

ERFARENHETER AV GEORADARMÄTNINGAR 2020



Eric Gardner

2021-11-12

Eric Gardner

SBUF Rapport 13876

Skanska Sverige AB

Teknik - Vägtekniskt centrum (VTC)

PL 6185

424 57 Gunnilse

Contents

Innehåll

1	Förord.....	4
2	Syfte	5
3	Sammanfattning	5
4	Praktiska problem	6
5	Utvärderingsproblem	7
6	Övrig utvärdering	8
7	Erfarenheter från arbetet i Norge.....	9
8	Diskussion	17

1 Förord

Projektets syfte har varit att dokumentera och sprida de erfarenheter från det arbete som gjorts 2020 med georadar i försöksprojekt både gällande praktiska erfarenheter med utrustning och utvärderingsmodellen.

Förhoppningen var att alla fyradeltagande entreprenörer i SBUF skulle ta kontrakt med georadarmätningar under säsongen och utföra dessa mätningar vilket skulle ge en god kunskapsbas att arbeta med. Dessvärre blev verkligheten sådan att enbart en entreprenör valde att göra egna mätningar varefter underlaget blev mindre än väntat.

Det mesta av det som presenteras här är data och erfarenheter som har inhämtats från arbetet i Norge under 2020 centralt i Statens Vegvesen och även ute i vägavdelningarna på de regionala fylkena som vi har haft ett gott samarbete med. Stort tack till Geir Berntsen på Statens Vegvesen som har samordnat detta från den Norska sidan.

Jag vill också tacka SBUF som möjliggjort projektet genom att finansiera en stor del utav det.

2 Syfte

Projektets syfte har varit att ta tillvara på de praktiska erfarenheter som har fått under de pilotprojekt som utförts med georadarmätningar på asfaltsbeläggningar år 2020, dels för att sprida kunskapen och dels för att ge underlag för upphandlingar i framtiden.

3 Sammanfattning

Rapporten omfattar en genomgång av upplevda praktiska och teoretiska problem som har påkommit i mätningar med georadar i Sverige 2020. Dessutom så tar den upp de erfarenheter man fått från mätningar i Norge samma år.

De huvudsakliga problemområdena som identifierades var problematiken med att utföra mätningar på plats kunde mycket sannolikt störas och därmed inte kunna utföras korrekt baserat på de korta tidsintervall som beläggningen är tillgänglig.

Ett antal problem med metoden detaljeras i rapporten med kraven på redovisning med hur data skall bearbetas, beräkningar utföras och hur det slutgiltiga resultatet sedan redovisas.

Från den data som fått från de Norska försöken så är de viktigaste lärdomarna att mätdata på blöta beläggningar kan ha ett värde i studiesyfte även om de inte bör vara lämpliga att använda som ett bedömningsunderlag. Samt att man har bekräftat att det finns sådana beläggningar som har en mycket låg variation men har konstant höga hållrumshalter, vilket är ett problem när man gör en bedömning som baseras enbart på att titta på variationen i mätresultatet.

4 Praktiska problem

Tidspress

Mätningar utförda av system som kräver en avspärrad sträcka kan få svårt att kunna mäta in hela sträckan under tillgängliga tiden. Detta gäller speciellt vid nattarbeten i tätorter där avspärningarna under typiska förhållanden skall vara borta vid fem tiden. Då under normalt utlägningsförfarande det lämnas väldigt lite tidsmarginal mellan avslutat arbete och öppning av vägen innebär detta svårigheter att mäta in hela sträckan med georadar. Speciellt då ytan måste ha svalnat till en temperatur som understiger 60 grader vilket inte alltid hinns med.

Regn

Under normala beläggningsförhållanden så är det oftast möjligt att fortsätta utläggning även vid en del nederbörd. Om mätningar skall utföras i samband med utläggning tex. på grund av att arbetet utförs på temporärt avspärrat område kan det bli omöjligt att utföra mätningarna. Framtida utveckling och en övergång till fordonsmonterade lösningar borde kunna åtgärda det här problemet då mätningar blir möjliga att genomföra efter avspärningarna har lyfts.

Systemverifiering

Kravet på systemverifiering var svårt om inte omöjligt att kunna möta i det nuvarande utvecklingsläget, där system till exempel hyrs in under uppdragets tid. Detta beroende på att de testerna som utförs för att verifiera att systemen ligger inom de ställda kraven tar så pass lång

Tidsåtgång

Erfarenheter från mätningar visar på att det krävs en operatör på plats under hela beläggningsarbetets gång i de fall arbetena utförs på temporärt avstängda objekt till exempel motorväg där vägen måste vara öppen igen till morgonen. Detta då det krävs så pass mycket tid att gå över ytan med utrustningen

Kontrollborningar

Att gå ut i efterhand och göra kontrollborningar efter att datan analyserats upplevdes som kostsamt och tidskrävande. Varefter lösning blev att ta prover när man ändå var på plats och hade vägen avspärrad i samband med att arbetet utfördes, och sedan valde ut de prover som behövdes analyseras. Detta då istället för att gå igenom data i efterhand, se vilka delsektioner som behövdes borrar enligt underlaget och sedan stänga av vägen på nytt för att ta proverna.

5 Utvärderingsproblem

Uppdelning av 100m sträckor

Under arbetet kom en fråga upp om hur hundrameterssträckorna skall räknas vid övergång från ett skift till ett annat. Då det i princip aldrig slutar med en hel sträcka om 100 meter blev frågeställningen om dessa udda meter skulle beräknas som en egen delsträcka om x meter eller slås ihop med de nästkommande metrarna från nästa skift för att bilda en hel sträcka om 100 meter.

Medelvärdesberäkningar

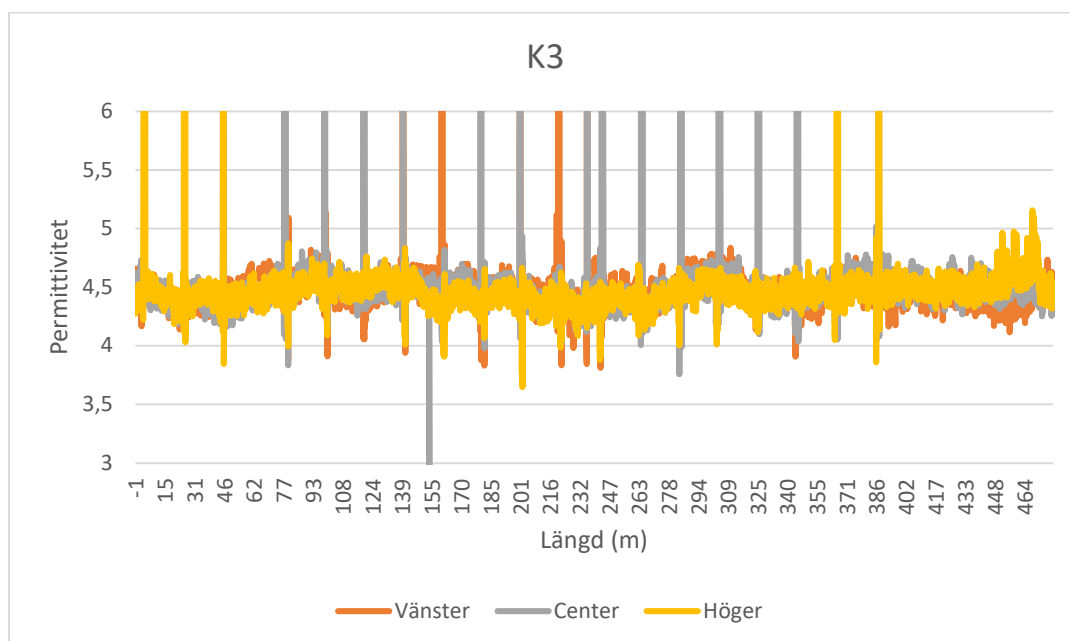
Inte specificerat i underlaget men de mätpunkter som sällas bort för de anses vara avvikande och inte vara asfalt bör inte räknas in i medelvärdet per meter för att få ett representativt värde. Även på bedömning av ytan i sin helhet är det oklart om värdena skall plockas bort ur medelvärdesberäkningen som ligger till grund för att avgöra vilka ytor som är avvikande.

Redovisningskriterier

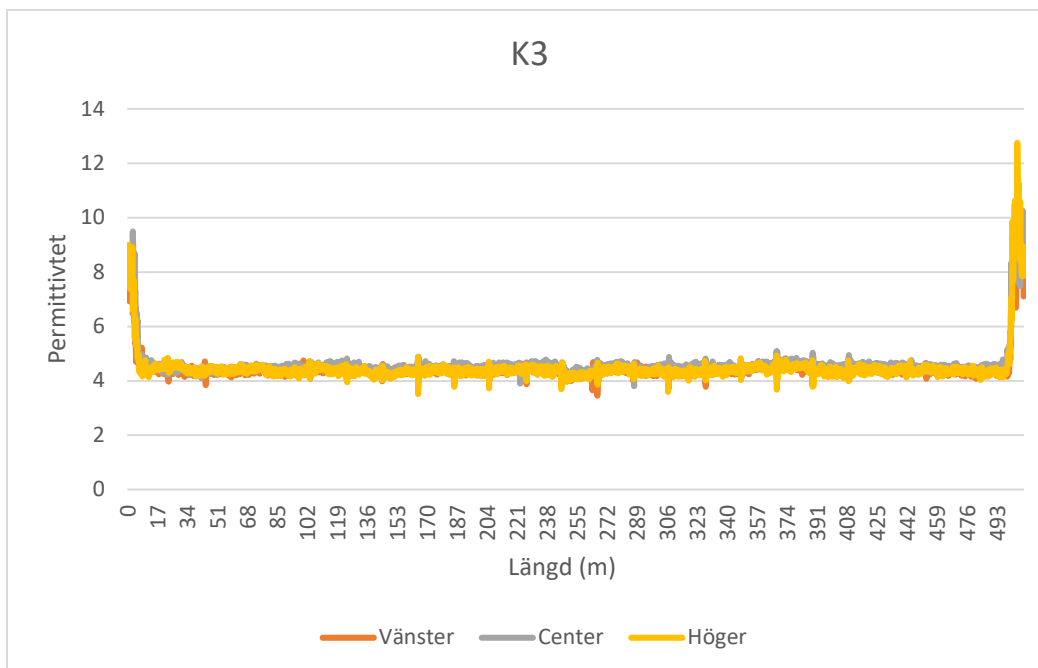
Exakt vilka värden och i vilken form de skulle redovisas var inte helt klart angivet, så dessa fick tas fram i projekten. Resultatet blev redovisning av värde per meter och mätlinje redovisat grafiskt. Medelvärde, standardavvikelse och andel underkända värden per delsträcka om 100meter redovisas grafiskt. Dessa följa av relevant metadata så som position, start och slutpunkt för delsträcka. Även medelvärde per meter och mätlinje redovisas i tabellform.

6 Övrig utvärdering

En preliminär version av metoden användes för utvärdering på de beläggningsarbete som utfördes 2019 i en tunnelkonstruktion. I det här fallet var det inte ursprungligen tänkt att använda den här metoden utan det hade mätts in i studiesyfte. Borrning var i det här fallet i princip inte möjligt på grund av risken att skada tunnelkonstruktionen vilket var extra känsligt då konstruktionen ligger under vatten. Då tog man möjligheten att använda dessa mätningar som alternativ utvärderingsmetod. Problemet som uppstod var att inget parti av objektet var lämpligt för referensborrning för hålrumshalterna då det rörde sig om en tunnel. I själva tunnelkonstruktionen fick borrning då alltså inte utföras och utanför var det så mycket nederbörd under mätningarnas utförande att referensmätningar på den biten av beläggningsen inte var möjlig. Bedömningen fick alltså göras helt utifrån den uppmätta variationen i asfalten. Flertalet objekt hade regelbundet återkommande skarvar från stoppet mellan som syns tydligt i mätdata, men dessa var inget problem att utesluta ur dataanalysen enligt det underlag som användes 2020 då de var så pass tydliga avvikelser från medelvärdet. Mätningarna verkade inte heller störas av armeringen i konstruktionen på andra ställen än vid skarvarna mellan sektionerna.



Figur 1 Utdrag av mätdata från tunnel, med tydliga spikar vid skarvarna och förövrigt ostörda mätningar



Figur 2 Mätdata från samma körfält men på slitlagret

På slitlagret syns fortfarande störningar vid skarvarna, men i betydligt mindre grad än på bärlagret.

7 Erfarenheter från arbetet i Norge

Som en del av projektet fortsatte arbetet med erfarenhetsutbyte kring georadar för asfaltkontroll mellan Sverige och Norge.

I Sverige har man gått över för 2020 och även nu för 2021 till en metod där man bedömer resultat utifrån variationen i mätvärdet. Däremot i Norge användes en metod baserad på permittivitets-hålrumskorrelation, där serier med borrhälskärnor tas för varje objekt. Bedömningen gjordes sedan på att titta på den nittionde percentilen och maxvärdet för de beräknade hålrumsalterna, och med kontroll av hålrumsalter med borrhäls för att verifiera att dessa är korrekta utifrån beräkningen.

Arbetet i Norge är decentraliserat efter fjolårets omorganisation och är numera uppdelat mellan Statensvegvesen och de regionala fylkena som är ansvariga för regionala vägar, de jobbar dock efter vegvesens modell i sitt arbete med att utvärdera tekniken.

Ett uppföljningsmöte kommer hållas i slutet av 2021 för att se över åretsarbete och resultat i de båda länderna, men det faller utanför denna rapportens omfattning.

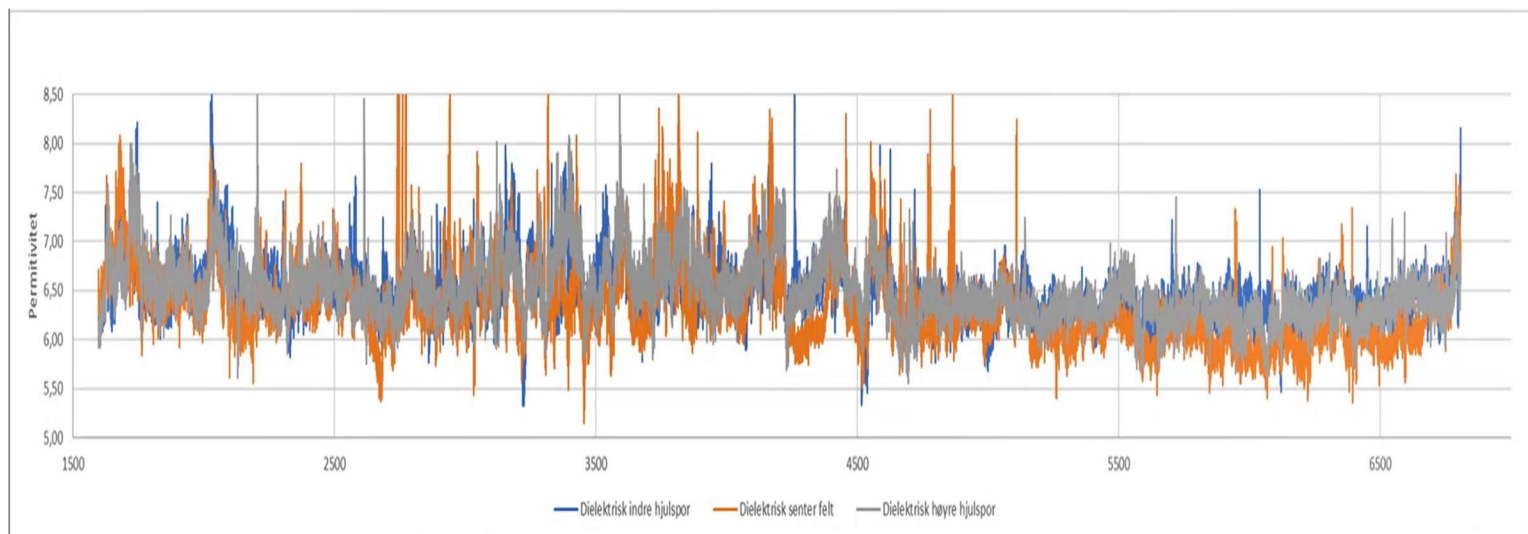
I Norge under 2020 utfördes 77 km mätningar med Pavescan RDM 1.0 och 2.0 system på uppdrag av Statensvegvesen och ytterligen 11km på

uppdrag av TRFK. Denna utrustning är normalt monterad på en vagn men SVV har monterat sin utrustning på en bil och kunnat utföra mätningar med god kvalitet i upp till strax under 30 km/h.



Figur 3 SVVs specialkonstruerade armatur för montering av antenner på bil

Mätningar utförda av TRFK skulle ursprungligen kontrolleras med borringar för hålrumshaltsprovning med 200 meters mellanrum. Mätningarna utfördes i början oktober, vilket ledde till väderförhållande med temperaturer på runt 5 grader och högluftfuktighet. Tidsbrist och säsongen som innebar att upptorkning var mycket otroligt ledde till att mätningar fick utföras trots suboptimala förhållanden vilket resulterade i märkbara störningar på mätningarna. Dessa syns speciellt tydligt upp till ungefär 5000m, men kan inte uteslutas helt från någon del av sträckan. För att kunna få ut användbar data fick de i det här fallet undvika att använda medelvärden per meter och istället titta på enskilda mätvärden och förkasta de värden som var uppenbara störningarna. Metoden gav efter analys för borttagning av data som uppenbart var fuktpåverkad en någorlunda översiktlig bild av belägningens kvalitet.



Figur 4 Måtdata från TRFKs mätning

Pavescan 2.0					Pavescan 2.0				
Dato	04.12.2020				Dato	10.12.2020			
	292	295	296	Snitt		292	295	296	Snitt
Gjennomsnitt	2,329	2,325	2,324	2,326	Gjennomsnitt	2,364	2,325	2,336	2,342
Std avvik	0,003	0,008	0,009	0,007	Std avvik	0,003	0,003	0,005	0,004
Max	2,343	2,349	2,354	2,349	Max	2,376	2,335	2,351	2,354
Min	2,317	2,301	2,299	2,306	Min	2,356	2,315	2,324	2,332
Maks-snitt dif	0,014	0,024	0,030	0,023	Maks-snitt dif	0,012	0,010	0,015	0,012
Min-snitt dif	0,012	0,024	0,025	0,020	Min-snitt dif	0,008	0,010	0,012	0,010
Maks-min dif	0,026	0,048	0,055	0,043	Maks-min dif	0,020	0,020	0,027	0,022
Alle analysene er gjort med antennene i lik posisjon og høyde. Alle analysene er gjennomført over 20 min med 0,1 sek eksport.					Alle analysene er gjort med antennene i lik posisjon og høyde. Alle analysene er gjennomført over 10 min med 0,1 sek eksport.				

Pavescan 2.0					Pavescan 2.0				
Dato	10.12.2020				Dato	16.12.2020			
	292	295	296	Snitt		292	295	296	Snitt
Gjennomsnitt	2,337	2,348	2,342	2,342	Gjennomsnitt	2,367	2,319	2,336	2,341
Std avvik	0,002	0,003	0,004	0,003	Std avvik	0,008	0,004	0,007	0,006
Max	2,344	2,356	2,357	2,352	Max	2,39	2,334	2,361	2,362
Min	2,331	2,340	2,329	2,333	Min	2,340	2,303	2,311	2,318
Maks-snitt dif	0,007	0,008	0,015	0,010	Maks-snitt dif	0,023	0,015	0,025	0,021
Min-snitt dif	0,006	0,008	0,013	0,009	Min-snitt dif	0,027	0,016	0,025	0,023
Maks-min dif	0,013	0,016	0,028	0,019	Maks-min dif	0,050	0,031	0,050	0,044
Alle analysene er gjort med antennene i lik posisjon og høyde. Alle analysene er gjennomført over 10 min med 0,1 sek eksport.					Alle analysene er gjennomført over 20 min med 0,1 sek eksport.				

Figur 5 Studier av repeterbarhet med Pavescan 2.0

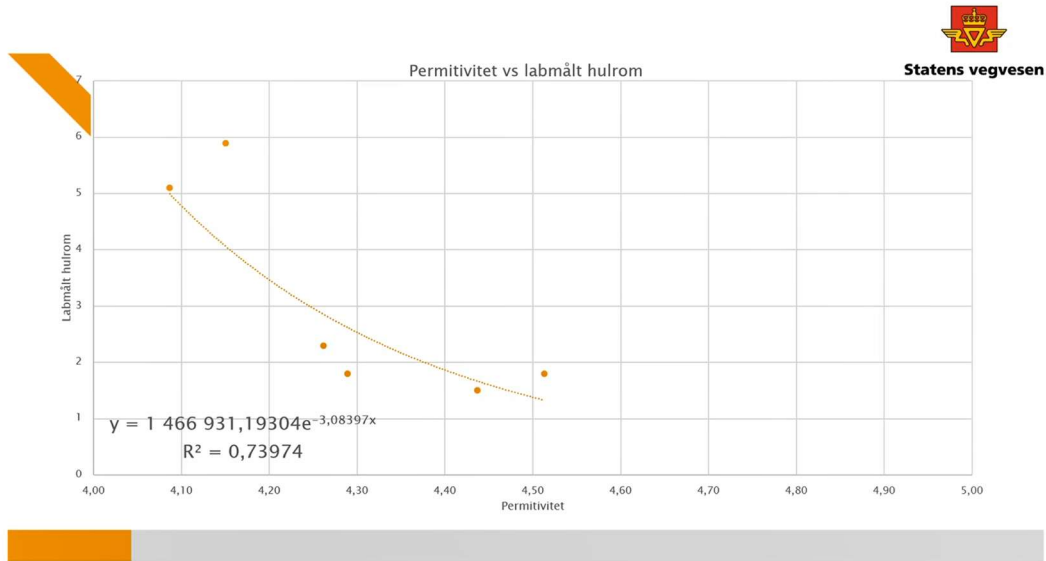
En studie gjordes av systemstabilitet med pavescan 1.0 mot 2.0 enligt den standarden som varit del av kraven i Sverige 2020 och baserar sig på den metod framarbetad av AASHTO. Systemtestet bygger på att statistiska tester utförs på högdensitetpolyeten-plattor och variationen i mätsignalen under tid undersöka för att se om det är tillräckligt stabilt. Resultatet visar att 1.0 systemet inte tycks vara tillräckligt stabilt för att helt möta dessa krav, men med 2.0 systemet så fann sig all kriterier inom gränsvärdena.

Pavescan 1				
Gammel HDPE plate sammenligning				
	100	101	103	Snitt
Gjennomsnitt	2,337	2,421	2,355	2,371
Std avvik	0,011	0,014	0,013	0,013
Max	2,41734	2,51399	2,41753	2,450
Min	2,279	2,319	2,262	2,287
Maks-snitt dif	0,080	0,093	0,063	0,079
Min-snitt dif	0,059	0,102	0,093	0,084
Maks-min dif	0,139	0,195	0,155	0,163
Pavescan 2.0				
Gammel HDPE plate sammenligning				
	292	295	296	Snitt
Gjennomsnitt	2,343	2,355	2,346	2,348
Std avvik	0,003	0,002	0,002	0,002
Max	2,356	2,363	2,353	2,357
Min	2,322	2,342	2,337	2,334
Maks-snitt dif	0,013	0,008	0,007	0,009
Min-snitt dif	0,021	0,013	0,009	0,014
Maks-min dif	0,034	0,021	0,016	0,024

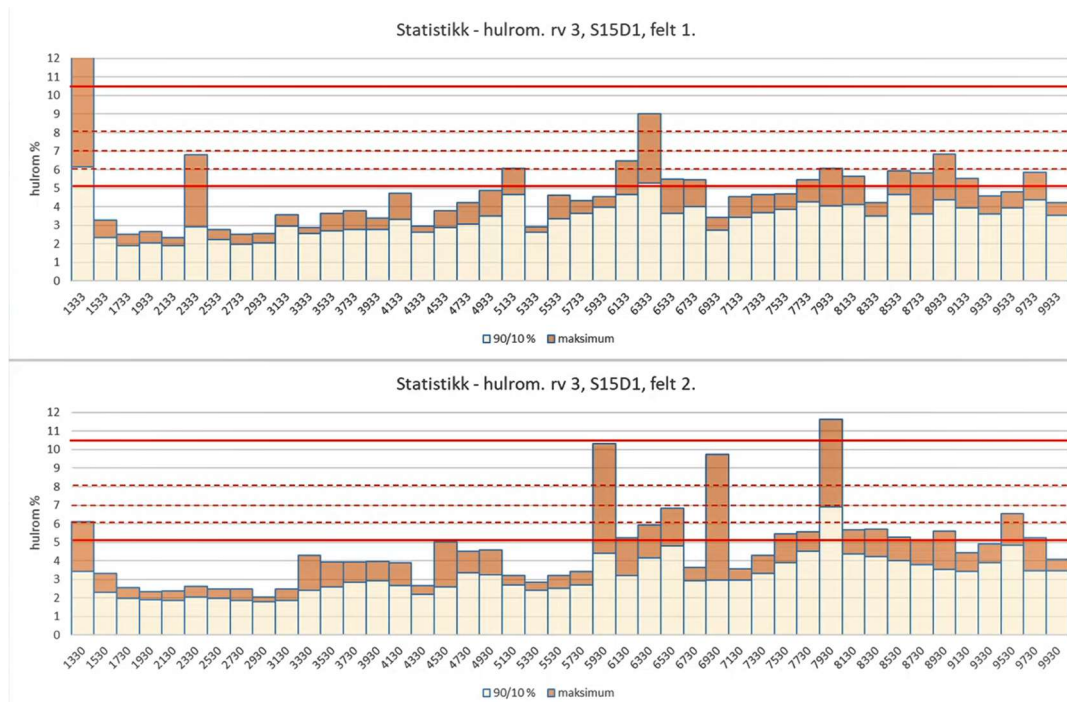
Figur 6 Jämførelse sammanstilling av Pavescan 1.0 mot 2.0

Mätningar utfördes på Rv3 med en total längd om 25km, då man snåg att det var ett problem med relaterbarhet mot vad permittivitet innebär gentemot entreprenörer och även internet, därför ansåg man att skapa en

korrelation mellan permittivitet och hålrums halt var nödvändigt för utvärdering och analys av mätdata.

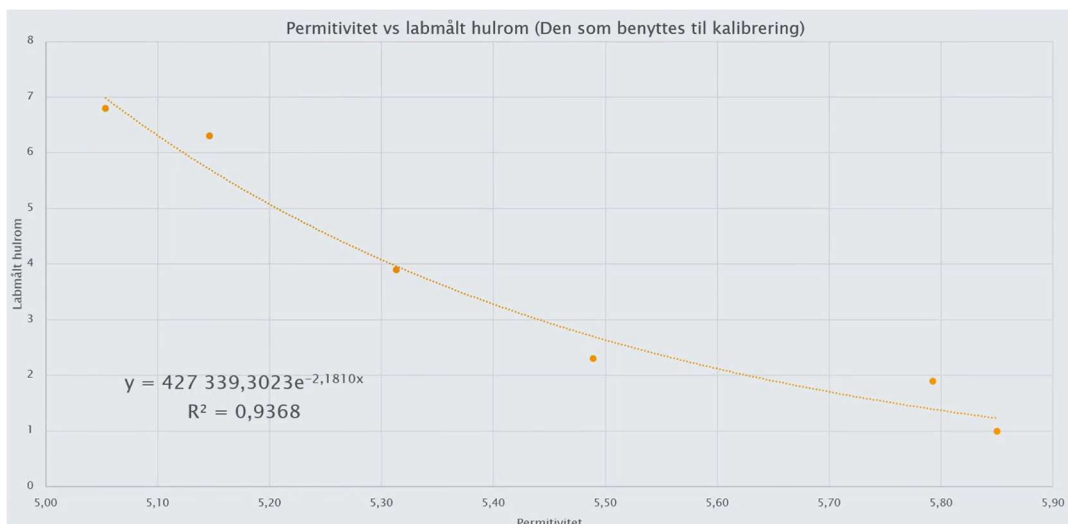


Figur 7 Korrelasjon Permittivitet - Hålrums halt Rv3 Norge

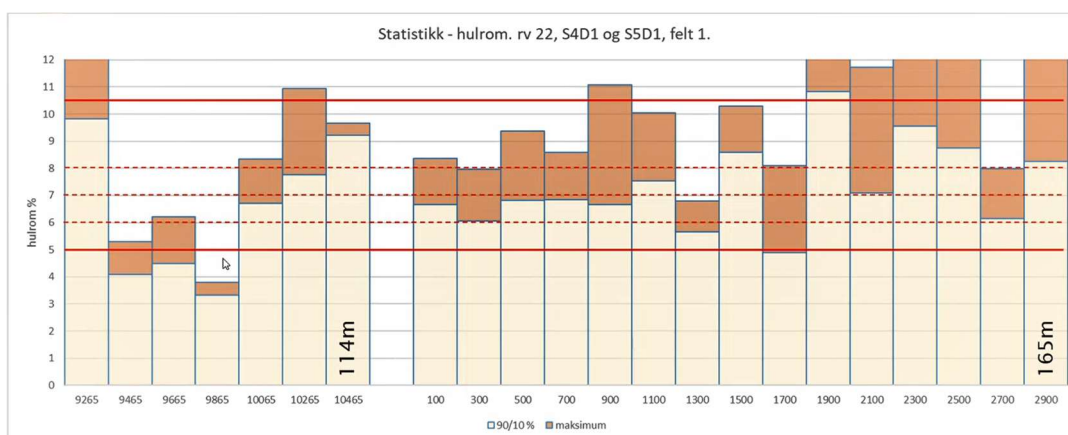


Figur 8 Beräknade hålrums halter Rv3 per 200m sträcka. Maxvärden i orange och 90e percentilen i gult.

Mätningarna som gjorts på Rv3 utvärderades per 200m sträcka, och där det blev avdrag på de som beräknades ligga över gränsen på 5 %/ (nedre solid linje), för varje del nivå ovanför detta (streckade linjer) så ökade avdraget till den övre gränsen på 10,5% på maxvärdet vilket ställde ett krav på ny beläggning på delsträckan.

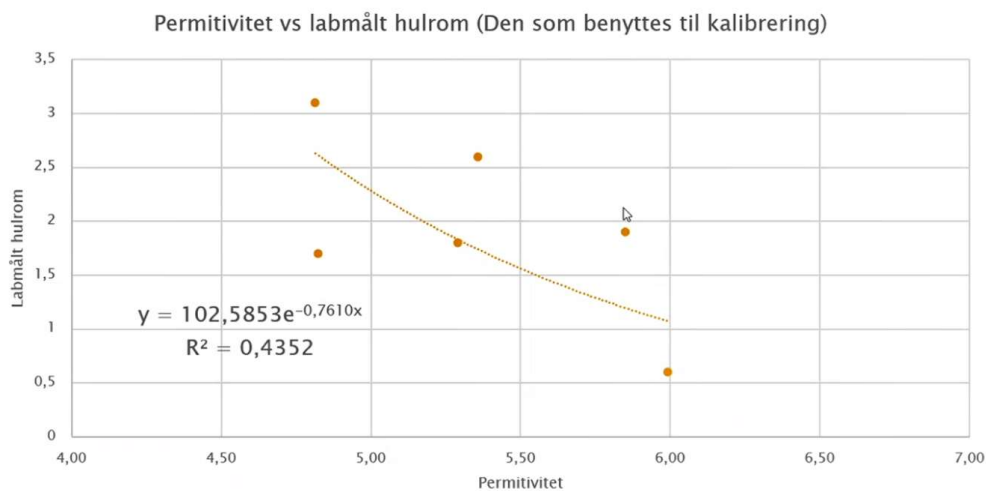


Figur 9 Korrelation Permittivitet - Hålrums halt Rv22 Norge

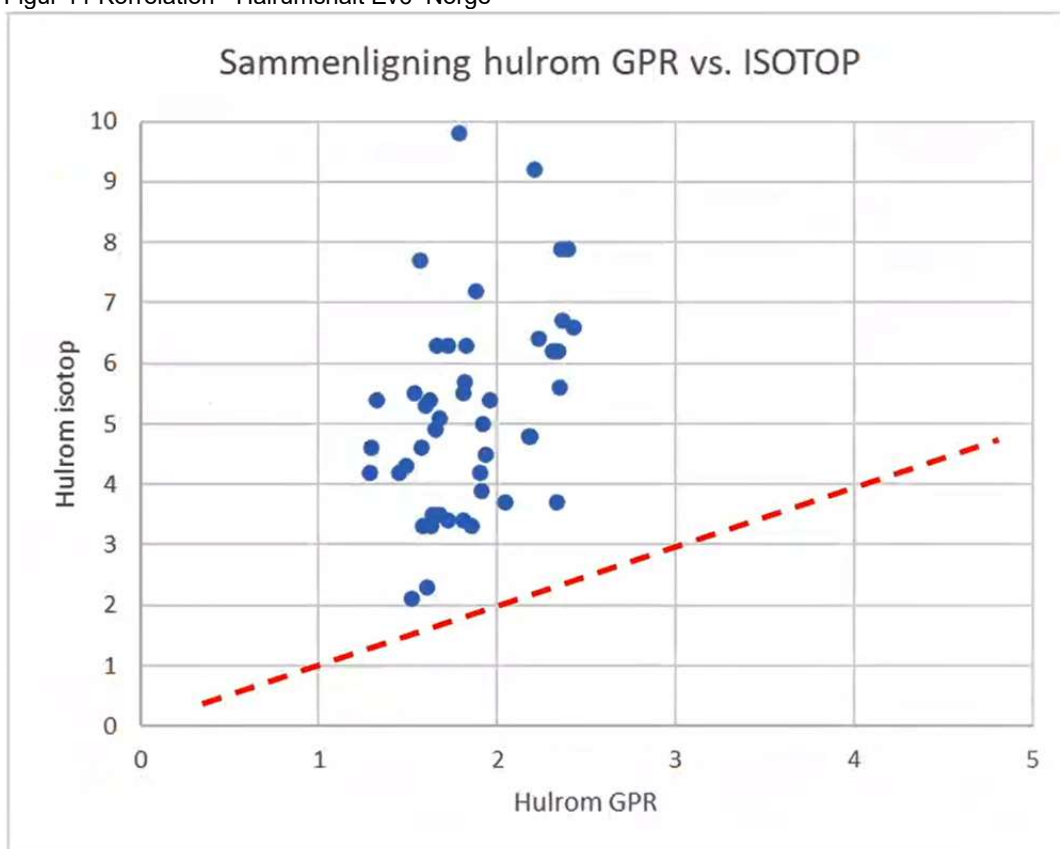


Figur 10 Beräknade hålrums halt Rv22 Körväg 1

Mätningar utfördes även på RV22 med samma kriterier för bedömningen av resultatet. Även här togs prover i asfalten för kalibrering mot hålrums halt. Enligt beräknade hålrums halter utifrån korrelation mot borrprov ligger 81% av sträckan utanför kravgränserna. Analys gjord Geir Berntsen enligt svensk bedömningsmodell tillämpad 2020 visar på en felande andel om 4,75% på en tillåten avvikelse om 5%, 0,56% när gränsen sätts vid 7,5% avvikelse och 0,06% vid 10% avvikelse. Han menar att systemet inte tar hänsyn till problem som uppstår på beläggningar som denna på Rv22 med mycket höga medelvärden då den kan anses vara relativt jämn nivå av dåliga värden varför metoden med avvikelse från medelvärdet inte korrekt visar hur dålig beläggningen faktiskt är.



Figur 11 Korrelasjon - Hålrumsalt Ev6 Norge

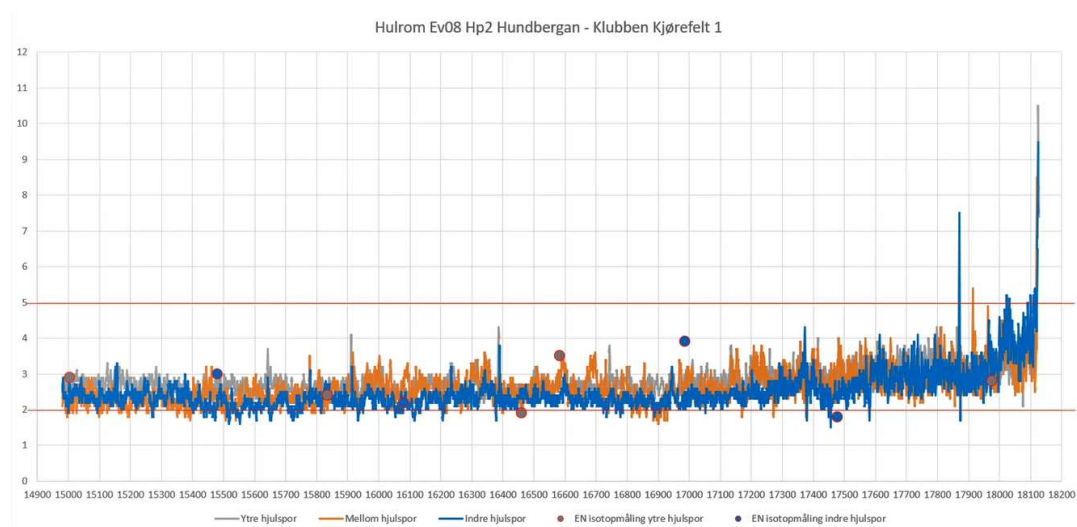


Figur 12 Jämförelse beräknat hålrum med GPR mot Istopmätning

På projektet på Ev6 togs kalibreringskärnor både georadar och för isotopmätare. Resultatet blev på de utvalda kontrollpunkterna en skillnad på 2,8 gånger högre hålrumshalts för

Mätningar utfördes i region nord av en konsult på uppdrag utav Vegvesens. Systemet som användes var en SIR-30 bestyckad med en uppsättning utav 3 stycken 42000S antenner med en centralfrekvens om 2GHz för att kunna fånga upp tre mätlinjer i en körning, något som visat sig vara svårt att åstadkomma med precis vid upprepade mätningar med en antenn för att skapa flera mätlinjer.

Analysen på dessa sträckor gjordes enligt Finskstandard för beräkning av korrelationen mellan hålrums halt och permittivitet. Ytterligare kontroller utfördes med isotopmätare för att verifiera resultatet.



Figur 13 Beräknade hålrums halter baserat från georadarmätningar på Ev08

Problem att förklara permittivitet för entreprenörer?

Hur många prover behövs för verifikation var en diskussion som kom upp kring denna typ av mätningar där olika instrument och metoder visar på olika resultat. Även om önskan här var att ta så få prover som möjligt upplevdes det ändå som lättare att ta flera när man ändå var ute på plats när det inte var helt klart om hur många som behövdes eller vart de skulle tas.

Arbetet framåt

I dagsläget finns inga standardiserade krav i Norge för mätningar som ett sätt att avgöra kvaliteten på asfalt i entreprenader, det saknas någon exakt plan för när det skall finnas en sådan utan det är ett arbete som är pågående.

En frågeställning som kom upp i det norska arbetet var om det fanns en praktisk minimumtemperatur på beläggningen innan störningarna blev för stora för att kunna få pålitliga resultat. Dock är detta inget som provats ännu, utan studier förväntas göras under vinter 2021 - 2022.

Studie för att jämföra olika georadarsystem planeras göras i framtiden, eventuellt under 2022. Tanken är att undersöka närmare hur pass jämförbara mätningar med olika system är beroende på frekvens, datahantering med mera.

Finland

Efter flera påstötningar med de kontakter som Torsten Nordgren tidigare bedrivit ett samarbete mellan Sverige och Finland gällande georadar mötes först med intresse för att fortsätta detta samarbete som funnits tidigare. Några möten kunde däremot inte planeras innan eller under sommaren på grund av varierande semesterscheman. Planen blev då att förlänga projektet för att ha möjlighet att få med detta och planera in erfarenhetsutbyte under hösten. Dock så har försök att följa upp på detta under hösten inte fått någon som helst respons från deras sidan varför det tyvärr inte blivit av.

8 Diskussion

Ett flertal praktiska problem har identifierats under säsongen. Merparten av dessa tycks vara av den typen som kan avhjälpas med utveckling av tekniken. Robustare system som är mer pålitliga skulle lösa mycket av problemen, och dessa kommer vi antagligen se mer av i framtiden då tekniken är rätt ny för tillämpning på asfalt. Även problemet med mättid kommer att underlättas mycket med fordonsburna system, det finns ett antal sådana här på marknaden redan, men med problemet att de antingen inte kan köras tillräckligt snabbt för att köras på öppen väg utan avspärrningar eller distansen mellan mätpunkter blir större än önskat.

På den teoretiska och analytiska delen finns även en några problem men bör inte vara något som inte kan lösas genom att de oklarheter som fanns specificeras i framtida upphandlingar.

Mätningar som gjordes på tunnelobjektet gav inga större vinster i form av hur man bedömer kvaliteten utifrån mätningar eller hur pass lämplig utvärderingsmetoden är överlag. Det var däremot en nyttig erfarenhet kring hur utrustningen lämpar sig för mätningar på denna typ av konstruktion med mycket armering. Då det var så pass lätt att filtrera ut de värdena som var orsakade av störningar genom att enbart titta på absolutvärdena enligt metoden skall det inte vara några problem att tillämpa georadar på denna typ av objekt.

Den dataanalys som gjordes vid TRFK's mätningar på våta underlag gav en indikation på asfaltens kvalitet. Problemet som existerar är att denna typ analys är svår att använda i ett beläggningskontrakt med specifika krav på bedömning utav kvaliteten på asfalten, då det fortfarande är svårt att få en exakt bild av kvaliteten. Det kan dock vara intressant när man använder tekniken i studiesyfte

Geir Berntsens analys av data från Rv22 enligt den Svenska utvärderingsmodellen är mycket intressant i att det bekräftar existensen av ett sådant beläggningsobjekt som skulle ha en mycket högt hållrumshalt och som ändå är mycket homogen, vilket är något som har antagits kunnat

existera men som vi inte observerat i det Svenska arbetet innan. Givet den mycket goda korrelationen som tagits fram i detta fall med ett R^2 värde på 0.94 så är det mycket otroligt att de beräknade resultaten för objektet inte ligger mycket det verkliga. Problemet blir då i försöksmetoden 2021 i Sverige så skall detta avhjälpas med att ha kriterier på viss borning oavsett resultat vilket skall kunna kontrollera om det skulle kunna röra sig om mycket homogenbeläggning men med mycket hög hålrums halt.

De resultat som sågs av SVV på Ev6 i jämförelsen mellan georadar och isotopmätare är givetvis intressant. Troligen kan det bero på problemet som man tidigare har upptäckt i det Svenska arbetet med oförstörande provning om hur känsliga denna typ av kalibreringsarbeten kan vara beroende på urval av data och resultatet kan variera mycket på grund av detta. Detta är något som observerats speciellt ofta i de fall då funktionen för korrelationen måste extrapoleras för att användas på mätvärden som ligger utanför de som observerats på kalibreringsproverna. Däremot inom spannet av observerade värden brukar interpoleringen ge goda värden. Problemet med extrapolering kan ses på bild 11 och 12 där är spannet av hålrums halter från 0,5 till strax över 3 % för korrelationen. Sedan på bild 12 ser man den jämförelse som Statensvegvesen utfört med isotopmätare vilken pekar på att resultatet stämmer dåligt mot verkligheten. Detta kan jämföras mot bild 9 som visar på mycket god korrelation. Visserligen för den data som bearbetats med denna korrelation i bild 10 så är det även en hel del extrapolering utanför de kända värdena, men resultatet tycks stämma överens med de verifikationsmätningar som gjordes. Dessa resultat stämmer väl överens med det vi sett i arbetet i Sverige att vid mycket goda korrelationer håller sambanden väl även för extrapolering utanför observerade provvärden.

Frågan om det finns en lämplig minimumtemperatur för mätningar är en intressant frågeställning, och de samband som gäller för Ut praktisk synvinkel är det en fråga av marginellt intresse då de förhållanden då det är så pass kallt att det skulle ha en märkbar inverkan på mätresultatet även vara så pass fuktigt att resultaten blir meningslösa. Undantaget är då de fall beläggningar läggs i till exempel tunnelmiljöer där de skyddas från nederbörd. Alternativt om mätningar utförs vid minusgrader då det är allmänt känt att vatten i fruset tillstånd tack vare sin bundna kristallstruktur.

En mindre studie gjordes i Sverige för att jämföra georadarsystem 2018 som en del av SBUF-projekt 13513 där även statensvegvesen deltog. Resultaten var inte helt tydliga, systemen visade på olika nivåer av mätvärde, men vid normalisering av medelvärdet kunde de möjligtvis uppvisa samma variation. Det fanns dock för lite data och den som fanns stördes av kraftig nederbörd kvällen innan så det var svårt att dra några fasta slutsatser. En större norsk studie om frågan vore därför mycket intressant att följa speciellt om kraven i Sverige även i fortsättningen skall baseras på variationen i mätresultatet.

