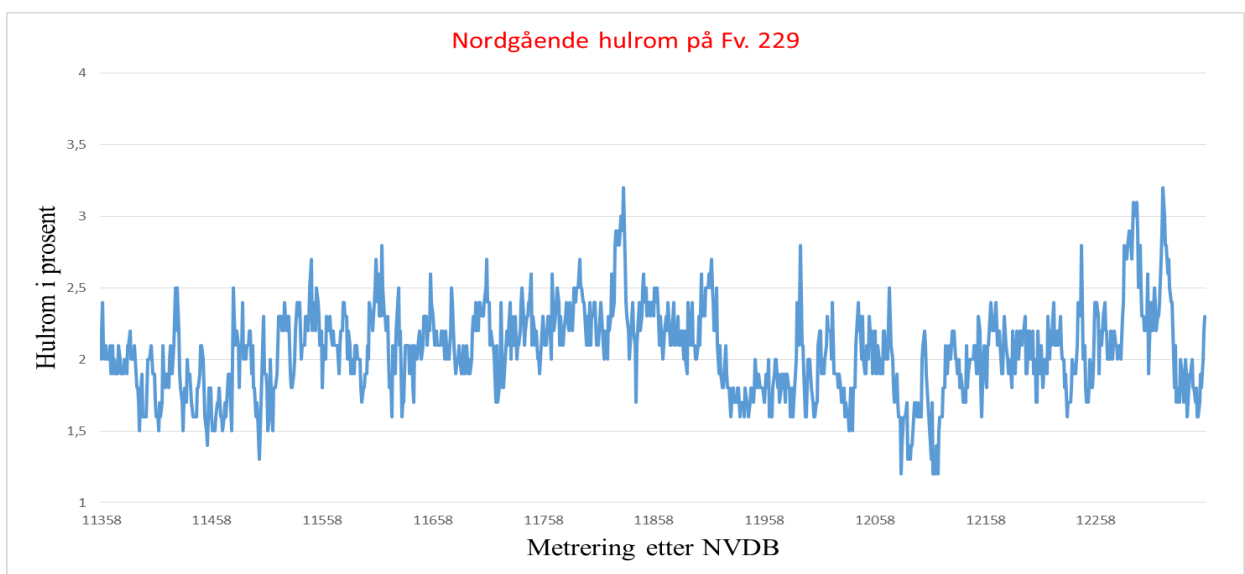
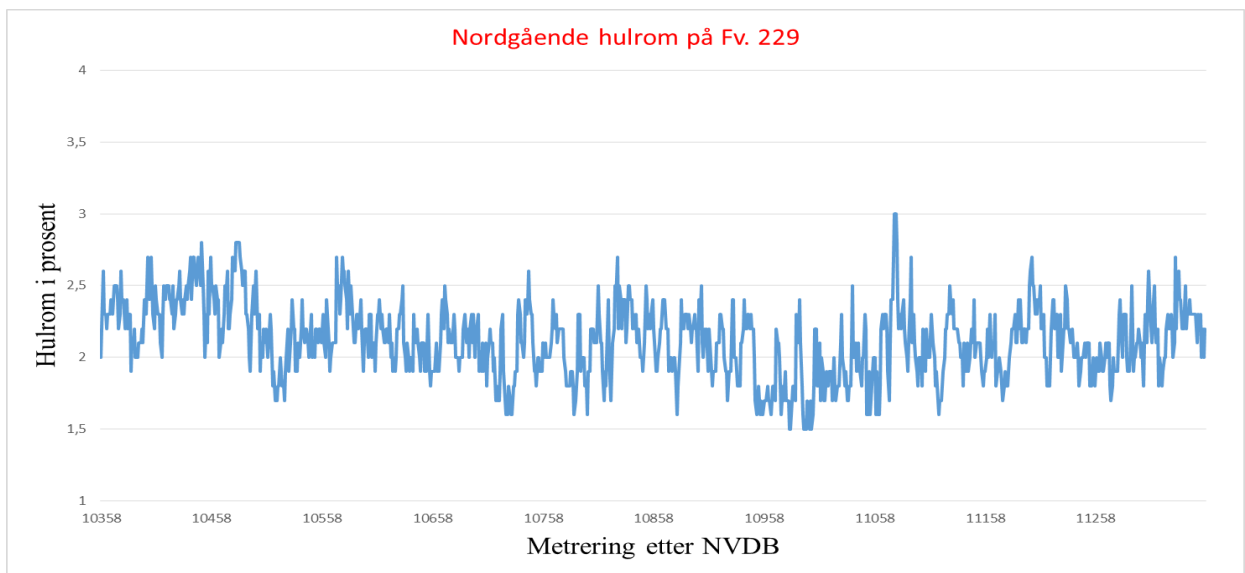
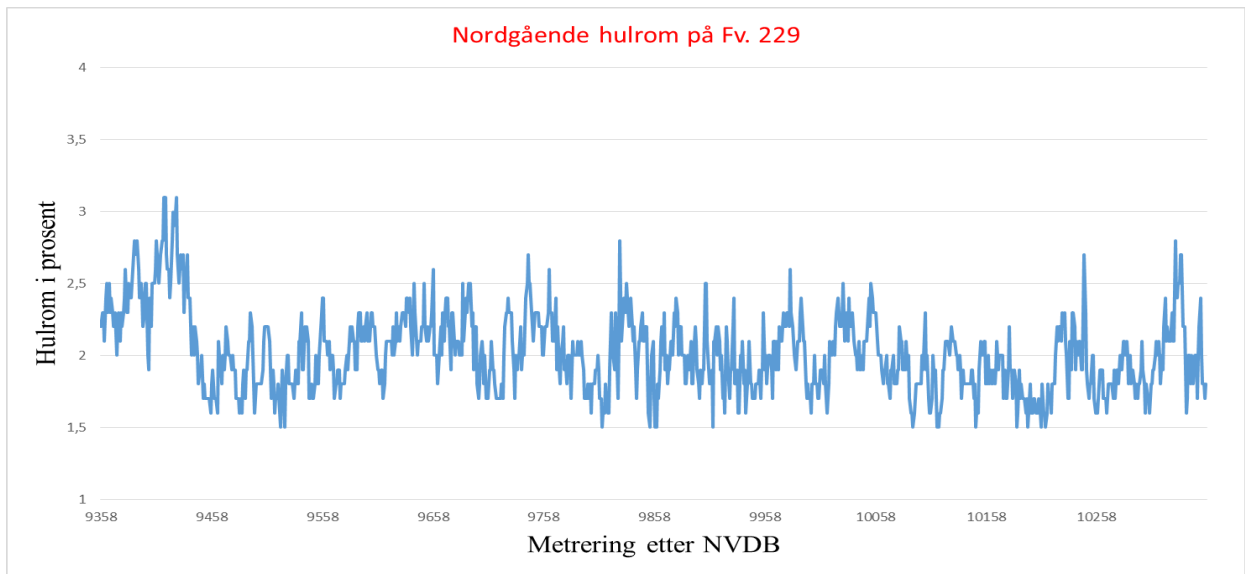
Hulromsanalysene fra Ev. 6 og Fv. 229 i RD er fremstilt i figur 14-20. Grafene til Ev. 6 er delt inn i rundt 500 meter og overlapper i endene, på den måten er det lettere å lese av mer nøyaktig. Grafene til Fv. 229 er delt inn i rundt 1000 meter per graf og overlapper i endene.



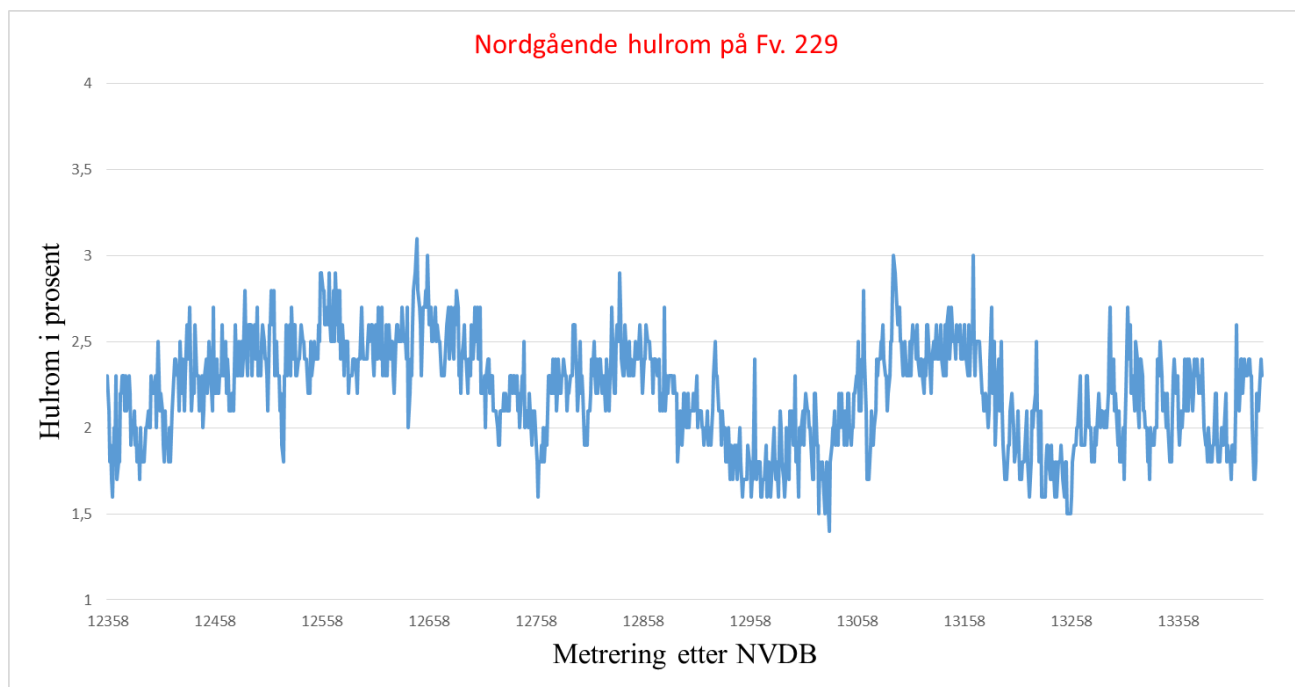
Figur 14 – Andel hulrom på Ev. 6 i felt 2.



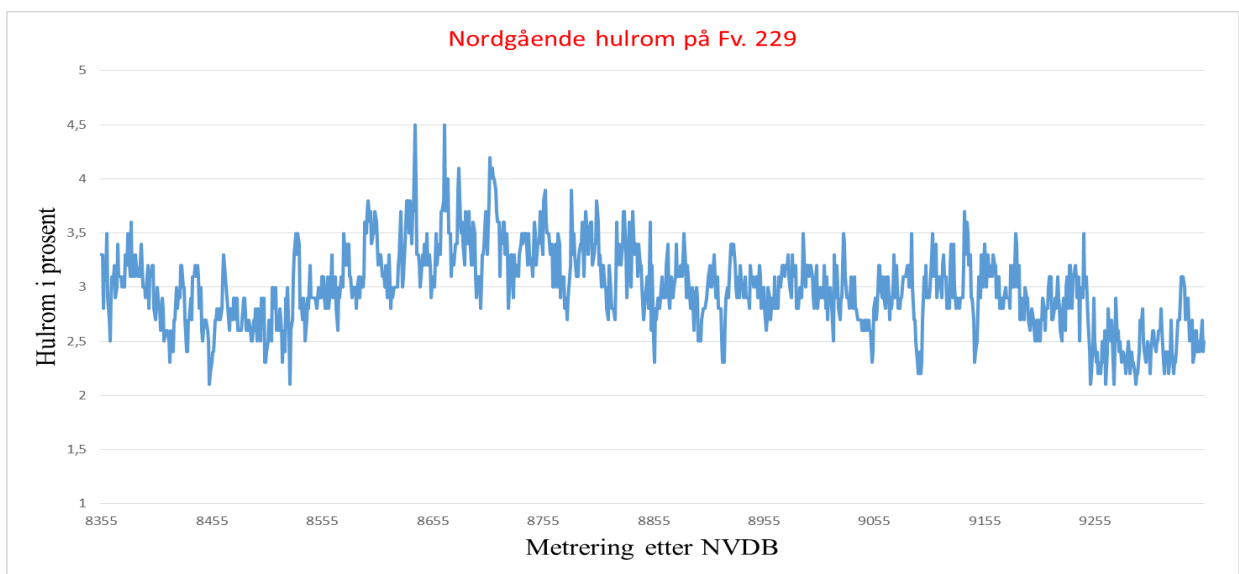
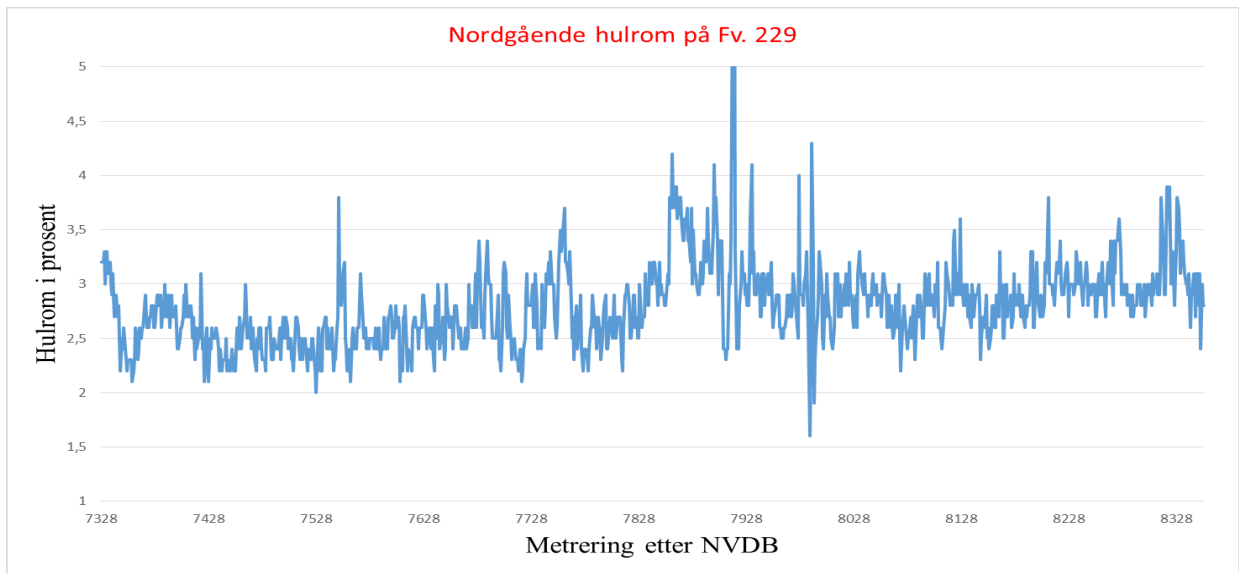
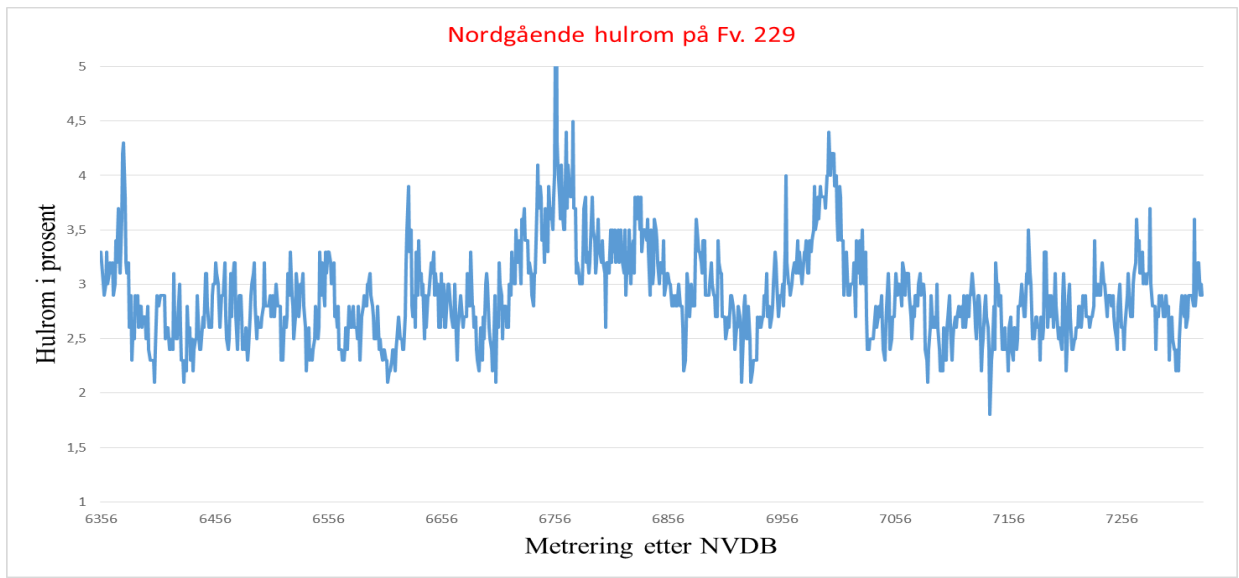
Figur 15 – Andel hulrom på Fv. 229 i felt 2 fra 6360-9357 meter.



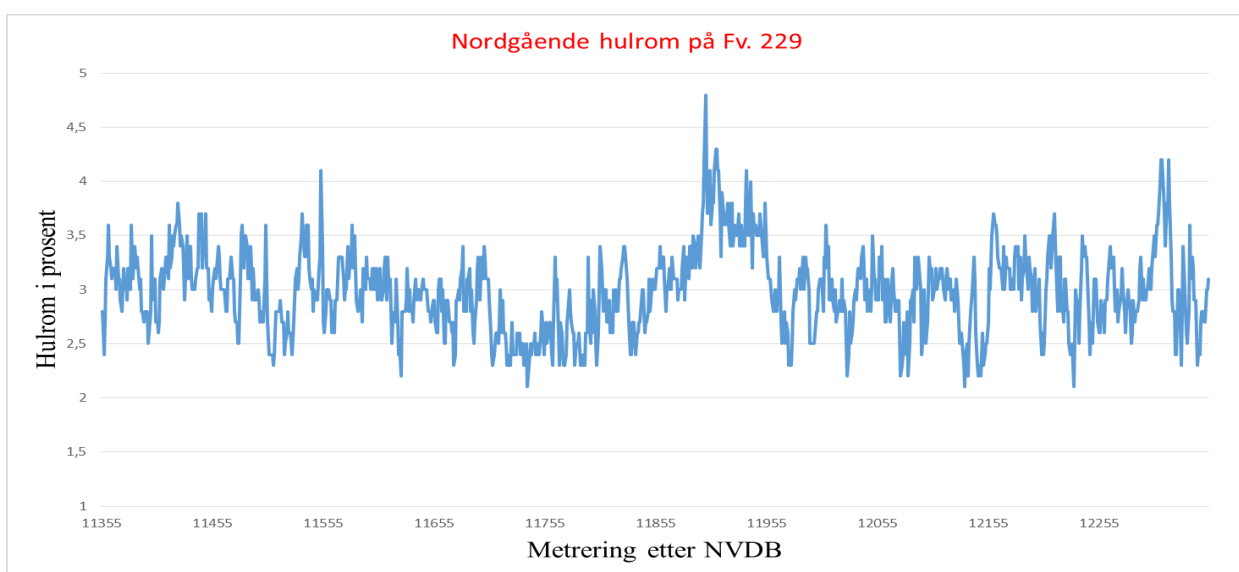
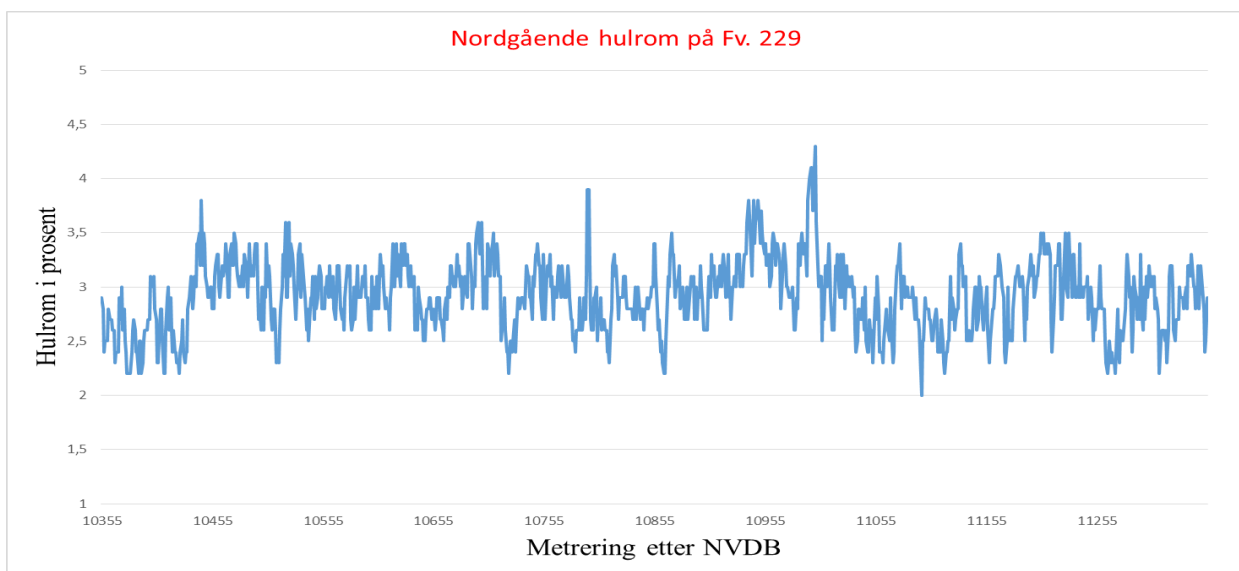
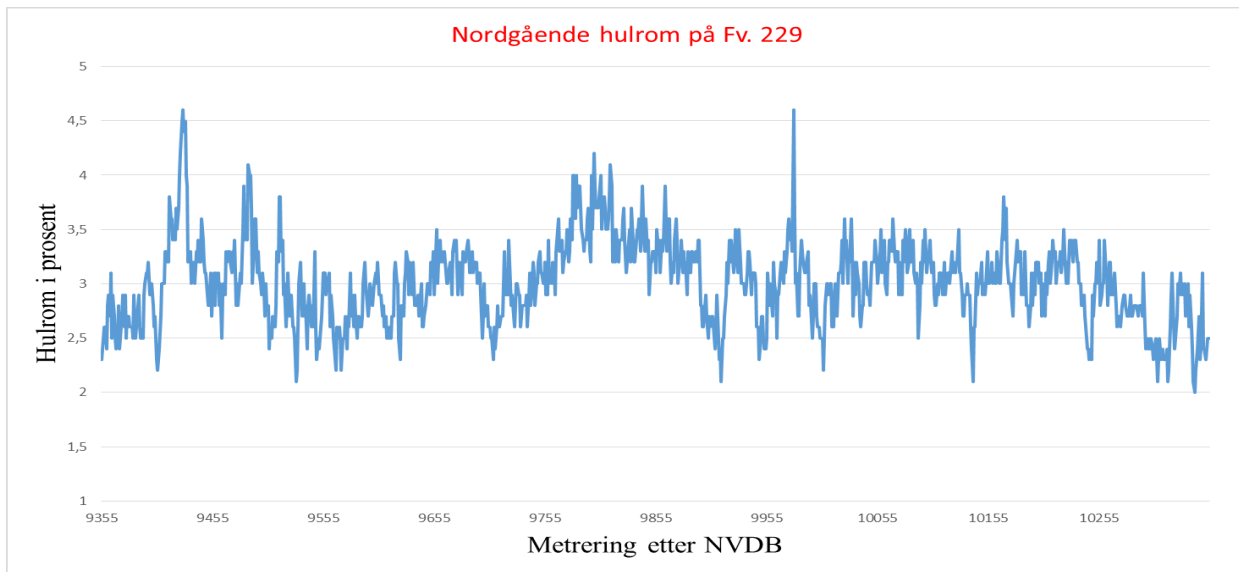
Figur 16 – Andel hulrom på Fv. 229 i felt 2 fra 9358-12357 meter.



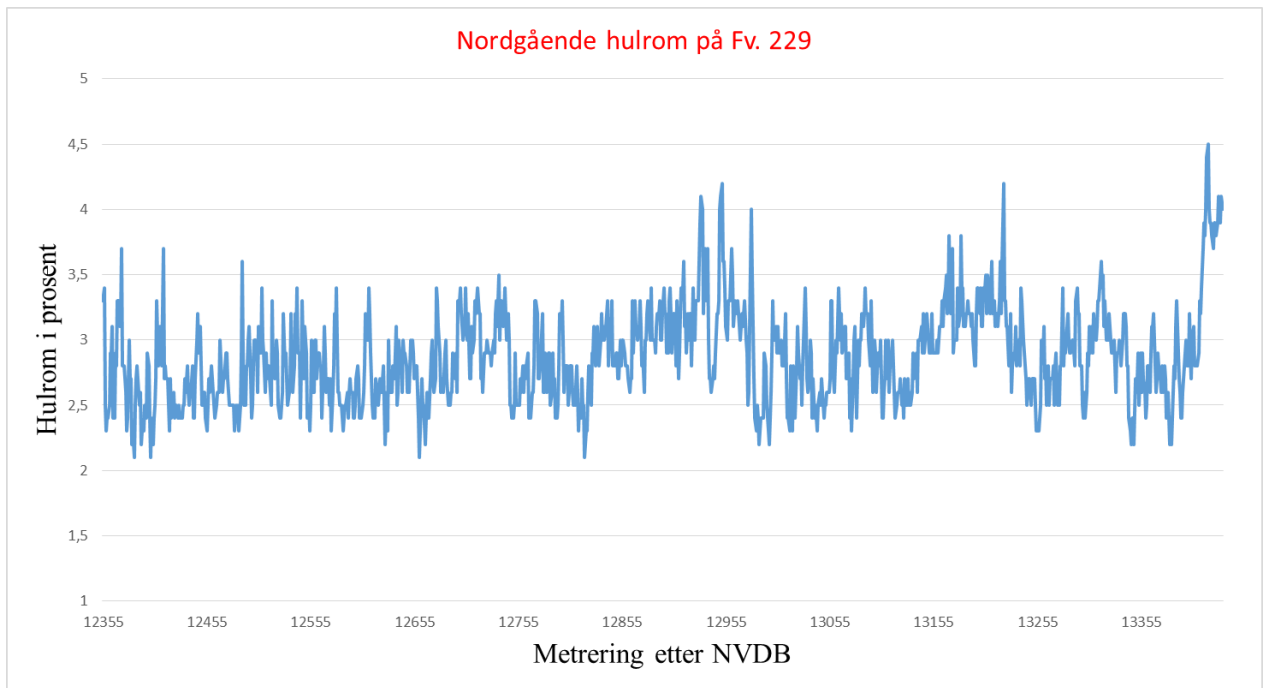
Figur 17 – Andel hulrom på Fv. 229 i felt 2 fra 12358-13437 meter.



Figur 18 – Andel hulrom på Fv. 229 i felt 1 fra 6360-9357 meter.

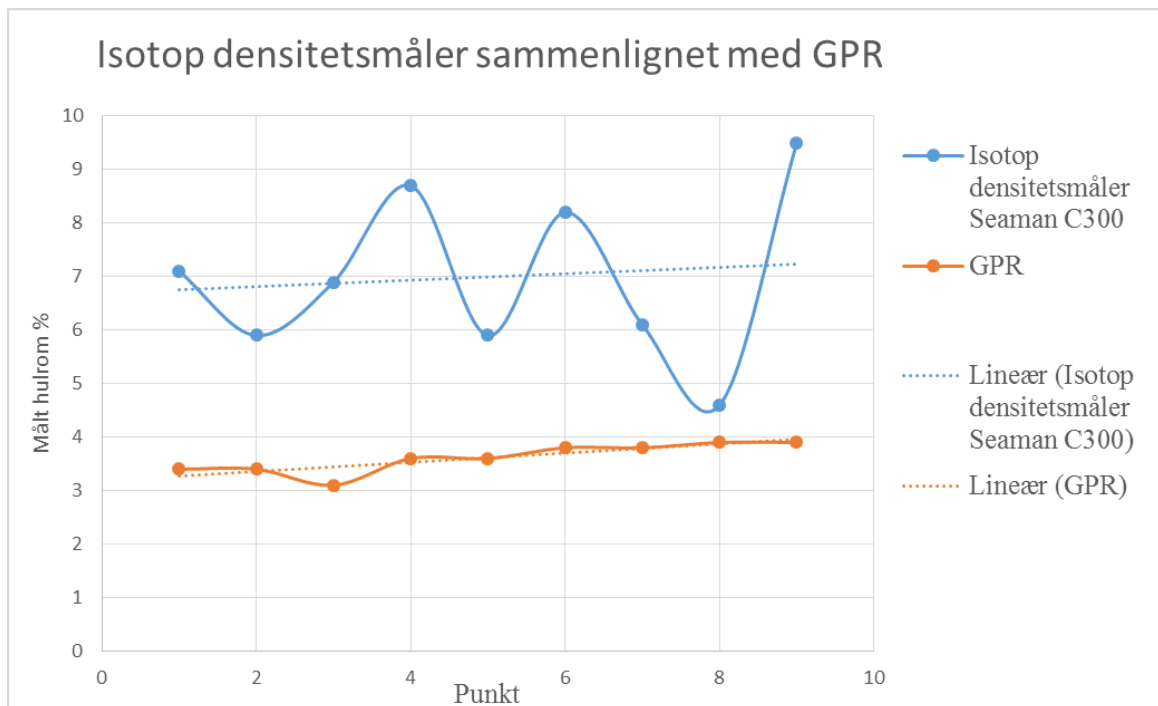


Figur 19 – Andel hulrom på Fv. 229 i felt 1 fra 9358-12357 meter.

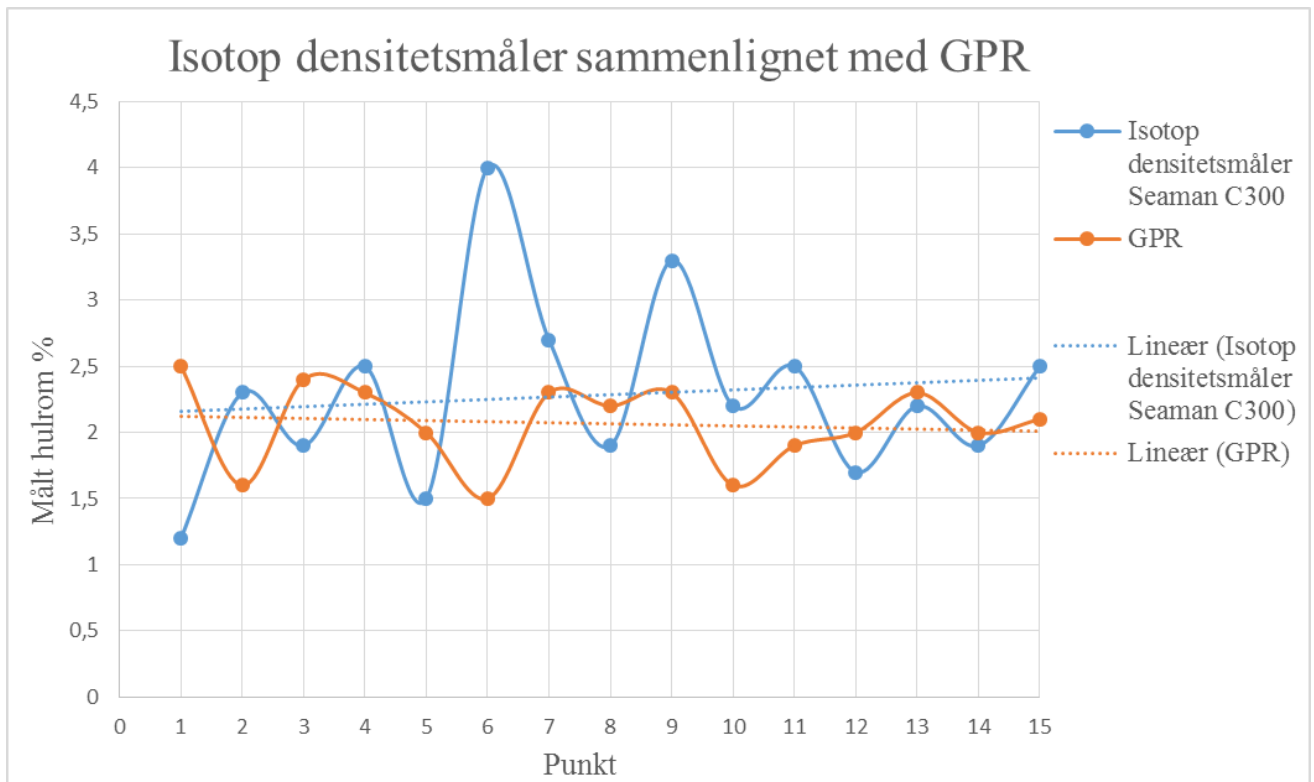


Figur 20 – Andel hulrom på Fv. 229 i felt 1 fra 12358-13437 meter.

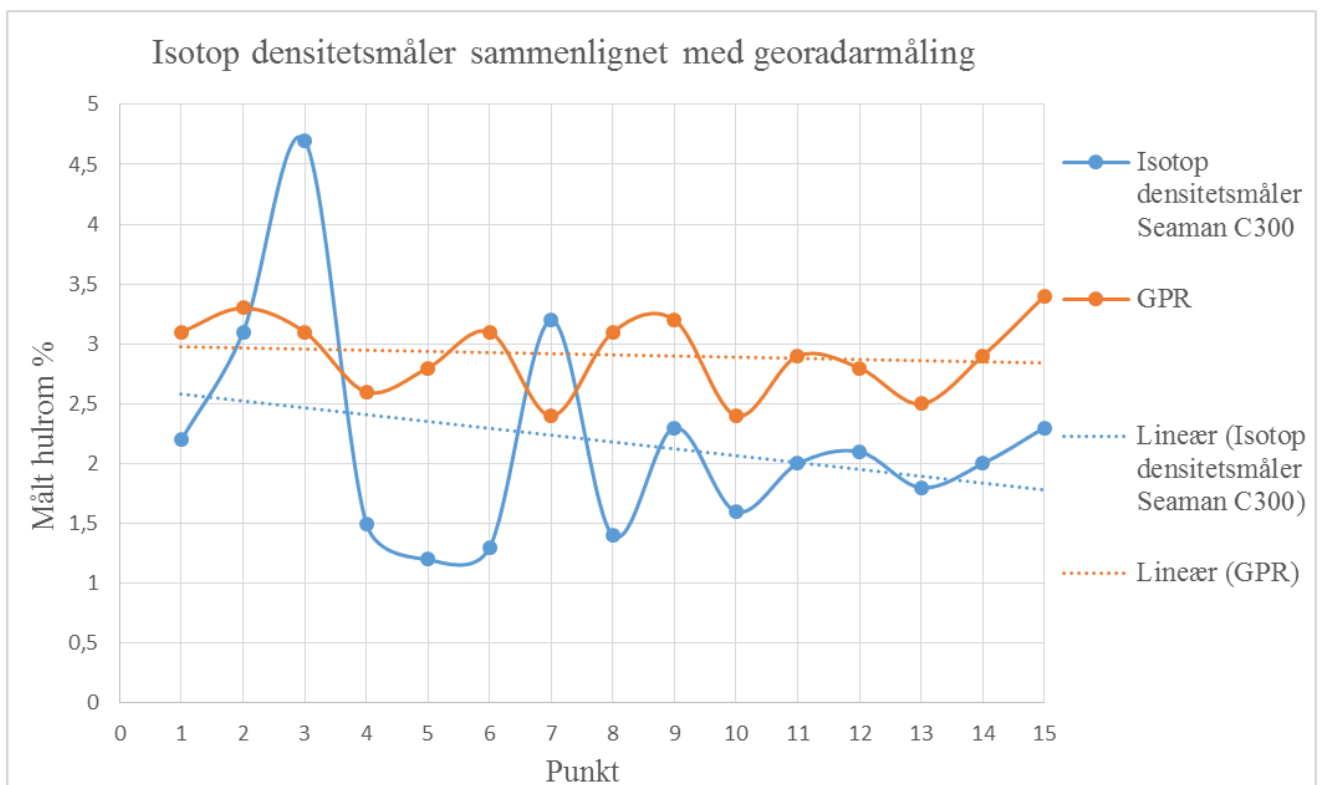
Figur 14 illustrerer hulrom på Ev. 6, mens figur 15, 16 og 17 viser hulrom fra felt 2 på Fv. 229 og figur 18, 19 og 20 illustrerer hulrom på felt 1 på Fv. 229. I tabell 4, 5 og 6 nedenfor, sammenlignes hulrom som er hentet ut fra RD og målinger fra isotop densitetsmåler (Seaman C300).



Tabell 4 – Sammenligner hulrom på Ev. 6.



Tabell 5 – Sammenligner hulrom i felt 2 på Fv. 229.



Tabell 6 – Sammenligner hulrom i felt 1 på fv. 229.

6 Diskusjon

GPR målinger ble kalibrert opp mot borkjerner som ble tatt ut like etter målingene, og resultatet skal være representativt for strekningen.

Fra figur 14-20 ser vi resultatet fra hulromsundersøkelsen i RD. Ev. 6 har hulrommet et gjennomsnitt på 3,48% og verdiene ligger mellom 2,3-5,1%. Fv. 229 felt 1 har hulrommet et gjennomsnitt på 2,92% og verdiene ligger mellom 1,6-7,7%. Fv. 229 felt 2 retning har hulrommet et gjennomsnitt på 2,12% og verdiene ligger mellom 1,2-3,3%. Hulromsandelen skal etter krav i (Statens Vegvesen, 2014a) ligge mellom 2-5%. For Ev. 6 er dette innenfor kravet. Mens Fv. 229 felt 2 har noen for lave verdier og felt 1 på fylkesvei 229 har både for lave og for høye verdier. Det er kun to steder hvor den er for høyt i felt 1. Det ene området strekker seg over tre meter mens det andre er kun over en meter. Dette kan skyldes flere årsaker. Feilmåling/tolkning av GPR-data, ikke tilstrekkelig valset eller feil valsefart, en kum på stedet, en asfaltskjøt, stopp i leggingen, klimatiske variasjoner ved legging, effekten av vann eller lignende. Bildene fra NVDB viste ikke noen synlig kjøt eller kum. Dermed er det mulig det ikke er tilstrekkelig valset i området. Områdene hvor det er for lave verdier i forhold til krav, viser heller ikke synlig årsaker i NVDB. Det er vanskelig for å ikke si umulig å oppdage for lavt hulrom, selv med gode bilder. Årsaker til for lavt hulrom kan blant annet skyldes at det er valset for mye, det er brukt for høy bindemiddelandel, feilmåling/tolkning av GPR-data, effekten av vann eller lignende. Området burde undersøkes med borkjerneprøve, dersom man skulle fått et mer nøyaktig svar.

Kalibrasjonsfaktoren er en konstant og ved varierende hulrom vil dette være en mulig feilkilde. Det er heller ikke tatt ut noen borkjerner i ettertid, for å verifisere resultatet.

Fra tabell 4-6 ser vi resultatet fra hulromsmålinger gjort med GPR sammenlignet med målinger gjort med isotop densitetsmåler Seaman 300.

Ser vi på tabell 4, er målinger gjort med isotop densitetsmåler på Ev. 6 høye, sammenlignet GPR-målinger. Her er kun 1/9 målinger innenfor feilmargin på +/- 0,9%. Men den lineære linjen er relativ lik GPR-målingene. Dette kan blant annet skyldes feilkalibrering av utstyr, klimatiske forhold eller brukerfeil ved utførende målinger av isotoputstyret.

Tabell 5 viser at 12/15 målinger gjort med isotop densitetsmåler på Fv. 229 felt 2 sammenlignet med GPR-målinger er innenfor en feilmargin på +/-0,9%. Den lineære linjen av målinger er sammenlignbare.

Tabell 6 viser at 9/15 målinger gjort med isotop densitetsmåler på Fv. 229 felt 1 sammenlignet med GPR-målinger er innenfor en feilmargin på +/-0,9%. Den lineære linjen av målinger er sammenlignbare.

Det er variasjoner på målingene gjort med isotop densitetsmåler. Dette kan skyldes at målingen med isotop densitetsmåler gjelder et punkt, mens GPR-målingen er gjennomsnittet av 10 målinger fordelt på en meter. Det kan også skyldes at maksimumsdensiteten kan variere noe, og dette kan gi utslag for målemetodene. Metoden isotop densitetsmåler er usikker, og asfaltdekket er aldri helt homogent slik at når en snakker om punktmålinger er det naturlig med variasjon – spesielt om prøvetakingen er rettet mot partier der en kan se forskjell. Isotop målinger ble utført samme sted som GPR-målinger, mellom hjulspor.

Det anbefales å sammenligne GPR-målinger med mer pålitelig resultat enn isotop densitetsmåler, slik som borkjerneprøve. Det bør i tillegg sammenlignes med en kappet borprøve, slik at det blir en glatt overflate. Da oppnår man mindre variasjon av resultat. Det kan også være nyttig å gjøre målinger med percometer for å sammenligne og eventuelt kalibrere den dielektriske verdien med målinger gjort med GPR.

7 Konklusjon

Dersom man ser bort fra målinger gjort med Seaman C300 på Ev. 6, er 70% av øvrige målinger innenfor feilmarginen, sammenlignet med resultatet fra GPR. Etersom det er noe variasjon på målinger gjort med isotop, kan det være nødvendig å analysere dette nærmere, slik at en får mer nøyaktig data. På den måten kan man bekrefte tendensen en ser i denne oppgaven.

Dersom man kun ser generelt på hulromsmålingene som er utført av GPR, er resultatet innenfor forventet resultat. GPR kan potensielt sees på som et supplement til borkjerne, isotop densitetsmåler eller induksjonsmåler, for å få et bedre oversikt på variasjonene i hulrommet på strekningen. GPR kan gi en mer systematisk fremgangsmåte til å avklare hvor det bør utføres en utvidet kontroll.

Etter å ha jobbet med data fra GPR tilsier erfaringene:

- Den største fordelen med undersøkelser utført med GPR er at det er mulig å hente inn data fra en hel strekning om gangen, og ikke et punkt slik som metodene borkjerne, isotop densitetsmåler og induksjonsmåler gjør.
- Det er en ikke-destruktiv metode, da det ikke er et inngrep i veien og det oppstår ingen svakheter i veien etter måling.
- Kostnadene for å utføre undersøkelsene er lave sammenlignet med å hente ut borkjerne.
- Undersøkelser gjort med GPR kan utføres fra et kjøretøy i bevegelse. Dermed er det et tiltak som reduserer sikkerhetsrisiko for utførende personell.
- Det er viktig med dyktige folk som har gode erfaringer med å bruke og tolke data fra GPR i programmet RD eller tilsvarende program.
- En av ulempene er at GPR-målingene bør kalibreres opp mot en borkjerneprøve.
- En annen ulempe er utregning av kalibrasjonskoeffisienten k og dens innvirkning på det beregnede hulrommet fra GPR.

8 Videre arbeid

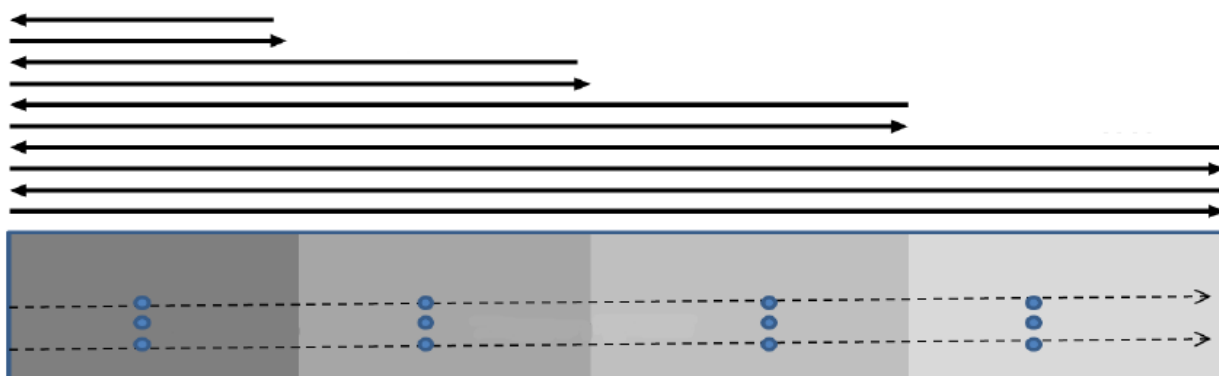
Hovedmålet med denne oppgaven var å undersøke om GPR kan benyttes for å kontrollere kvalitet på hulrom ved reasfaltering av veidekker. Dette kan potensielt være mulig og resultatet kan bli tilfredsstillende. Men det bør sees på metoder for å oppnå tilfredsstillende resultat.

Det bør gjerne gjøres undersøkelser rett etter dekkelegging, altså før dekket er kaldt. Da har vi minimert muligheten for at fuktighet spiller inn på resultatet.

For å få enda bedre data bør det gjøres enda flere analyser av hulrom i asfaltdekker ved hjelp av GPR-målinger. Undersøkelsene bør sammenlignes med metoden som gir høyest mulig nøyaktighet, som per i dag er borkjerneprøver.

Kalibrasjonsfaktoren k i GPR-målingene er utslagsgivende for hulromsresultatet. Utregning og/eller standardisering av faktoren bør undersøkes.

Eksempel på en kalibreringsprosedyre ved utførelse av GPR-måling er å utføre en referansetest i starten av hver veistrekning. Dette kan gjøres ved en variasjon av overfarter med valsing, for eksempel 4, 6, 8 og 10 overfarter på en kortere strekningen. For så å få gjort GPR-målinger og tatt ut borkjerneprøver slik som figuren under beskriver. På denne måten vil asfalt kontraktøren vite hvor mange overfarter som trengs for å oppnå ønsket hulromsverdi. (Saarenketo T. , 2011a)



Figur 21 – Eksempel på en kalibreringsprosedyre for GPR-måling av hulrom på et asfaltdekke. Hvor det er utført 4, 6, 8 og 10 overfarter med valsing og i tillegg utføres 2 eller 3 borkjerneprøver på hver variasjon og i tillegg blir GPR-måling utført. (Saarenketo T. , 2011a)

Videre arbeid er å implementere GPR som en standard for kontroll av hulrom i håndbøkene til Statens vegvesen. Det anbefales å se til hvordan dette er blitt utført i Sverige og Finland.

9 Referanser

- Annan, A. P. (2003). *Ground Penetrating Radar Principles, Procedures & Applications*. Sensors & Software Inc.
- Annan, A. P. (2009). *Ground Penetrating Radar Theory and Applications*. Elsevier.
- Cassidy, N. J. (2009). *Ground Penetrating Radar Theory and Applications*. Elsevier.
- Daniels, D. J. (2004). *Ground Penetrating Radar - 2nd Edition*. London, UK: The Institute of Electrical Engineers.
- El Said, M. A. (1956). *Geophysical prospection of underground water in the desert by means of electromagnetic interference fringes*.
- Fontul, S. F. (2014). *Evaluation of ballast fouling using GPR*. Technical report. 15th International Conference on Ground Penetrating Radar.
- Gallagher, G. P. (1999). *The application of time domain ground penetrating radar to evaluate railway track ballast*. NDT & E International.
- Grote, K. H. (2005). *Evaluation of infiltration in layered pavements using surface GPR reflection techniques*. Journal of Applied Geophysics.
- Hoff, I. H. (2008). *Introduction of Ground Penetrating Radar in Pavement Rehabilitation in Norway*. In *Transport Research Arena Europe*. Ljubljana, Slovenia.
- Ibrekk, P. A. (2015). *Detecting Anomalies and Water Distribution in Railway Ballast Using GPR*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.
- Imad L. Al-Qadi, Z. L. (2011). *In-place hot mix asphalt density estimation using ground penetrating radar*. Illinois: Department of civil and environmental engineering.
- Jack, R. &. (1999). *Imaging attributes of railway track formation and ballast using ground probing radar*. NDT & E International.
- Jol, H. M. (2008). *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*. . Elsevier.
- Kassem, E. e. (2012). *Measurements of asphalt pavement density using Ground Penetrating Radar and its relationship to performance*. Washington D.C.: Transportation Research.


- Lahouar, S. (2003). *Development of Data Analysis Algorithms for Interpretation of Ground Penetrating Radar Data*. Virginia: Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Lalagüe, A. (2015). *Use of Ground Penetrating Radar for Transportation Infrastructure Maintenance*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.
- Plati, C. L. (2010). *Inspection of railroad ballast using geophysical method*. International Journal of Pavement Engineering.
- Popik, M. e. (2009). *Using Ground Penetrating Radar as an Assessment Methodology in Roadway Rehabilitation*. Applied Research Associates/Florida Department of Transportation.
- Roadscanners Oy. (2016). *Road Doctor - User's guide Version 3.2*. Finland.
- Roimela, P. (1998). *Ground Penetrating Radar Surveys in Pavement Quality Control*. Finland: Rovaniemi.
- Saarenketo, T. &. (1998). *Ground penetrating radar technique in asphalt pavement density quality control*. Finland.
- Saarenketo, T. &. (2000). *Road evaluation with ground penetrating radar*. Journal of Applied Geophysics.
- Saarenketo, T. (2006). *Electrical properties of road materials and subgrade soils and the use of ground penetrating radar in traffic infrastructure surveys*. Finland.
- Saarenketo, T. (2008). *NDT Transportation*.
- Saarenketo, T. (2011a). *Recommendations for guidelines for the use of GPR in asphalt air void content measurement*. Finland.
- Saarenketo, T. (2011b). *The Use of GPR in Road Rehabilitation Projects*. Finland.
- Sebesta, S. &. (2003). *Application of Infrared Imaging and Ground-Penetrating Radar to Detect Segregation in Hot-Mix Asphalt Overlays*. Transportation Research Record.
- Sebesta, S. S. (2012). *Using Infrared and High-Speed Ground Penetrating Radar for Uniformity Measurements on New HMA Layers*. National Research Council.

- Statens Vegvesen. (2014a). *Håndbok N200 Vegbygging*. Oslo: Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen. (2014b). *Håndbok R211 - Feltundersøkelser*. Oslo: Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen. (2014c). *Håndbok V261 - Skadekatalog for bituminøse vegdekker*. Oslo: Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen. (2015a). *Rapport 352 - Riktig utførelse av asfaltdekker*. Oslo: Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen. (2015b). *Rapport 365 - Lærebok Drift og vedlikehold av veier*. Oslo: Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen. (2015c). *Kontroll av asfaltarbeider*. Oslo: Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen. (2016a). *Håndbok R210 - Laboratorieundersøkelser*. Oslo: Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen. (2016b). *Rapport 626 Lærebok Vegteknologi*. Oslo: Vegdirektoratet.
- TransTech Systems. (2018, April). *Transtech systems*. Hentet fra Transtechsys: <http://www.transtechsys.com/pdf/PQI380Manual.pdf>
- Wivelstad, G. (2015). *Bruk av georadar til å undersøke tilstanden til veikonstruksjoner*. Oslo: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.

10 Vedlegg

Vedlegg 1 – Maksimum densitet ved bruk av stålpyknometer og vann (Rice Density)	46
Vedlegg 2 – Prøvens densitet; hydrostatisk overflatetørr	47
Vedlegg 3 – Asfaltresept for de to veistrekningene som har blitt undersøkt i oppgaven	49
Vedlegg 4 – Isotopmålinger	54

Vedlegg 1 – Maksimum densitet ved bruk av stålpyknometer og vann (Rice Density)

 Statens vegvesen		Laboratoriene i Region midt Arbeidsskjema			
14.5633 Maksimum densitet ved bruk av stålpyknometer og vann (Rice Density).					
NS-EN 12697-5 Bituminøse masser. Prøvingsmetode for varmblandet asfalt. Bestemmelse av maksimal densitet.					
Temperatur i vannbadet: 25	Utført dato	01.-06.02.18	Signatur		
Felles info om prøvene:		Milos Duric			
Prøve ID	Pykn.nr.	Vekt Pykn.	Vekt pykn. + masse	Vekt pykn. +masse+vann	Merknader: Maksimumdensitet
FV229 F1 m7370 A2-T	72	2028,3	2725,8	3549,40	2,451 Mg/m3
FV229 F1 m7370 C2-T	73	2002,4	2581	3554,30	2,463 Mg/m3
E6 HP9 F2 m5152 A2	67	2021	2815,1	3605,80	2,497 Mg/m3
E6 HP9 F2 m5152 C2	74	2021,2	2841,7	3622,00	2,507 Mg/m3

**14.5623 Prøvens densitet; hydrostatisk overflatetørr**

NS-EN12697-6 Bituminøse masser. Prøvningsmetoder for varmblandet asfalt. Del 6: Bestemmelse av densitet av bitumøse prøvelegemer.

Temperatur i vannbadet:		20,1		Tetthet: 0,9983		Utført dato: 21.02.2018		Signatur: Milos Duric		
Prøve ID	Diameter [mm]	Høyde kloss kappet [mm]				Vekt tørr M3 [g]	Vekt i vann M1 [g]	Vekt Hydr. overfl.tørr M2 [g]	Tetthet hydrostatisk [Mg/m ³]	Tetthet måling [Mg/m ³]
A1-U	99,4 / 99,2	19,8	21,8	19,8	18,1	19,9	213,90	366,90	2,393	2,382
A1-T	99,0 / 99,1	8,8	8,3	9,9	9,4	9,1	94,60	163,80	2,359	2,332
B1-U	99,2 / 99,2	18,4	17,9	19,0	19,3	18,7	200,50	344,40	2,388	2,388
B1-T	99,0 / 99,0	6,2	6,0	7,8	7,1	6,8	69,70	120,50	2,364	2,307
C1-U	99,1 / 99,2	19,0	19,2	17,3	19,3	18,7	196,50	338,00	2,383	2,340
C1-T	98,8 / 98,7	6,5	7,7	6,0	7,0	6,8	69,40	119,40	2,382	2,291
D1-U	99,2 / 99,0	19,9	19,9	18,8	18,6	19,3	206,70	354,70	2,390	2,381
D1-T	99,1 / 99,1	10,2	9,2	10,2	10,9	10,1	106,80	184,60	2,366	2,361
A2-T	99,9 / 99,8	38,6	36,5	35,8	39,1	37,5	408,10	699,80	2,394	2,382
B2-T	99,4 / 99,2	34,7	35,2	34,5	33,8	34,6	378,50	647,20	2,404	2,418
C2-T	99,3 / 99,1	30,6	30,3	31,0	31,4	30,8	339,90	579,30	2,415	2,431
D2-T	99,0 / 99,4	32,0	32,4	33,3	32,8	32,6	357,60	611,90	2,401	2,426

M3 = Vekten av klossen når den er tørr
M1 = Vekten av klossen nedsenket i vann
M2 = Vekten av klossen i fuktig tilstand

**14.5623 Prøvens densitet; hydrostatisk overflatetørr**

NS-EN12697-6 Bituminøse masser. Prøvningsmetoder for varmblandet asfalt. Del 6: Bestemmelse av densitet av bituminøse prøvelegemer.

Temperatur i vannbadet:		20,1	Tetthet: 0,9983		Utført dato:	13.02.2017	Signatur:	Raymond Ur Helland				
Ev6 hp09 m5152 A1-D1. Alle er kappet topp												
Prøve ID	Diameter [mm]		Høyde kloss kappet [mm]			Vekt tørr M3 [g]	Vekt i vann M1 [g]	Vekt Hydr. overfl.tørr M2 [g]	Tetthet hydrostatisk [Mg/m3]	Tetthet måling [Mg/m3]		
A1	99,3	99,1	99,2	36,1	38,0	39,6	37,9	699,50	408,70	700,10	2,396	2,390
B1	99,2	99,1	99,1	34,8	35,3	35,0	34,9	647,10	378,80	647,40	2,405	2,403
C1	99,3	99,1	99,2	34,5	30,4	30,8	31,1	579,20	340,30	579,50	2,417	2,412
D1	99,1	99,2	99,2	32,3	33,2	33,6	33,0	611,80	357,90	612,20	2,402	2,403

M3 = Vekten av klossen når den er tørr
M1 = Vekten av klossen nedsenket i vann
M2 = Vekten av klossen i fuktig tilstand

Vedlegg 3 – Asfaltresept for de to veistrekningene som har blitt undersøkt i oppgaven



1111

Skanska Asfalt AS, Pb 789 Sentrum, 0106 Oslo

13

Nr. 17040913 CPR 2013.01.31

NS-EN 13108 - 5:2006/AC:2008

SMA 16 surf PmB Ska 16

Skjelettasfalt til slitelag på veger og andre trafikkarealer

Opplysninger om produktets vesentlige egenskaper: Se vedlagte ytelseserklæring

Side 1

YTELSESERKLÆRING NR. 17040913 CPR 2013.01.31

- | | |
|---|--|
| 1. Entydig identifikasjonskode for produkttypen | Bituminøse masser Skjelettasfalt SMA |
| 2. Type-, parti- eller serienummer eller en annen form for angivelse som muliggjør identifisering av byggevaren i samsvar med artikkel 11 nr. 4 | SMA 16 surf PmB Ska 16
Reseptnummer: 17040913 |
| 3. Produsentens tilsktede bruksområder for byggevaren, i samsvar med den relevante harmoniserte tekniske spesifikasjonen | Skjelettasfalt til slitelag på vegger og andre trafikkarealer |
| 4. Navn, registrert varemerke og kontaktadresse til produsenten i henhold til artikkel 11 nr. 5 | Skanska Asfalt AS, Postboks 789 Sentrum
0106 Oslo |
| 5. Navn og kontaktadresse til godkjent representant hvis mandat omfatter oppgavene angitt i artikkel 12 nr. 2 (om relevant) | Ikke relevant |
| 6. Det eller de systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse, som fastsatt i vedlegg V | System 2+. |
| 7. Dersom ytelseserklæringen gjelder en byggevare som omfattes av en harmonisert Standard | NS-EN 13108 - 5
Sertifiseringsorganet Kontrollrådet (1111) har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med system 2+ basert på første-gangsrevisjon av produksjonsanlegget og produksjonskontrollen. |
| 8. Angitt ytelse | Se neste side |
| 9. Ytelsen for varen som angitt i nr. 1 og 2, er i samsvar med ytelsen angitt i nr. 8
Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, som angitt i punkt nr. 4.
Undertegnet for og på vegne av produsenten av: | |

(navn og stilling)

Oslo 25.04.2017

Sted og utstedelsesdato

Underskrift

Side 2

H Harmonisert teknisk spesifikasjon: **NS-EN 13108 - 5:2006/AC:2008**

Vesentlige egenskaper		Ytelse
Hulrominnhold	Maksimum	V_{maks} 6,0
	Minimum	V_{min} 2,5
Bindemiddelinnhold:	Kategori	B_{min} 5,1
Bitumenfylt hulrom	Minimum	VFB_{min} 71
	Maksimum	VFB_{maks} 86
Massens temperatur		Maks. 180°C
Korngradering (gjennomgang):		
	22,4mm	100
	16,0 mm	94
	11,2 mm	Ikke tallfestet
	8,0 mm	39
	4,0 mm	Ikke tallfestet
	2,0 mm	21
	1,0 mm	Ikke tallfestet
	0,5 mm	Ikke tallfestet
	0,250 mm	12
	0,063 mm	9,0
Farlige stoffer		Ikke påvist
Motstand mot piggdekkslitasje		Ikke bestemt / NDP
Motstand mot permanente deformasjoner, Største proporsjonale spor dybde %		
	• Lite utstyr – metode B	PRD AIR 5 (3,3%)
Hulrom i steinmaterialene		Ikke bestemt / NDP
Egenskaper ved brannpåvirkning		Ikke bestemt / NDP
Affinitet mellom tilslag og bitumen NS-EN 12697-11 Dynamisk vedheft 72t		Durasplitt 44%

SKANSKA

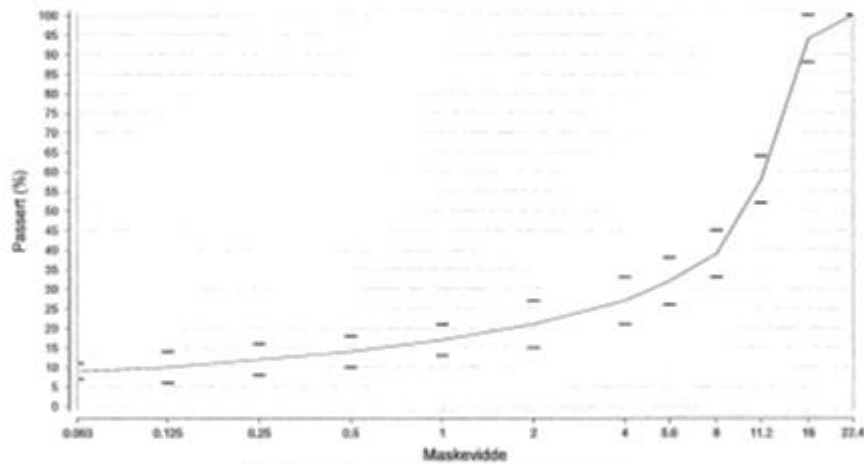
Arbeidsresept for bituminøse vegdekker og bærelag

Reseptnr. 17040913 Produksjonssted Filipstad 1111-12-0520
 Produktnavn Ska 16 Pmb Dekketype SMA 16 PMB Ska 16
 Reseptdato 31.01.2013 Asfaltleverandør Skanska Asfalt As

	Tilsiktet	Toleranse	Kompaktering	Marshall 2*50 slag
Bindemiddel (%)	5.6	0.4	Maks.densitet ρ_m (Mg/m ³)	2.501
Hulrom (%)	3.5	1.5	Romdensitet ρ_r (Mg/m ³)	2.423
Forbruk (kg/m ²)			Hulrom (%)	3.1
Massetemp prod. (°C)	160.0	20.0	Bitumenfylt hulrom (%)	80.0
Dekkets densitet ρ_c (Mg/m ³)	2.441		Stabilitet (N)	8039
Maks.teoretisk densitet $\rho_{m,teor}$ (Mg/m ³)	2.53		Flyt (mm)	3.8
Maks. vanninnhold (%)			Stab:Flyt (N/mm)	2116
			Ind. strekkst. (kPa)	

Bindemiddeltipe	PmB		
Gradbenevning	65/105-80	Produktnavn	Nypol 82

	μm				mm							
	63	125	250	500	1	2	4	5.6	8	11.2	16	22.4
Til	9.0	10.0	12.0	14.0	17.0	21.0	27.0	32.0	39.0	58.0	94.0	100.0
Til	2.0	4.0	4.0	4.0	4.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0



Tilleg	Forkomst	Dens.	F1	LA	Melle	Sort	Andel
Pukk	Duraspitt	2.77	15.0	15	7.0	11/16	46.0
Pukk	Duraspitt	2.77	20.0	15	7.0	8/11	19.0
Pukk	Duraspitt	2.77	20.0	15	7.0	5/8	5.0
Steinmel	Duraspitt	2.77	25.0	15	7.0	0/5	24.0
Fyller	Mjølkekalk	2.9				0/0.5	6.0

Tilsetningsstoff	Confalosefber	Mengde (% av bindem.)	5.0
Vedhefningsmiddel	Aeris	Mengde (% av bindem.)	0.4

Sted: Oslo Dato: 23.05.2013

Underskrift:

Fagregistre / Asfaltresepter / 15022503312

Asfaltresept								
Reseptnummer	15022503312				Reseptdato	15.01.2017		
Dekketype	AC 16 surf 70/100 Ab 16				Produktgruppe	Blanding med fint tilslag (<16mm)		
Produsent	PEAB Asfalt Norge AS				Signatur	Helene Olsrud		
Region	Region Øst				Produksjonssted	Jessheim		
Produktnavn					Tilslags sammensetning			
Godkjent dato	15.01.2017							
Tilslag								
	Tilslag	Forekomst	Densitet	Flisighet	Los Angeles	Molle	Sortering	Andel (%)
Del 1	Grus	Vilberg	2.67	0.0	20	10.0	0-4	34.0
Del 2	Pukk	Vilberg	2.67	15.0	20	10.0	4-8	10.0
Del 3	Pukk	Vilberg	2.67	15.0	20	10.0	8-11	14.0
Del 4	Pukk	Vilberg	2.67	10.0	20	10.0	11-16	25.0
Del 5	Pukk	Vilberg	2.67	0.0	0	0.0	0-11	10.0
Del 6	Filler	Franzefoss	2.72	0.0	0	0.0	Kalk	3.5
Del 7	Filler	Vilberg	2.76	0.0	0	10.0	Filler	3.5
Del 8								
Bindemiddel					Korngradering			
Bindemiddeltype	70/100				Maskevidde	Tilsiktet (%)	Toleranse (%)	
Merknad					22,4 mm	100.0	6.0	
Tilsetningsstoff					16 mm	97.8	6.0	
Mengde (% av bindemiddel)					11,2 mm	73.3	6.0	
Vedheftningsmiddel	Ad-here LOF				8 mm	58.1	6.0	
Mengde (% av bindemiddel)	0.3				4 mm	41.6	6.0	
					2 mm	32.0	6.0	
					1 mm	25.4	4.0	
Krav	Tilsiktet	Toleranse		500 µm	20.9	4.0		
Bindemiddel (%)	5.5	0.4		250 µm	16.3	4.0		
Hulrom (%)	3.5	1.5		125 µm	13.0	2.0		
Forbruk (kg/m ²)					63 µm	10.5	2.0	
Massetemp prod. (°C)	160.0				20.0			
Dekkets densitet ρ_b (Mg/m ³)	2.367							
Maksimumsdensitet (teoretisk) ρ_{mc} (Mg/m ³)	2.453							
Maks. vanninnhold (%)								
Proposjonering								
Kompaktering	Marshall 2*50 slag							
Maksimumsdensitet ρ_{mv} (Mg/m ³)								
Romdensitet ρ_b (Mg/m ³)	2.377							
Hulrom (%)	3.1							
Bitumenfylt hulrom (%)	80.8							
Stabilitet (N)								
Flyt (mm)								
Stab:Flyt (N/mm)								
Ind. strekkst. (kPa)								
<input type="button" value="Rapporter"/> <input type="button" value="Vedlegg"/>								

Vedlegg 4 – Isotopmålinger

Isotopmålinger PEAB ASFALT

Vei nr/Hp/Parsell:		Pkt13, FV 229/Fallet retn Ydersbotn		
hp1 6350 - hp1 13450				
Massetype:	Ab 16	Reseptnr:	15022503312	
Densitet (max):	2,453	Dato:	08.08.2017	
		Krav: 3,5%	2 til 5 %	
Km/Felt/m fra kant	Snitt dens	Densitet	Hulrom	Snitt
6380/1/1m	2,398	2,387	2,7	2,2
		2,417	1,5	
		2,401	2,1	
		2,388	2,6	
6380/2/1m	2,425	2,422	1,3	1,2
		2,421	1,3	
		2,426	1,1	
		2,429	1,0	
6840/1/1m	2,379	2,374	3,2	3,1
		2,383	2,9	
		2,383	2,9	
		2,375	3,2	
6840/2/1m	2,396	2,383	2,8	2,3
		2,398	2,2	
		2,394	2,4	
		2,407	1,9	
7340/1/1m	2,338	2,336	4,8	4,7
		2,332	4,9	
		2,337	4,7	
		2,346	4,3	
7340/2/1m	2,405	2,423	1,2	1,9
		2,417	1,5	
		2,386	2,7	
		2,395	2,3	
7815/1/1m	2,416	2,422	1,3	1,5
		2,424	1,2	
		2,416	1,5	
		2,401	2,1	
7815/2/1m	2,393	2,372	3,3	2,5
		2,397	2,3	
		2,411	1,7	
		2,390	2,6	
8350/1/1m	2,423	2,415	1,5	1,2
		2,425	1,1	
		2,426	1,1	

Isotopmålinger PEAB ASFALT

Vei nr/Hp/Parsell:	Pkt13, FV 229/Fallet retn Ydersbotn			
hp1 6350 - hp1 13450				
Massetype:	Ab 16	Reseptnr:	15022503312	
Densitet (max):	2,453	Dato:	08.08.2017	
		Krav: 3,5%	2 til 5 %	
Km/Felt/m fra kant	Snitt dens	Densitet	Hulrom	Snitt
8350/2/1m	2,418	2,415	1,6	1,5
		2,426	1,1	
		2,422	1,3	
		2,408	1,8	
8850/1/1m	2,420	2,428	1,0	1,3
		2,413	1,6	
		2,426	1,1	
8850/2/1m	2,356	2,414	1,6	4,0
		2,357	3,9	
		2,364	3,6	
		2,353	4,1	
9330/1/1m	2,375	2,348	4,3	3,2
		2,366	3,5	
		2,388	2,7	
		2,380	3,0	
9330/2/1m	2,388	2,365	3,6	2,7
		2,388	2,6	
		2,396	2,3	
		2,376	3,2	
9930/1/1m	2,419	2,390	2,6	1,4
		2,418	1,4	
		2,429	1	
		2,413	1,6	
9930/2/1m	2,406	2,414	1,5	1,9
		2,396	2,3	
		2,414	1,6	
		2,409	1,8	
10490/1/1m	2,396	2,404	2,0	2,3
		2,379	3,0	
		2,402	2,1	
		2,396	2,3	
10490/2/1m	2,371	2,407	1,9	3,3
		2,381	2,9	
		2,378	3,0	
		2,365	3,5	

Isotopmålinger PEAB ASFALT

Vei nr/Hp/Parsell:		Pkt13, FV 229/Fallet retn Ydersbotn		
hp1 6350 - hp1 13450				
Massetype:	Ab 16	Reseptnr:	15022503312	
Densitet (max):	2,453	Dato:	08.08.2017	
		Krav: 3,5%	2 til 5 %	
Km/Felt/m fra kant	Snitt dens	Densitet	Hulrom	Snitt
11060/1/1m	2,414	2,405	1,9	1,6
		2,421	1,3	
		2,413	1,6	
		2,418	1,4	
11060/2/1m	2,398	2,390	2,6	2,2
		2,412	1,7	
		2,386	2,7	
		2,405	1,9	
11530/1/1m	2,403	2,411	1,7	2,0
		2,405	1,9	
		2,404	2,0	
		2,393	2,4	
11530/2/1m	2,393	2,392	2,5	2,5
		2,402	2,1	
		2,390	2,6	
		2,386	2,8	
12020/1/1m	2,402	2,412	1,7	2,1
		2,398	2,3	
		2,396	2,3	
		2,402	2,1	
12020/2/1m	2,413	2,418	1,4	1,7
		2,427	1,1	
		2,403	2	
		2,402	2,1	
12480/1/1m	2,409	2,412	1,7	1,8
		2,415	1,5	
		2,405	1,9	
		2,403	2,0	
12480/2/1m	2,399	2,403	2,1	2,2
		2,416	1,5	
		2,391	2,5	
		2,385	2,8	
13000/1/1m	2,403	2,401	2,1	2,0
		2,403	2,0	
		2,401	2,1	

Statens vegvesen		Samlestatistikk asfalt				Region Øst				
Oppdrag	1170149 E6 hp 9 m4750 - hp 9 m6000 kjf 2 Grankryset over Leira bru	Reseptnr.	17040913	Entreprenør	Skanska Asfalt As					
Vegprosjekt	105604 Asfaltkontroll	Tol sett	surf T1 > 80 kg (Hb018)	Asfaltleverandør						
Kontrakt/pkt	1-02-2017-03 / 04	Dekketype	SMA 16 PMB Ska 16	Kunde	Dekkepr.					
Kategori/Serie	Oppdmr.	Pr.nr.	Dato	Vegnr	Steerskode	HP	Meter	Feltnr	Øvre	Hullrom
	1170149	3 _(B)	20.06.2017	E/V6		9	5100.0	F2	Prfnedre	5.0
	1170149	4 _(B)	20.06.2017	E/V6		9	5300.0	F2		7.1 ¹⁾
	1170149	5 _(B)	20.06.2017	E/V6		9	5500.0	F2		5.9 ¹⁾
	1170149	6 _(B)	20.06.2017	E/V6		9	5700.0	F2		6.9 ¹⁾
	1170149	7 _(B)	20.06.2017	E/V6		9	5862.0	F2		8.7 ¹⁾
	1170149	8 _(B)	20.06.2017	E/V6		9	5899.0	F2		5.9 ¹⁾
	1170149	9 _(B)	20.06.2017	E/V6		9	5900.0	F2		8.2 ¹⁾
	1170149	10 _(B)	20.06.2017	E/V6		9	5960.0	F2		6.1 ¹⁾
	1170149	11 _(B)	20.06.2017	E/V6		9	5960.0	F2		4.6 ¹⁾
	1170149	12 _(B)	20.06.2017	E/V6		9	6000.0	F2		8.6 ¹⁾
										9.5 ¹⁾

1) Hullrom beregnet fra dekketjennsmåling: $V_m (D_m - P_m)$