

Vegteknologi

Hulromsmåling med georadar på Fv862 Hp01 og Hp54 i Tromsø

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 497



Tittel

Vegteknologi

Undertittel

Hulromsmåling med georadar på Fv862 Hp1 og Hp54

Forfatter

Kåre Nygård

Avdeling

Vegavdeling Troms

Seksjon

Drift og vedlikehold

Prosjektnummer

504277

Rapportnummer

Nr. 497

Prosjektleder

Knut Øvervoll

Godkjent av

Geir Berntsen og Asbjørn Arnevik

Emneord

Asfalt, Georadar (GPR), hulrom

Sammendrag

Georadar blir benyttet til kvalitetskontroll av hulrom i asfaltdekker, både i Sverige og Finland. Metoden er også forsøkt i Norge i Region øst og i Region midt med tilfredsstillende resultater.

På bakgrunn av dette har arbeidsgruppen for Veiledninger i arbeidet med nye Vegnormaler bedt om en rapport fra forsøksstrekningene i Troms.

Title

Highway Engineering

Subtitle

Measurements of the air void content with georadar at Fv862 Hp1 and Hp54

Author

Kåre Nygård

Department

Roads Department Troms

Section

Road Operations and Maintenance

Project number

504277

Report number

No. 497

Project manager

Knut Øvervoll

Approved by

Geir Berntsen and Asbjørn Arnevik

Key words

Asphalt, Georadar (GPR), Air Void content

Summary

Georadar is used for quality control of air void content of asphalt pavements, both in Sweden and Finland. The method has also been used in NPRA Eastern Region and NPRA Central Region in Norway with satisfactory results.

Based on this, the Working Group for Guidance in the work of the new NPRA Guidelines has requested a report from the trials in Troms.

Forord

I 2016 gjorde Statens vegvesen forsøk på bruk av Georadar (GPR) til hulromsmåling av asfaltdekker som en ikke destruktiv metode. Det ble gjort forsøk i to tunneler i Tromsø. Målingene ble utført av Roadscanners OY fra Rovaniemi i Finland.

Målingene ble gjennomført på Fv862 Hp1 Breiviktunnelen og Fv862 Hp54 Langnestunnelen.

Bakgrunnen var at målinger som entreprenør utførte med isotopmåler, ikke var spesielt tillitvekkende. Borkjerner av asfaltdekket ble undersøkt av entreprenør med hensyn til densitet og hulrom. Disse sto ikke i forhold til isotopmålingene hvor to av målingene viste at hulrom målt med hydrostatisk overflatetørr metode var 78 og 59 % lavere enn målinger med isotopmåler.

Byggherre ville derfor sjekke at målinger var pålitelig og engasjerte Roadscanners OY til ekstern måling med georadar (GPR) for å få et konsistent og flatedekkende måleresultat.

GPR teknologien benytter seg av bølger med elektromagnetiske radiofrekvenser (EM-), hvor frekvensen varierer mellom 30 –3000 MHz. Innenfor dette frekvensområdet kan EM-bølger forplante seg i gjennom et materiale med lav elektrisk ledningsevne. De fysiske parametere som innvirker er ledningsevne, dielektriske verdi og den magnetisk følsomhet i materialet.

De erfaringer som beskrives i denne rapporten må sees i lys av ovennevnte. Det er viktig å være varsom med å overføre erfaringer beskrevet i denne rapporten til andre kontraktsforhold og andre kontraktsområder.

Statens vegvesen, Region nord
26.01.2018

Innholdsfortegnelse

Forord	0
Erfaringer	2
1. Generelt.....	2
2. Metoden	2
2.1 Prinsipp for GPR tolkning.....	4
2.2. Måleprinsipp.....	7
2.3 Beregning av hulromsinnhold	8
3. Bakgrunn	9
3.1 Strekning 1: Breiviktunnelen	9
3.2 Strekning 2: Langnestunnelen.....	9
4. Teststrekningene	10
5. Gjennomføringsfasen.....	10
5.1 Strekning 1: Breiviktunnelen	10
5.2 Strekning 2: Langnestunnelen.....	14
6. Måledata	15
6.1 Strekning 1: Breiviktunnelen	15
6.2 Strekning 2, Langnestunnelen.....	17
7. Konklusjon og anbefalinger.....	18
7. Referanseliste:	19
8. Vedlegg:	20

Erfaringer

1. Generelt

Dette er det første forsøket knyttet til Asfaltarbeider utformet av Statens vegvesen og inngått kontrakt med en privat aktør hvor hulromsmåling er gjennomført med GPR på utvalgte punkter. Byggherre sto for ansvaret for kontrahering og gjennomføring av målingene. Det ble inngått et samarbeid med Roadscanners Oy fra Rovaniemi i Finland.

Hulromsinholdet i asfaltdekker angir et mål på dekkets kvalitet. Måling av hulromsinhold med GPR utføres normal med en hastighet på 50–60 km/h.

Målingen utføres i tre målelinjer, en måling i hvert av hjulsporene og en måling i mellom hjulsporene. Målingene må utføres tidligst en uke etter ferdigstillelse og senest 30 dager etter ferdigstillelse. Målingene tas fortløpende med 5 m distanse fra foregående måling.

Etterfølgende år ble ansvaret for slik hulromsmåling overlatt til asfaltentreprenører, som kontraherte tilbydere med kompetanse og utstyr for slike målinger. Resultatet av dette forsøket viser at kompetanse og forståelse innen bransjen er ulik og ikke tilfredsstillende.

2. Metoden

Metodebeskrivelsen inneholder teori og grunnleggende prinsipper for måleteknikken og beregninger. Metoden ble foreslått av Saarenketo og Roimela tilbake i 1998 og er siden blitt utviklet i takt med den tekniske utviklingen på datafronten.

GPR er i likhet med andre indikasjonsmålere en ikke destruktiv metode for bestemmelse av hulrom etter asfaltering. Det oppnås et flatedekkende resultat som lett kan plottes, i motsetning til punktspesifikke måleresultater som f.eks. PQI og isotopmålere gir. Det er også en fordel ved at det ikke befinner seg personell ute i vegbanen under måling som er en HMS-gevinst som vanskelig kan prissettes.

GPR-hardware utstyr kan deles inn i to kategorier; impulsradar og trappet frekvensradar. Impulsradar er den mest vanlige innenfor GPR. Den fungerer ved at en puls generert i en senderantenne sendes inn i materialet. Pulsens lengde er fra under et nanosekund opp til ti nanosekunder, avhengig av frekvensen. Ved forplanting i vegoverbygningen, reflekteres en del av pulsenergien fra overflater av materialer med ulike elektriske egenskaper. Et GPR-system registrerer toveis reisetid og amplituder av signalrefleksjoner som en funksjon av reisetiden. En georadar benytter to antenner for å sende ut- og motta elektromagnetiske signaler med en båndbredde i radiospektret.

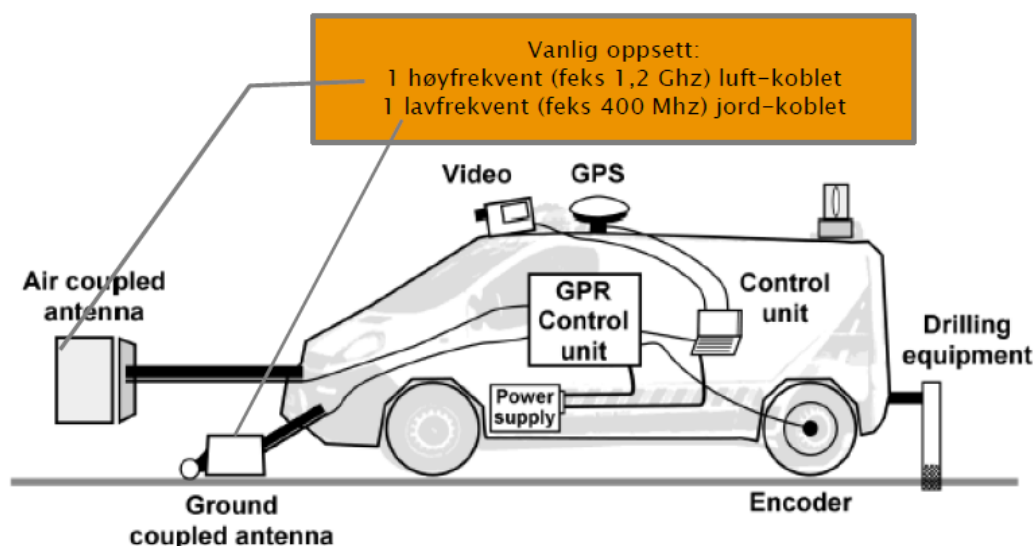
Elektromagnetiske signal sendes fra senderantennen ned i materialet som skal undersøkes, og ved forandringer i materialets elektriske egenskaper vil noen av signalene reflekteres og registreres av mottakerantennen. Egenskapen som hovedsakelig påvirker hvordan signalene

sprer seg i materialet er den dielektriske verdien. For eksempel vil overgangen mellom slitelag og bærelag i vegkonstruksjonen være en sone med ulik dielektrisk verdi. Denne sonen mellom materialene kalles grensesnitt. I dette grensesnittet vil noen av de elektromagnetiske signalene reflekteres.

Den dielektriske verdien beskriver materialets evne til å lade eller polarisere ladninger i et elektrisk felt. Flere elementer kan ha innvirkning på den dielektriske verdien, men det viktigste elementet i molekylærpolarisering er vannmolekylet. Den dielektriske verdien avhenger hvor mye fritt vann det er i materialet. Et materiale med mye fritt vann kan bli ti ganger høyere enn den dielektriske verdien av tørre materialer. Måling av verdien til asfalt avhenger derfor av volumer av andre komponenter i asfalten og kompakteringsgraden.

GPR-metodens styrke er at denne formen for hulromsmåling ikke er en destruktiv målemetode. Det kreves bare tre borkjerner og at hulrom kan beregnes med f.eks. hydrostatisk overflatetørr metode slik at kalibrering av GPR-utrustningen kan gjennomføres.

Utstyret som ble benyttet var GSSI SIR-30 med 1,0 GHz hornantenne og med softwaren Road Doctor 3.



Figur 1.: Typisk utrustning for GPR måling (Roadscanners OY)

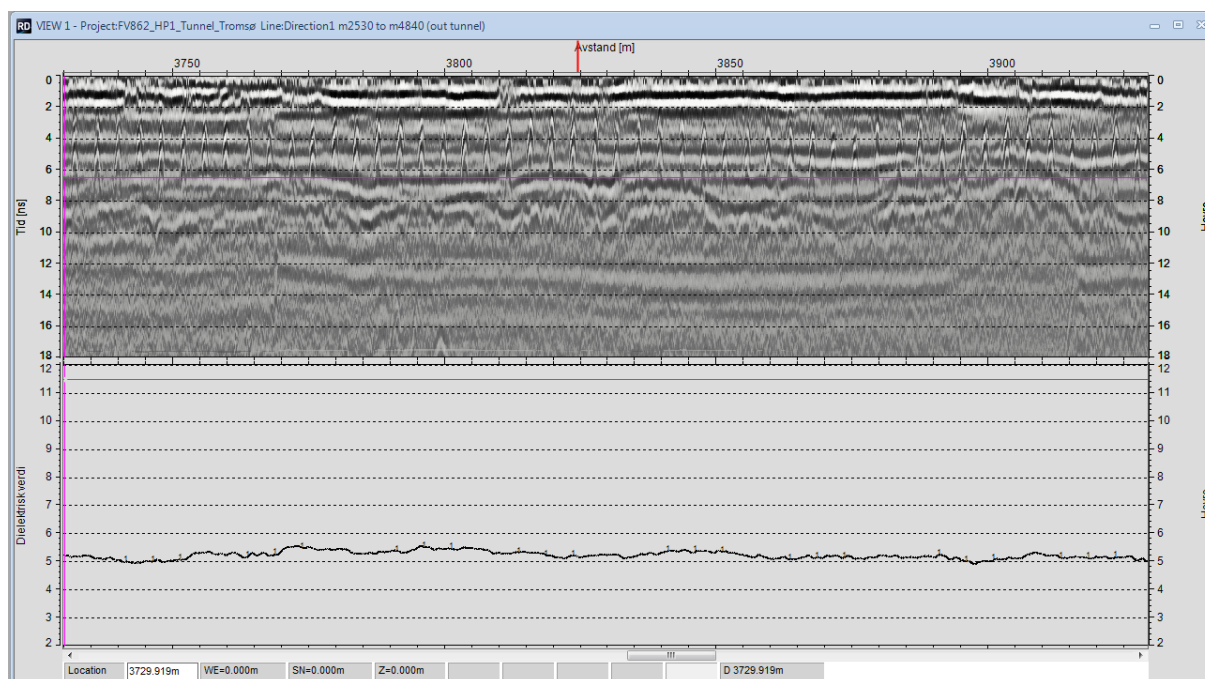
2.1 Prinsipp for GPR tolkning

Tolking av rådata fra georadar for å bestemme lagtykkelser og hulromsandeler i vegdekket forklares litt grundig i dette kapitlet (Jfr. MaraNord “Recommendation for guidelines for the use of GPR in asphalt air voids content measurement” og Trafikverket “VVMB 118 – Måting av hålrumsinhalt hos asfaltbelaggingar med georadarmetoden”).

Et typisk reflektor bilde av utskriften er vist i figur 2, der x-aksen er lengderetning i meter på vegstrekningen som er undersøkt, og y-aksen viser dybden til signalet i nanosekunder. Under reflektorbildet vises den dielektriske verdien på materialet som er undersøkt.

Den nyere historien til bruk av georadar viser en rivende utvikling etter at FHWA i USA testet brukbarheten til metoden i tunnel- og bruanalyser. Mot slutten av 1990-tallet ble det undersøkt nytten av georadaranalyser for å bestemme fuktighet i materialer og hulromsandeler i vegkonstruksjoner.

I Finland ble metoden også innført som et supplement til konvensjonelle metoder for tilstandsanalyser av veger, hovedsakelig for å bestemme lagdeler og lagtykkelser.



Figur 2.: Radarprofil målt med luftkølet antenne og individuell puls. Profilet har refleksjoner fra flere grensesnitt med forskjellige dielektriske egenskaper.

Bestemmelse av dielektrisk verdi kan gjøres med håndholdte instrumenter som f.eks Percometer H-4112.

I forkant av GPR-målingene, skal man skanne en metallplate av kopper for å få amplituden til det elektromagnetiske refleksjonssignalet fra platen. Kopper er en perfekt elektromagnetisk reflektor. Når et GPR signal sprer seg fra et materiale til et annet og den dielektriske verdien er ulik, f.eks. ϵ_1 og ϵ_2 , og når $\epsilon_1 < \epsilon_2$, så vil refleksjonskoeffisienten være

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}}$$

Refleksjonskoeffisienten angir hvor mye radarenergi som reflekteres i grensesnittet. Er det store ulikheter i den dielektriske verdien mellom to lag, så vil energien være høyere og flere signaler finner veien opp til mottakerantenne.

Nedtrenging i materialet avhenger av hvilken antennefrekvens (signalets bølgelengde) som er brukt. Et ledende materiale resulterer i en økning i energimengden som spres i materialet, ettersom bølgelengden blir kortere. På samme måte blir dybden på nedtrengingen mindre når frekvensen øker. Oppløsningen (hvor tett grensesnittene er i forhold til hverandre) blir også bedre når den dielektriske verdien øker. Den vertikale oppløsning på pulsen kan kalkuleres ut fra:

$$h = \frac{\tau \cdot c}{2 \cdot \sqrt{\epsilon_r}}$$

hvor

C = lysets hastighet i vakuum (0,3 m/ns)

τ = bølgelengden (nm)

ϵ_r = materialets relative dielektriske verdi

Dybden til et observert grensesnitt kan beregnes ut fra:

$$s = v \cdot t = \frac{0,5 \cdot twt \cdot c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

hvor

twt = tid som bølge bruker begge veier

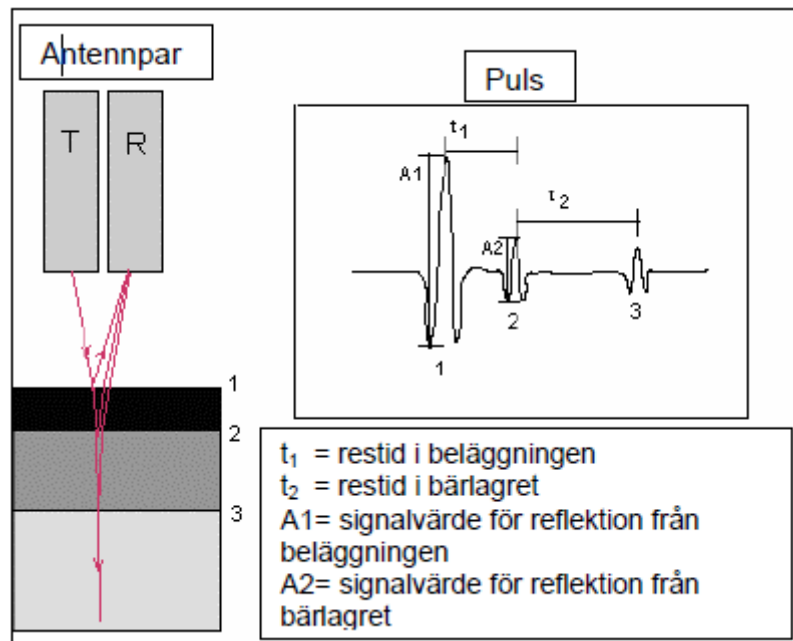
Der vanlig radar måler effekten i det reflekterte signalet, så måler georadaren spenningen som benyttes til å plote ut amplitudetoppene til signalet.

Eksempel på dielektriske verdier for noen av materialer benyttet i vegbygging:

Materiale	Dielektrisk verdi
Luft	1
Ferskvann	81
Is	4
Sand	4-6
Grus	4-7
Asfalt/bituminøse masser	4-8
Betong	8-10
Berggrunn (granitt)	5-7
Torv (naturlig)	60
Torv (under vei)	40
Silt	16-30
Morenematerialer	8-18
Grus i slitelag	12-14
Knust bærelag	6-8
Bitumenbundet bærelag	6-7
Sementbundet bærelag	8-10
Isolasjonsmaterialer	2-2,5
Veikonstruksjoner midlet (ny/tørr)	5
Veikonstruksjoner midlet (normale)	6
Veikonstruksjoner midlet (våt)	7-8
Grus i veikonstruksjoner midlet	7-9
Frosne veikonstruksjoner (normale)	5
Frosne veikonstruksjoner (våte/gamle)	6

Figur 3: Oversikt over materialer med typisk dielektrisk verdi

2.2. Måleprinsipp



Figur 4: Virkemete for hornantenne

Denne metoden måler hulrom indirekte i asfaltdekker. Mindre hulromsinnhold i dekket gir et redusert volum av luft med lav dielektrisk verdi og en økning av volumandelen bitumen og steinmateriale med høy dielektrisk verdi.

Måleresultater kan bli påvirket av fritt vann på/i vegdekket. Målingene bør utføres i tørrværsperioder på grunn av denne vannfølsomheten.

Den relative dielektriske verdien hos dekket kan beregnes ved å bruke følgende formel:

$$\epsilon_a = \left(\frac{1 + A_a / A_m}{1 - A_a / A_m} \right)^2$$

Hvor

A_a = signalverdi for en refleksjon fra det øverste asfaltlaget

A_m = signalverdi for refleksjon fra metallplaten

Før måling skal antenneutrustning varmes opp. Tid for oppvarming bestemmes av den årlige kalibreringen av antennene men vanligvis vil det medgå 20–30 minutter. Utstyret skal dessuten kalibreres før og etter måling mot metallplaten. Målefrekvensen skal være minimum 10 målepulser per meter. Måletiden skal være på 20 nanosekund.

Det skal benyttes GPS for å bestemme start og sluttposisjon. Det bør ikke benyttes stroboskopllys under målingen. Stroboskopllys kan påvirke måleresultater.

2.3 Beregning av hulromsinnhold

Borkjerner skal analyseres med hensyn til densitet og hulromsinnhold. Fortrinnsvis benyttes metoden hydrostatisk overflatetørr metode.

Ved å sammenligne verdiene fra referanseprøvene og den respektive dielektriske verdi kan en kalibreringskonstant bestemmes for å beregne av hulromsinnholdet i dekket.

Kalibreringskonstanten K er middelerdi av $K_{(i)}$ beregnet med denne formelen:

$$K_{(i)} = \frac{\ln(272,93) - \ln(\bar{H})}{1,3012 \cdot \varepsilon_m}$$

Hvor

i = indeks for individuell teststed hvor borkjerner tas

\bar{H} = middelerdi av de tre borkjernerenes individuelle hulromsinnhold på samme testplass bestemt med laboratorieundersøkelse

ε_m = middelerdi av den oppmålte dielektriske verdi beregnet over en meter for de respektive testplasser der borkjerner er tatt ut.

Deretter kan hulromsinnholdet ($Y_{(i)}$) beregnes for hele målelinjen ved hjelp av denne formelen:

$$Y_{(i)} = 272,93 \cdot e^{-1,3012 \bar{K} \cdot \bar{z}}$$

Hvor

\bar{K} = middelerdi av kalibreringskonstantene fra samtlige testplasser der borkjerner er tatt ut

\bar{z} = middelerdi av de av georadarens oppmålte verdier beregnet over en meter for de respektive testplasser der borkjerner er tatt ut.

Hulromsberegning i laboratorium utføres etter standardisert metode (Hydrostatisk overflatetørr) gitt i NS-EN 12697-6 Prosedyre B

3. Bakgrunn

Statens vegvesen sliter med å oppnå normert dekkelevetid på flere strekninger i og rundt Tromsø. Dette kan skyldes mange faktorer; mange strekninger er smale og gir en stor grad av kanalisering av trafikkmønsteret, asfaltreseptene er ikke optimalisert med hensyn til deformasjonsegenskaper og krav gitt i vegnormalene N200, relativ høy årsdøgntrafikk (ÅDT) på veger hvor det er registrert lav piggfriandel på kjøretøy (13% i 2016). Det kan også være av betydning at Tromsø er endepunktet for bruk av modulvogntog (25,25m og 60 tonn)

Statens vegvesen valgte bevisst ut strekninger som ikke var påkjent av nedbør.

3.1 Strekning 1: Breiviktunnelen

Den første strekningen var en tunnelstrekning på Fv862 Hp 1 fra m2530 – m4840. Lengden 2310 meter og en veibredde på 6,6 m med banketter på 75 cm på hver side. Årsdøgntrafikk (ÅDT) var på 7200 i 2016. Tunnelen ble åpnet for trafikk i 1992. Den hadde de første årene et betongdekke som senere er traufrest og reasfaltert med Ab- og Ska- dekker. Underliggende lag (bærelag) er betongdekke. Transportlengde fra asfaltfabrikk til leggeparsell er 3,2 km.

Konkurransesgrunnlaget ble utformet i januar 2016. For pkt. 07A Breiviktunnelen i kontrakten, ble det forsøkt å sette krav til deformasjonsegenskapene til asfaltmaterialet. Entreprenør fikk anledning til å velge type asfaltdekke/resept som de mente var mest egnet for utførelse, samt deklarerer av Wheel Track-resultater før arbeidet kunne utføres.

3.2 Strekning 2: Langnestunnelen

Den neste strekningen som ble valgt var Fv862 Hp54 fra m4 – m1727. Lengden 1723 meter og en veibredde på 6,9 m med banketter på hver side på 75 cm. ÅDT var på 15200. Det ble gjort forsøk med to typer dekke på strekningen. Kjørefelt 1 har Ska16 PMB (75/130-60) mens kjørefelt 2 har Ska16 70/100. Transportlengde fra fabrikk til leggeparsell er 5,6 km.

4. Teststrekningene



Figur 5: Kart over Tromsø med teststrekninger

5. Gjennomføringsfasen

5.1 Strekning 1: Breiviktunnelen:

Dekkeleggingen ble startet 12.mai 2016. Etter at byggherre fikk presentert densitetsmålinger fra entreprenør hvor det var divergens mellom både isotopmåler (Seaman 300) og borkjerner som var analysert av entreprenør, ble det tatt en beslutning om gjennomføring med georadarmåling. Entreprenør valgte en standard skjelettasfalt (Ska16 10G) basert på penetrasjonsbindemiddel 70/100 ut fra WT forsøk gjort på deres laboratorium (lab tillaget prøve). Steinmaterialet var Dura-Splitt fra NorStone og miljøkalk som filler. I tillegg ble det benyttet eget asfaltgranulat fra Tromsø.

En kan anta at kort transportlengde med minimalt temperaturfall og for liten kontroll med kompaktering kan være årsaken til lavt hulrom.

I kontraktene står følgende i D1 2.4.29 Komprimering: «Ved legging av massetypene Ska og Ab skal det for kontraktpunkter på 300 tonn eller mer benyttes minst to valser med minimum 6 tonns totalvekt. Liten dekketykkelse eller andre spesielle forhold kan imidlertid tilsa at bruk av en vals er tilstrekkelig. Dette skal i så fall avklares med byggherren på forhånd»

Med betong som bærelag, kan det fort skje at det blir valset for mye. Det kreves at entreprenør har god kontroll på temperaturgradient før valsing startes.

Tilsiktete resultater i asfaltresepten var en Rice på 2,549 Mg/m³, hulrom 3,2 volumprosent og bitumenfylt hulrom på 81,6 prosent.

Følgende målinger ble foretatt umiddelbart etter dekkelegging:

Kj.felt	Km	Målt densitet	Hulrom (%)	Borkjerner
2	4.825	2.349	6,8	
"	4.530	2,421	3,93	
"	4.492	2,48	1,59	
"	4.340	2,396	4,92	
"	3.905	2,321	7,9	boret: 1,7%
"	3.457	2,399	4,8	
"	2.844	2,427	3,69	
1	4.800	2,381	5,52	
"	4.353	2,452	2,7	
"	3.865	2,337	7,26	
"	3.400	2,349	6,79	
"	2.871	2,433	3,45	
"	4.036	2,265	10,12	boret: 4,1%

Figur 6: Måledata fra Entreprenørs egenkontroll.

Entreprenør foretok et nytt uttak av kjerneprøver, som ble analysert med resultat som vist under.

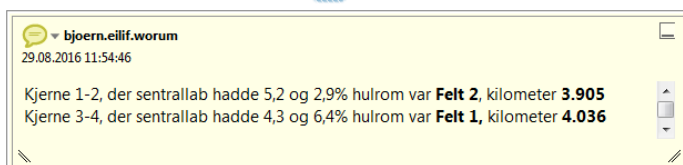
Lemminkäinen

Hulromskontroll Pkt 7 - Breivikatunnelen

Massetype: Ska 16 10G (16331083)
Borkjerner: 100mm

Uttaksdato: 10.05.2016

Prøve	Høyde	Densitet, ρ_D , hydr.overfl.tørr	Rice density	Hulrom, hydr.overfl.tørr
	mm	g/cm ³	g/cm ³	%
1	38,2	2,414	2,547	5,2
2	38,5	2,460	2,534	2,9
3	39,0	2,460	2,570	4,3
4	35,5	2,400	2,564	6,4



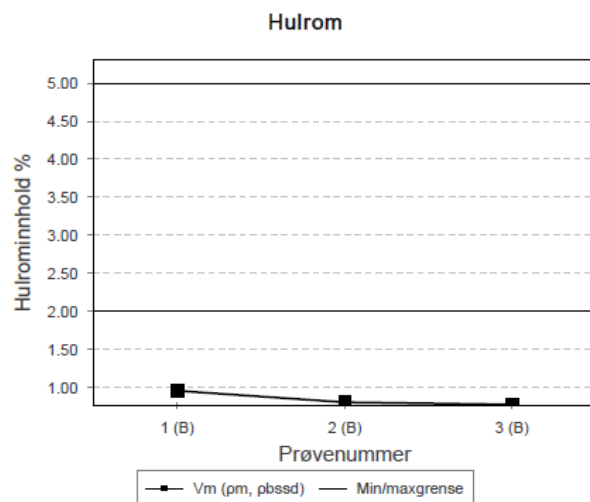
Fjellhamar 13.07.2016

Figur 7.: Laboratorieresultat hulromsanalyse Lemminkäinen

Toleranser er gitt i Vegnormalene, Håndbok N200. Analyseresultater fra Statens vegvesens laboratorium i Nordkjosbotn gav disse resultatene, som også ble benyttet for kalibrering av GPR mot metallplate (kopper).

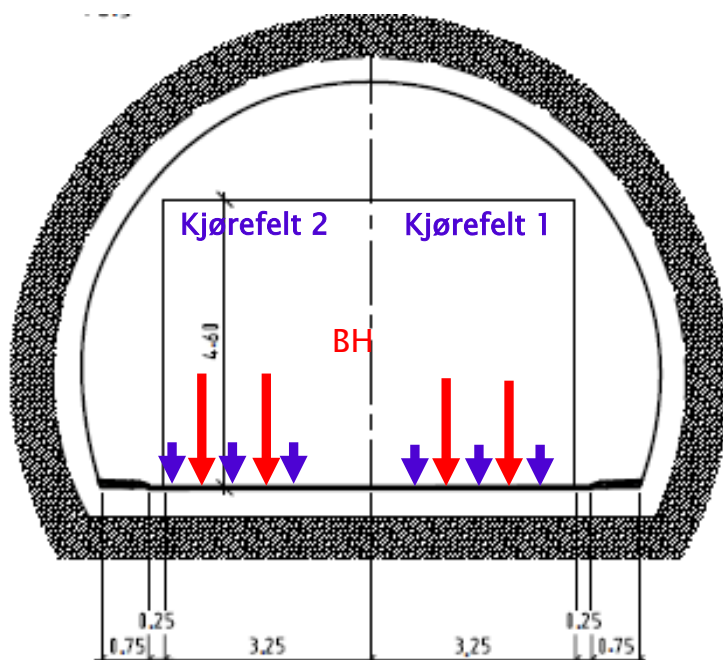
Pr.nr.	Ø mm	Filler	Bindem.	Temp.	Hulrom	Utf.dato	Meter/profil
1(B)					1.0	27.05.2016	2447.0
2(B)					0.8	27.05.2016	3770.0
3(B)					0.8	27.05.2016	4040.0

1) Hulrom beregnet fra dekketetthetsmåling: $V_m (\rho_m, \rho_{bv})$



Figur 8: Hulromsanalyse Statens vegvesen

Statens vegvesen besluttet å gjennomføre målinger i tre målelinjer i hvert kjørefelt, borkjerneprøver ble tatt ut mellom hver av målestrekningene i profilet som vist på figur 9.



Figur 9: Tunnelverrsnitt

Bonus-Trekk for Wheel Track, spordybde i % av prøvetykkelse					
ÅDT	< 1500	1501-3000	3001-5000	5001-10000	> 10000
Maks spor krav N 200		20	12	7	5
Bonus 9 kr/m ²		< 4,0	< 2,4	< 1,4	< 1,0
Bonus 6 kr/m ²		4,0 – 8,0	2,4 – 4,8	1,4 – 2,8	1,0 – 2,0
Bonus 3 kr/m ²		8,1 – 12,0	4,9 – 7,2	2,9 – 4,2	2,1 – 3,0
Ikke bonus-trekk		12,1 – 28,0	7,3 – 16,8	4,3 – 9,8	3,1 – 7,0
Trekk 6 kr/m ²		> 28,0	> 16,8	> 9,8	> 7,0

Figur 10: Kravmodul for deformasjonsegenskaper i 2016

Wheel Track-analyser ble utført ved Statens vegvesens sentrallaboratorium i Trondheim, og de viste PRD_{AIR} med et snitt på 9,2% av 4 paralleller. Dette medførte hverken bonusutbetaling eller trekk mht. deformasjonsegenskaper.

5.2 Strekning 2: Langnestunnelen

Strekning 2, Langnestunnelen, ble valgt ut fra sporutvikling og behov for tiltak. Strekingen skulle dekkelegges i kjørefelt 2 med standard Ska16 10G hvor tilsiktet hulrom skulle være 3,5vol-% og tilsiktet bindemiddelinhold 5,8 vekt-%.

Kjørefelt 1 skulle dekkelegges med Ska16 PMB. Valgt bindemiddel var 75/130 – 60, tilsiktet hulrom 3,5 vol-% og tilsiktet bindemiddelinhold 5,8 vekt-%.

GPR-målingene ble gjennomført ca. 3 uker etter dekkelegging.

Statens vegvesen										Region Nord	
Samlestatistikk asfalt											
Oppdrag	5160128 Fv. 862-Hp54 Langnestunell-RK Workintunet				Reseptnr.	16331085		Entreprenør	Lemminkäinen Norge AS		
Vegprosjekt	501572 Byggherre Dekkelegging 55340				Tol.sett	surf T1 > 80 kg (Hb018)		Asfalleverandør	Lemminkäinen Norge AS		
Kontrakt/pkt	5-19-2016-02 / Eks				Dekketype	SMA 16 PMB Ska 16		Kunde			
Kategori/Serie										Hulrom	
Oppdmr.	Pr.nr.	Dato	Vegnr	Stedskode	HP	Meter	Feltnr	Øvre	5,0		
5160128	4 _{B1}	10.10.2016	FV862		54	388,0	F1	Pr/nedre	2,0		
									1,9		
1) Hulrom beregnet fra dekketethetsmåling: V_v (ρ_{in} , ρ_{sk})											

Statens vegvesen										Region Nord	
Samlestatistikk asfalt											
Oppdrag	5160128 Fv. 862-Hp54 Langnestunell-RK Workintunet				Reseptnr.	16331082		Entreprenør	Lemminkäinen Norge AS		
Vegprosjekt	501572 Byggherre Dekkelegging 55340				Tol.sett	surf T1 > 80 kg (Hb018)		Asfalleverandør	Lemminkäinen Norge AS		
Kontrakt/pkt	5-19-2016-02 / Eks				Dekketype	SMA 16 70/100 Ska 16		Kunde			
Kategori/Serie										Hulrom	
Oppdmr.	Pr.nr.	Dato	Vegnr	Stedskode	HP	Meter	Feltnr	Øvre	5,0		
5160128	4 _{B1}	10.10.2016	FV862		54	388,0	F2	Pr/nedre	2,0		
									1,3		
1) Hulrom beregnet fra dekketethetsmåling: V_v (ρ_{in} , ρ_{sk})											

Figur 11: Hulromsanalyser fra SVV lab.

Hulrom borkjerner Langnestunnelen

Borkjerner 100mm kappet i bunn

Prøve	Massetype	Høyde (etter saging)	Densitet, ρ_D , hydr.overfl.tørr	Rice density	Hulrom, hydr.overfl.tørr
		mm	g/cm ³	g/cm ³	%
1	Ska 16 (16331082)	35,8	2,464	2,501	1,5
2	Ska 16 (16331082)	38,0	2,445	2,490	1,8
3	Ska 16 PMB (16331085)	49,0	2,433	2,492	2,4
4	Ska 16 PMB (16331085)	50,0	2,421	2,491	2,8

Fjellhamar 19.10.2016

Figur 12: Hulromsanalyser fra entreprenørs lab

6. Måledata

6.1 Strekning 1: Breiviktunnelen

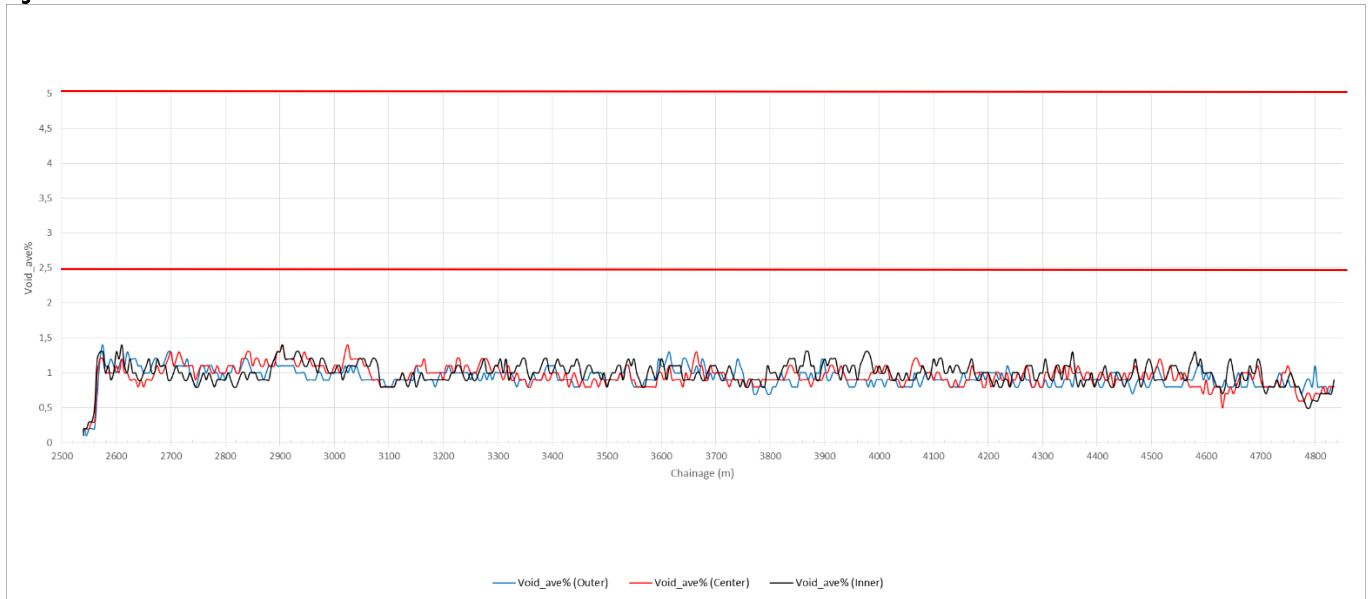
Vedlegg 1 viser måledata fra Breiviktunnelen.

Toleranser for komprimering er gitt i N200 fig. 631.4. For Ska > 80 kg/m² så skal hulromsprosent for enkeltprøver være mellom 2 og 5, som middel av 5 prøver skal hulromsprosent ligge mellom 2 og 4,5 for slitelag.

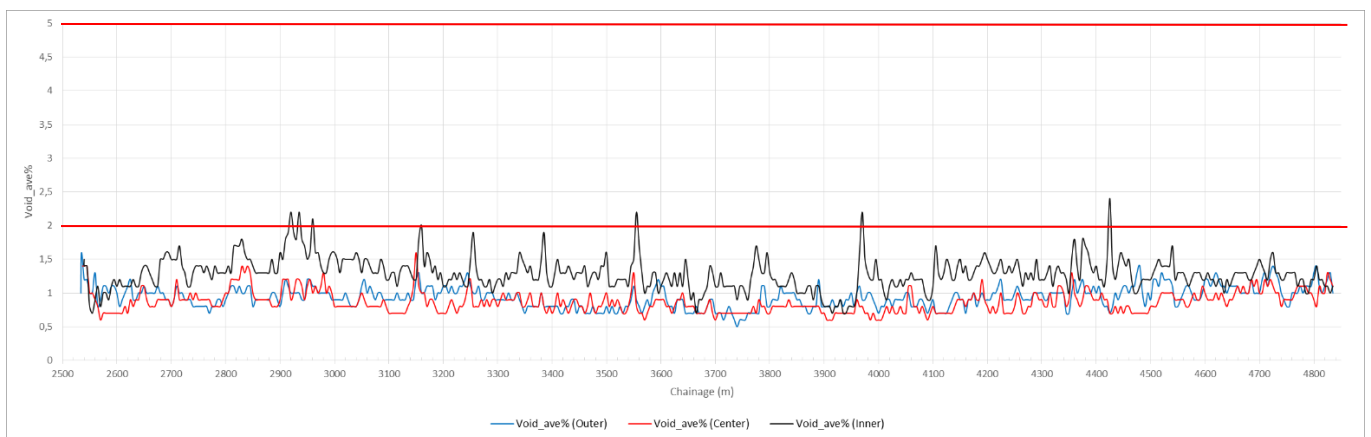
Grafisk framstilling av måledata fra GPR viser at hulromsprosent ligger i underkant av toleransen i begge kjørefelt.

Med utgangspunkt i inkonsistente måledata fra entreprenørens egenkontroll og analyser av borkjerner, ble Statens vegvesens verdier fra analyser av egne kjerneprøver benyttet til kalibrering av GPR-utstyret.

Kjørefelt 1



Kjørefelt 2

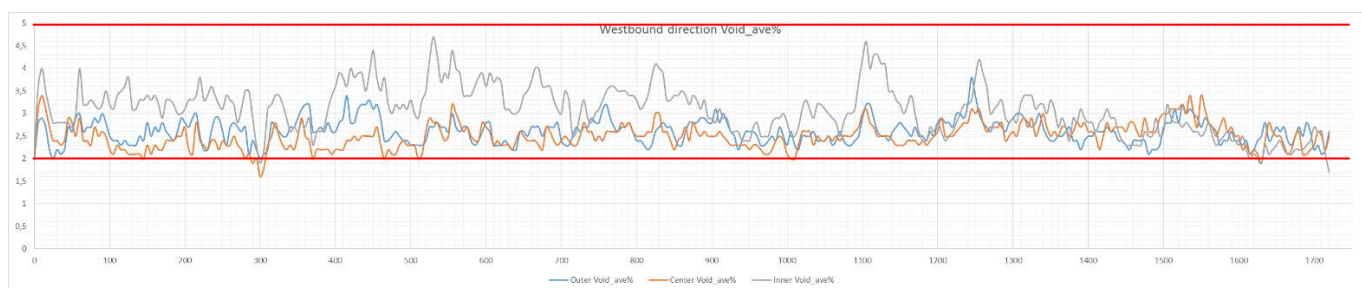


6.2 Strekning 2, Langnestunnelen

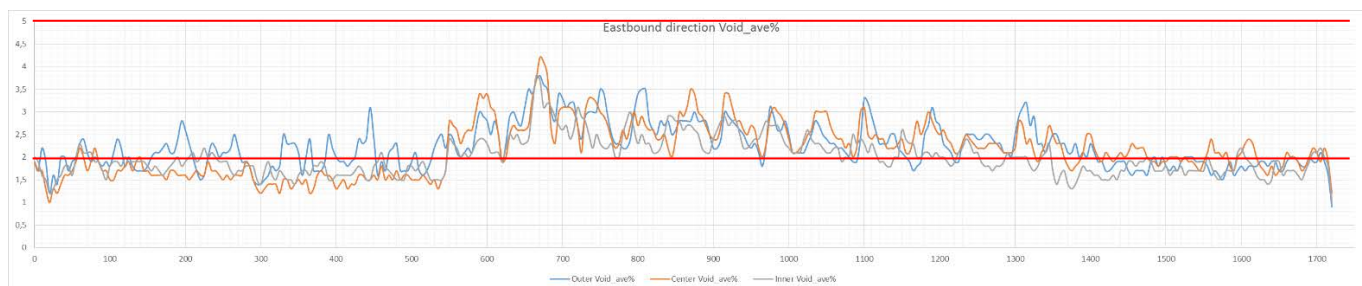
Slitelaget ble ikke vurdert med hensyn til deformasjonsegenskaper. Det ble likevel gjennomført kontroll av hulromsmåling med borkjerneprøver i begge kjørefelt. Våre målinger ble tatt i senter mellom hjulspor. Kalibreringsdata som ble benyttet var fra entreprenørens hulromsanalyser

Prosentvis stemmer hulromsandelen godt overens med analyser av borkjernene. Målingen i kjørefelt 1 m 388, viser hulromsinnhold på 1,9 % mens GPR-hulrom i m 385 viste et resultat på 2,2 % og et standardavvik på 0,2 %. I kjørefelt 2 m 388, viser våre målinger et resultat på 1,3 % mens GPR-hulrom viste et resultat på 1,6 % og standardavvik på 0,1 %.

Kjørefelt 1



Kjørefelt 2



7. Konklusjon og anbefalinger

GPR-teknologien brukt i tilstandsanalyser av vegkonstruksjoner er en nyvinning i Norge. På generelt grunnlag kan hulromsmålinger gjort med GPR-metoden sies å være innenfor de feilmarginer man opererer med innenfor bransjen. Brukt sammen med de øvrige, konvensjonelle metodene, gir GPR-målingen er godt bilde av tilstandsanalyse for hulromsandeler.

Veien videre vil i 2018 være å måle flere strekninger hvor vi vil sjekke måleresultater fra GPR som vil bli kontrollert mot kjerneanalyser med ukappet topp. Vi vil da ha mulighet for å se nærmere på variasjoner mellom GPR-målt hulrom og lab målt hulrom på kappet prøver.

- Våre anbefalinger er at GPR-metoden er rask og kan benyttes på høytrafikkerte veger uten at trafikken blir vesentlig forstyrret.
- Målingene fanger opp vesentlig større område/flater og tolkingen kan gi et godt bilde av tilstanden til slitelaget.
- Metoden er sikker, med tanke på personell som slipper å behandle helseskadelige isotoper samt å måtte være ute i kjørebanelen mens måling pågår.
- Tolking av måldata krever tilgang til avanserte applikasjoner for databehandling og kan være tidkrevende.

7. Referanseliste:

- "Mätning av hålrumshalt hos asfaltbeläggningar med georadarmetoden" – VV Publ. Nr:2006:13 – Trafikverket
- "Recommendations for guidelines for the use of GPR in asphalt air void content measurement" – Mara Nord Projeckt
- "Bruk av georadar til å undersøke tilstanden til veikonstruksjoner" – Masteroppgave NMBU Geir Wivelstad
- "FHWA/TX-05/0-4577-2 IR scanning and GPR segregation" – Scullion, Sebesta, Wang and Liu
- NS-EN 12697-6, prosedyre B, hydrostatisk overflatetørr

8. Vedlegg:

Resept Breivikatunnelen: 16331083

Resepter Langnestunnelen: 16331082 og 16331085



Arbeidsresept for bituminøse vegdekker og bærelag

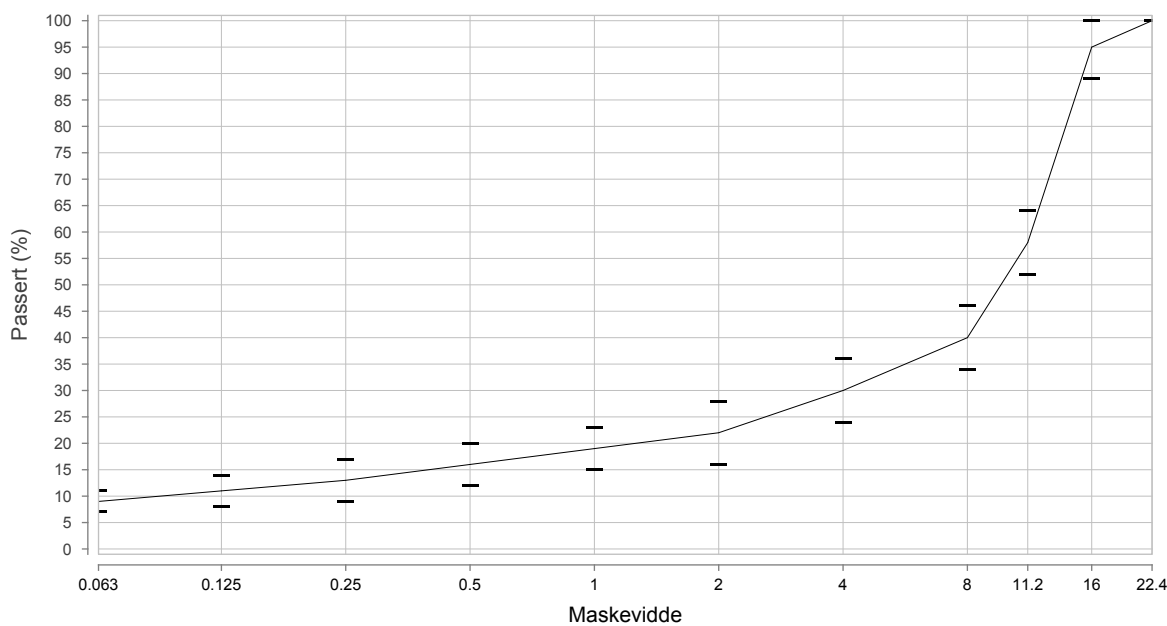
Reseptnr. **16331082**
 Produktnavn
 Reseptdato **22.01.2013**

Produksjonssted **Tromsø**
 Dekketype **SMA 16 70/100 Ska 16**
 Asfaltleverandør **Lemminkäinen Norge AS**

	Tilsiktet	Toleranse	Kompaktering	Marshall 2*50 slag
Bindemiddel (%)	5.8	0.4	Maks.densitet ρ_{mv} (Mg/m ³)	
Hulrom (%)			Romdensitet ρ_b (Mg/m ³)	2.514
Forbruk (kg/m ²)			Hulrom (%)	1.9
Massetemp prod. (°C)			Bitumenfylt hulrom (%)	88.2
Dekkets densitet ρ_b (Mg/m ³)			Stabilitet (N)	
Maks.teoretisk densitet ρ_{mc} (Mg/m ³)	2.515		Flyt (mm)	
Maks. vanninnhold (%)			Stab:Flyt (N/mm)	
			Ind. strekkst. (kPa)	

Bindemiddeltipe	70/100
-----------------	--------

	μm				mm							
	63	125	250	500	1	2	4	8	11.2	16	22.4	
Tils	9.0	11.0	13.0	16.0	19.0	22.0	30.0	40.0	58.0	95.0	100.0	
Tol.	2.0	3.0	4.0	4.0	4.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	0.0	



Tilslag	Forekomst	Dens.	FI	LA	Mølle	Sort	Andel
Pukk	Durasplit	2.77	15.0	15	7.0	11/16	48.0
Grus	Durasplit	2.77	20.0	15	7.0	0/11	46.0
Filler	Miljøkalk	2.75				Filler	6.0

Tilsetningsstoff		Mengde (% av bindem.)	
Vedheftningsmiddel		Mengde (% av bindem.)	

Sted: _____ Dato: _____

Underskrift: Tor Arne Fenes



Arbeidsresept for bituminøse vegdekker og bærelag

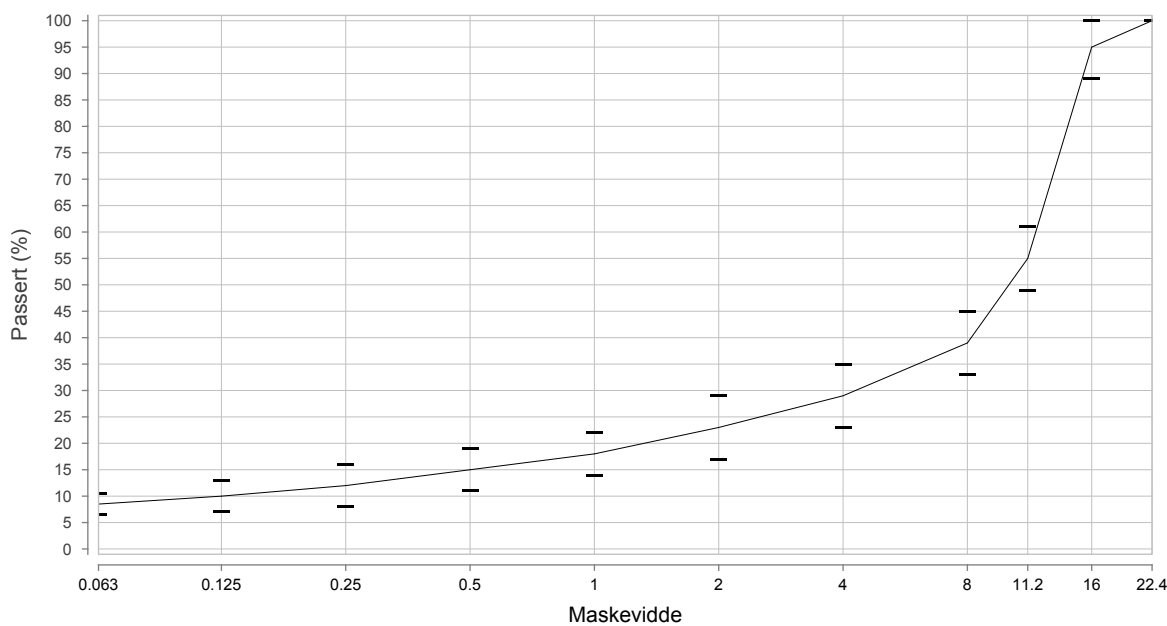
Reseptnr. **16331083**
 Produktnavn
 Reseptdato **25.04.2016**

Produksjonssted **Tromsø**
 Dekketype **Ska 16**
 Asfaltleverandør **Lemminkäinen Norge AS**

	Tilsiktet	Toleranse	Kompaktering
Bindemiddel (%)	5.8	0.4	Maks.densitet ρ_{mv} (Mg/m ³)
Hulrom (%)	3.5	1.5	Romdensitet ρ_b (Mg/m ³)
Forbruk (kg/m ²)			Hulrom (%)
Massetemp prod. (°C)	160.0	20.0	Bitumenfylt hulrom (%)
Dekkets densitet ρ_b (Mg/m ³)	2.418		Stabilitet (N)
Maks.teoretisk densitet ρ_{mc} (Mg/m ³)	2.506		Flyt (mm)
Maks. vanninnhold (%)			Stab:Flyt (N/mm)
			Ind. strekkst. (kPa)

Bindemiddeltipe	70/100
-----------------	--------

	μm				mm						
	63	125	250	500	1	2	4	8	11.2	16	22.4
Tils	8.5	10.0	12.0	15.0	18.0	23.0	29.0	39.0	55.0	95.0	100.0
Tol.	2.0	3.0	4.0	4.0	4.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	0.0



Tilslag	Forekomst	Dens.	FI	LA	Mølle	Sort	Andel
Pukk	Durasplitt	2.77	15.0	15	7.0	11-16	50.0
Grus	Durasplitt	2.77	20.0	15	7.0	0-11	35.0
Filler	Miljøkalk	2.75				Filler	5.0
Asfaltgranulat		2.65					10.0

Tilsetningsstoff		Mengde (% av bindem.)	
Vedheftningsmiddel		Mengde (% av bindem.)	

Sted: _____ Dato: 25.04.2016

Underskrift: Bjørn Worum



Arbeidsresept for bituminøse vegdekker og bærelag

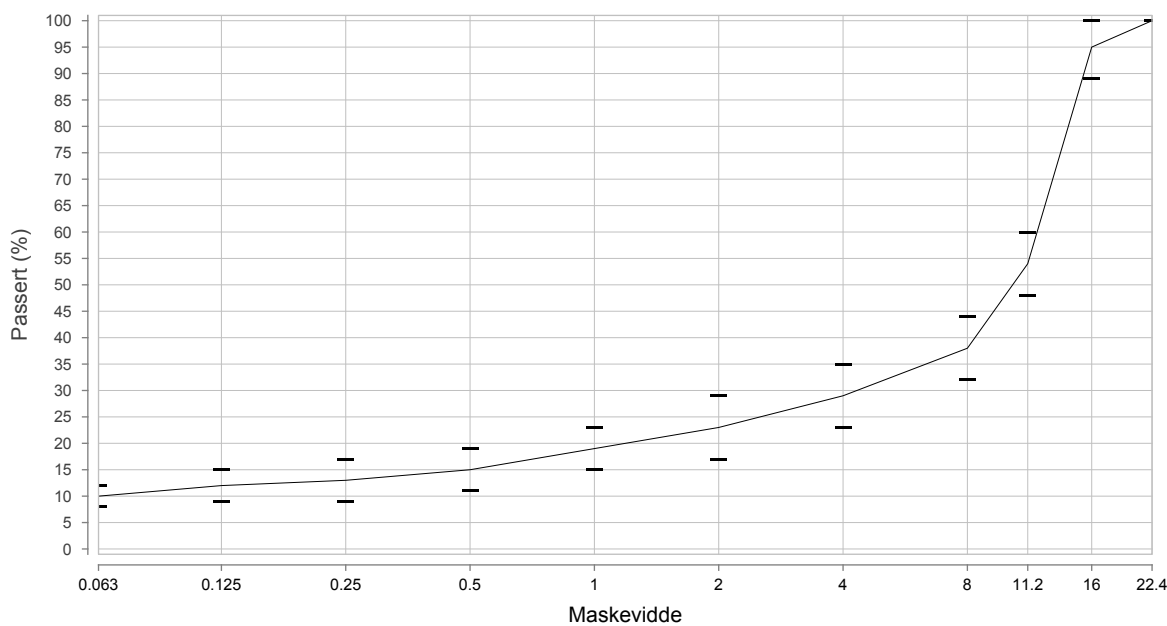
Reseptnr. **16331085**
 Produktnavn
 Reseptdato **19.10.2016**

Produksjonssted **Tromsø**
 Dekketype **SMA 16 PMB Ska 16**
 Asfaltleverandør **Lemminkäinen Norge AS**

	Tilsiktet	Toleranse	Kompaktering	Marshall 2*50 slag
Bindemiddel (%)	5.8	0.4	Maks.densitet ρ_{mv} (Mg/m ³)	
Hulrom (%)	3.5	1.5	Romdensitet ρ_b (Mg/m ³)	
Forbruk (kg/m ²)			Hulrom (%)	5.1
Massetemp prod. (°C)			Bitumenfylt hulrom (%)	73.0
Dekkets densitet ρ_b (Mg/m ³)	2.425		Stabilitet (N)	
Maks.teoretisk densitet ρ_{mc} (Mg/m ³)	2.513		Flyt (mm)	
Maks. vanninnhold (%)			Stab:Flyt (N/mm)	
			Ind. strekkst. (kPa)	

Bindemiddeltipe	Annet
-----------------	-------

	μm				mm							
	63	125	250	500	1	2	4	8	11.2	16	22.4	
Tils	10.0	12.0	13.0	15.0	19.0	23.0	29.0	38.0	54.0	95.0	100.0	
Tol.	2.0	3.0	4.0	4.0	4.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	0.0	



Tilslag	Forekomst	Dens.	FI	LA	Mølle	Sort	Andel
Grus	Durasplitt	2.77	20.0	15	7.0	0-11	43.0
Pukk	Durasplitt	2.77	15.0	15	7.0	11-16	51.0
Filler	Miljøkalk Verdal	2.72				Filler	6.0

Tilsetningsstoff	Viatop	Mengde (% av bindem.)	5.0
Vedheftningsmiddel	Ad-Here LOF Light	Mengde (% av bindem.)	0.3

Sted: _____ Dato: _____

Underskrift: Tor Arne Fenes



Statens vegvesen
Region nord
Vegavdeling Troms
Postboks 1403 8002 BODØ
Tlf: (+47) 22073000
firmapost-nord@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen