



Statens vegvesen

Måling av hulrom i asfalt med georadar (GPR)

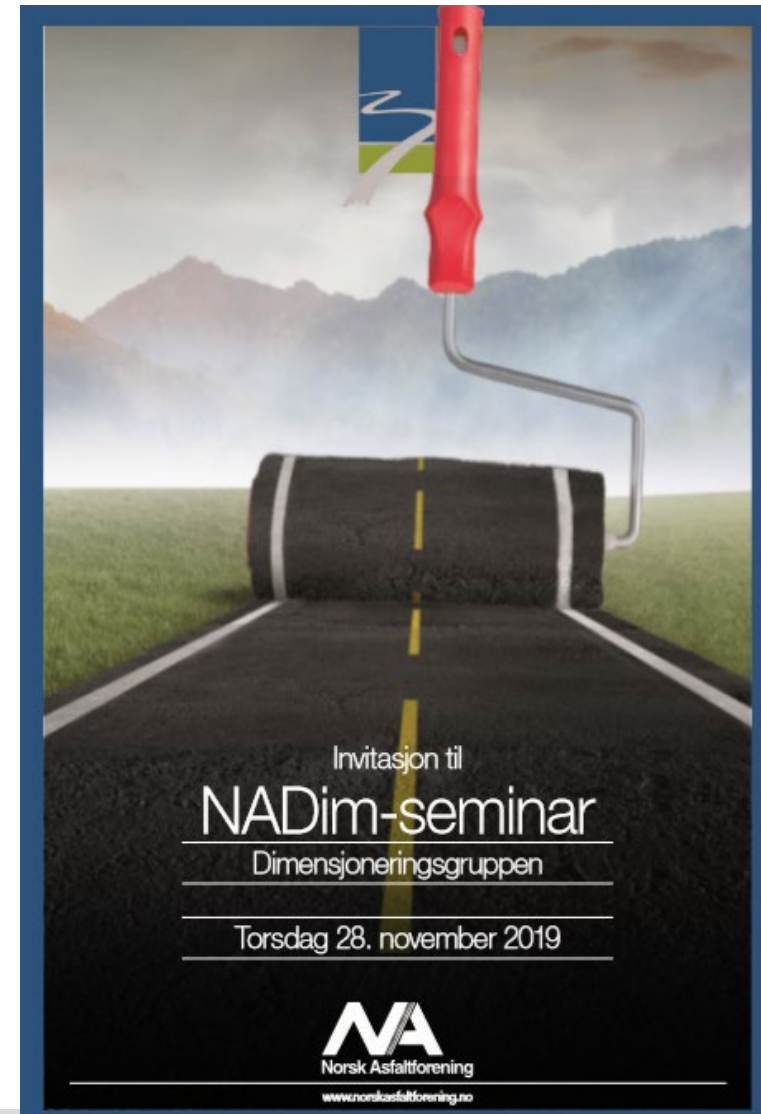


Tatek F. Yideti (Ph.D.)

Statens vegvesen Rø

Vegteknologi og geofag seksjon

28. november 2019





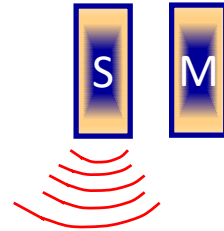
Innhold

1. Georadar – Ground Penetrating Radar (GPR)
2. Prosjekt mål
3. Målte Strekninger
4. Resultater
5. Diskusjon og pågående forslag

Georadar – hva er det?

- Kalles GPR på engelsk – Ground Penetrating Radar
- Elektromagnetiske signaler blir sendt ut fra en antenne for å avbilde undergrunnen

Enkelte av pulsene blir reflektert i soner der den dielektriske verdien endres, mens resten fortsetter



- sender (S)
- Mottaker (M)



- Bundne material (asfalt)
- Ubudne material (pukk, kult...osv)

PaveScan RDM – Georadar Utstyr

- Kjøretøy
- Tre antenner; sender og mottaker
- Et lagringssystem
- Datamaskin for å bearbeide målingsdata



FoU prosjekt mål

- Øke nøyaktigheten av georadarmåling i forhold til hulrommåling i asfaltdekke.
- Redusere kostnad for vedlikehold av dekkeprosjekter.
- Utvikle standard metode for georadarmålinger og system beskrivelse.
- Ny standard metode for asfalt kvalitetskontroll.
- Implementering.....

Målte strekninger



Statens vegvesen

- GPR målingene ble utført fra den 26.06.2019 – 03.07.2019
- Målingene ble utført i tre striper **høyre, mellom og venstre hjulspor**
- Ca. 79 km vegstrekninger ble utført





Målte strekninger

➤ Det var målt 6 forskjellige vegstrekninger i 4 fylker (Østfold, Akershus, Hedmark og oppland) i region øst.

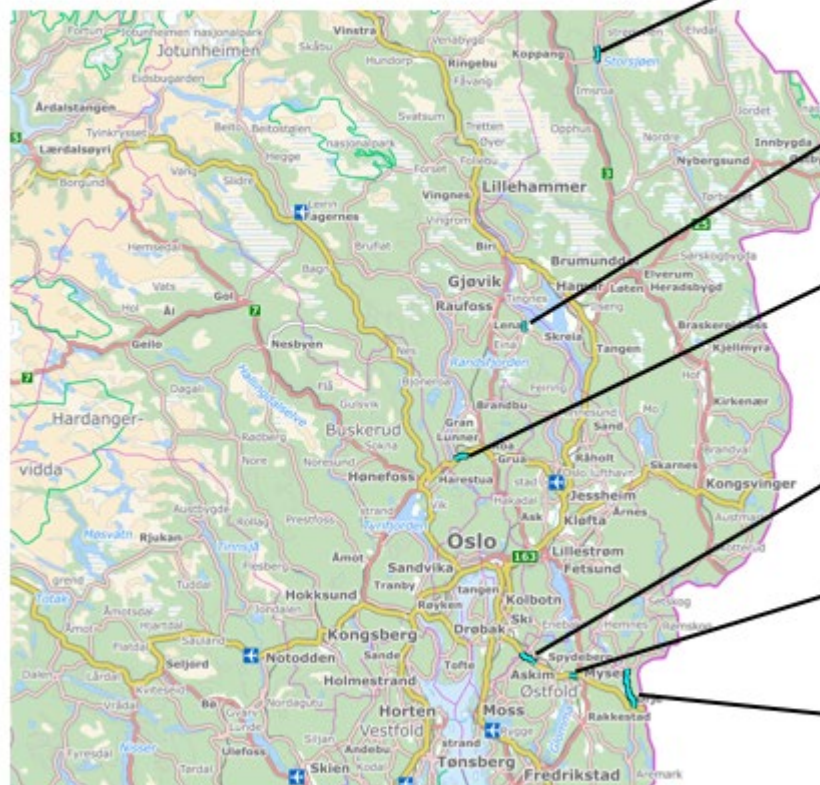
Total = 79,35 km

- E16 Hp 19 M:826–4423 – 3,597 km
- E18 Hp 3 felt1 og 2– 10,559 km –Riksgrensen – Ørje Elvebru
- E18 Hp 3 felt 1 og 2– 10,559 km
- Fv. 21 Hp 10 Marker kommune – M: 198 –8779 – 8,581 km
- Fv. 30
 - Felt 1 Hp 1 m 11432 – 12018 – 0,586 km
 - Felt 1 Hp 2 m 0–12732 – 12,732 km
 - Felt 2 Hp 1 m 12018 – 11432 -- 0,586 km
 - Felt 2 Hp 2 m 12732 – 0 12,732 km
- Fv. 33 Hp2
 - Felt 1 Hp 2 m 0–3714 – 3,714 km
 - Felt 2 Hp 2 m 3714 – 0 – 3,714 km
- Rv. 4 Hp 6 Eina
 - Felt 1 Hp 6 m 1072–5995 – 5,995 km
 - Felt 2 Hp 6 m 5995– 1072 – 5,995 km

Målte strekninger



Statens vegvesen



Feltstrekning
04 Fv30 hp01 m:11425 - hp02 m:504
Fradato: 20140618

Feltoversikt: 1#2

Feltstrekning
05 Fv33 hp02 m:2156-3368
Fradato: 19950101

Feltoversikt: 1#2#2F

Feltstrekning
05 E16 hp18 m:2564 - hp19 m:4435
Fradato: 20130101

Feltoversikt: 1#2

Feltstrekning
01 E18 hp01 m:0-5388
Fradato: 20161205

Feltoversikt: 1#2#3#4

Feltstrekning
01 E18 hp03 m:1900-47
Fradato: 20131001

Feltoversikt: 1#2#3#4

Feltstrekning
01 Fv21 hp10 m:195-15600
Fradato: 20171129

Feltoversikt: 1#2

Målte strekninger



Statens vegvesen

Fylke	Veg	Felt	FHp	FMeter	THp	TMeter	Lengde	Dekketype	Feltoversikt
Østfold	E18	1	1	572	1	1507	935	Ska 16	1#2#3#4
Østfold	E18	1	1	1957	1	2921	964	Ska 16	1#2#3#4
Østfold	E18	1	1	3073	1	6307	3234	Ska 16	1#2#3#4
Østfold	E18	1	1	3092	1	4556	1464	Ska 16	1#2#3#4
Østfold	E18	2	1	1509	1	794	715	Ska 16	1#2#3#4
Østfold	E18	2	1	2920	1	1957	963	Ska 16	1#2#3#4
Østfold	E18	2	1	4556	1	3092	1464	Ska 16	1#2#3#4
Østfold	E18	3	1	1319	1	1507	188	Ska 16	1#2#3#4
Østfold	E18	4	1	1431	1	790	641	Ska 16	1#2#3#4
Østfold	E18	4	1	2920	1	2272	648	Ska 16	1#2#3#4
Østfold	E18	4	1	3351	1	3073	278	Ska 16	1#2#3#4
Østfold	E18	1	3	1299	3	4754	2850	Ska 16	1#2#3#4
Østfold	E18	1 nr 2	3	1299	3	4754	3455	Ska 16	1#2#3#4
Østfold	E18	2	3	4754	3	1299	3455	Ska 16	1#2#3#4
Østfold	E18	2 nr 4	3	1717	3	1299	418	Ska 16	1#2#3#4
Østfold	E18	2 nr 2	3	4754	3	3978	776	Ska 16	1#2#3#4
Østfold	E18	2 nr 3	3	3867	3	1899	1968	Ska 16	1#2#3#4
Østfold	Fv21	1	10	198	10	8778	8580	Agb 11	1#2
Østfold	Fv21	2	10	8778	10	198	8580	Agb 11	1#2
Hedmark	Fv30	1	1	11432	1	12019,0	587,0	?	1#2
Hedmark	Fv30	2	1	12019	1	11432	587,0	?	1#2
Hedmark	Fv30	1	2	0,0	2	12732	12732	?	1#2
Hedmark	Fv30	2	2	12732	2	0	12732	?	1#2
Oppland	E16	1	19	826	19	4423	3597	Ab 11 PMB	1#2
Oppland	E16	2	19	4423	19	826	3597	Ab 11 PMB	1#3
Oppland	Fv33	1	2	0	2	3714	3714	528	1#2
Oppland	Fv33	2	2	3714	2	0	3714	528	1#2

Sammenheng mellom dielektrisk verdi og hulrom

- Antall borekjerper blir bestemt fra PaveScan RDM.
- Det blir normalt tatt 9 borekjerneprøver på referanse punkter med $d=15$ cm
 - 3 prøver – lave verdier
 - 3 prøver – middels verdier
 - 3 prøver – høye verdier
- Eksponentiell formel som kan brukes i PaveScan RDM for å beregne hulrom fra dielektriske verdier.

$$H = Ae^{Bd}$$

H = Labmålt hulrom fra borekjernen, som kan være % hulrom;

d = GPR målt dielektrisk verdi/permittivitet;

A og B – konstanter

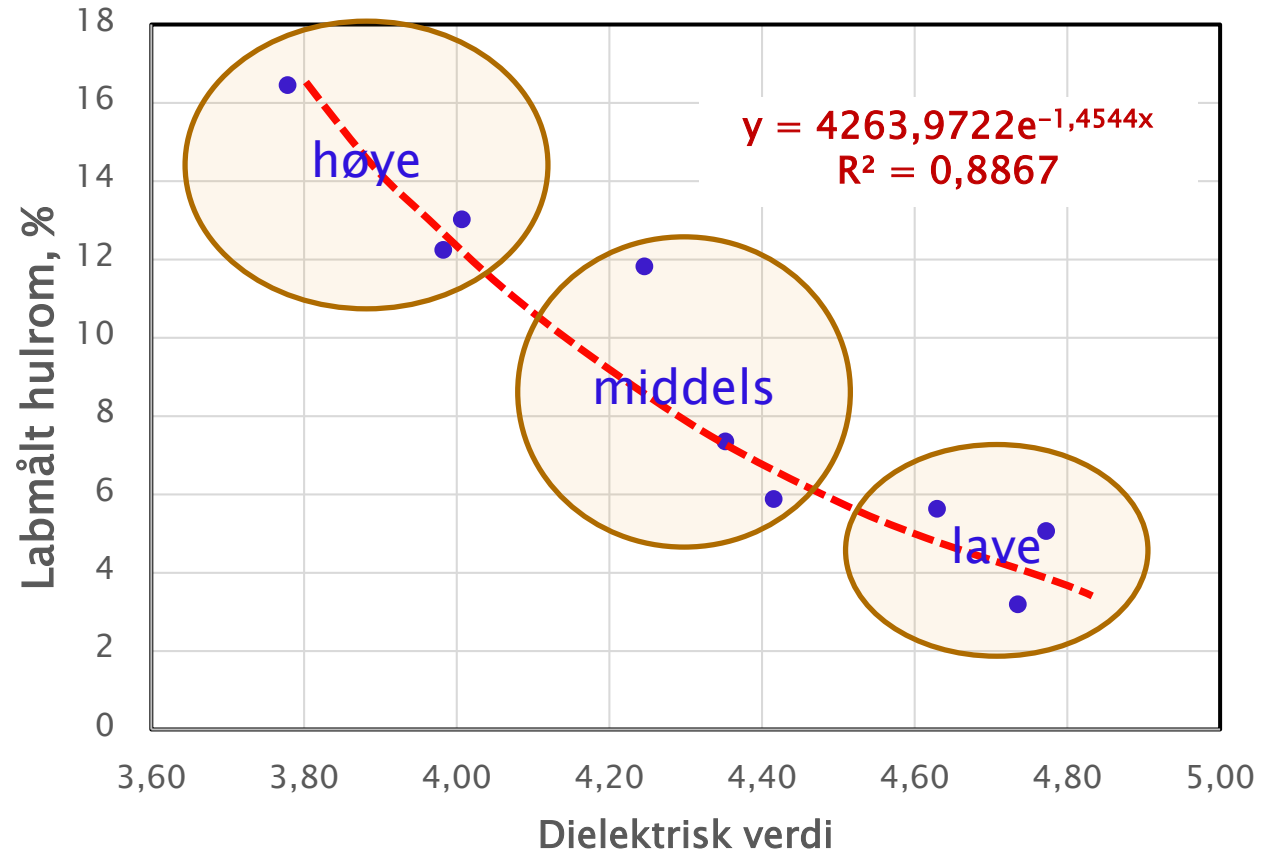


Målt dielektrisk verdi vs. Labmålt hulrom



Statens vegvesen

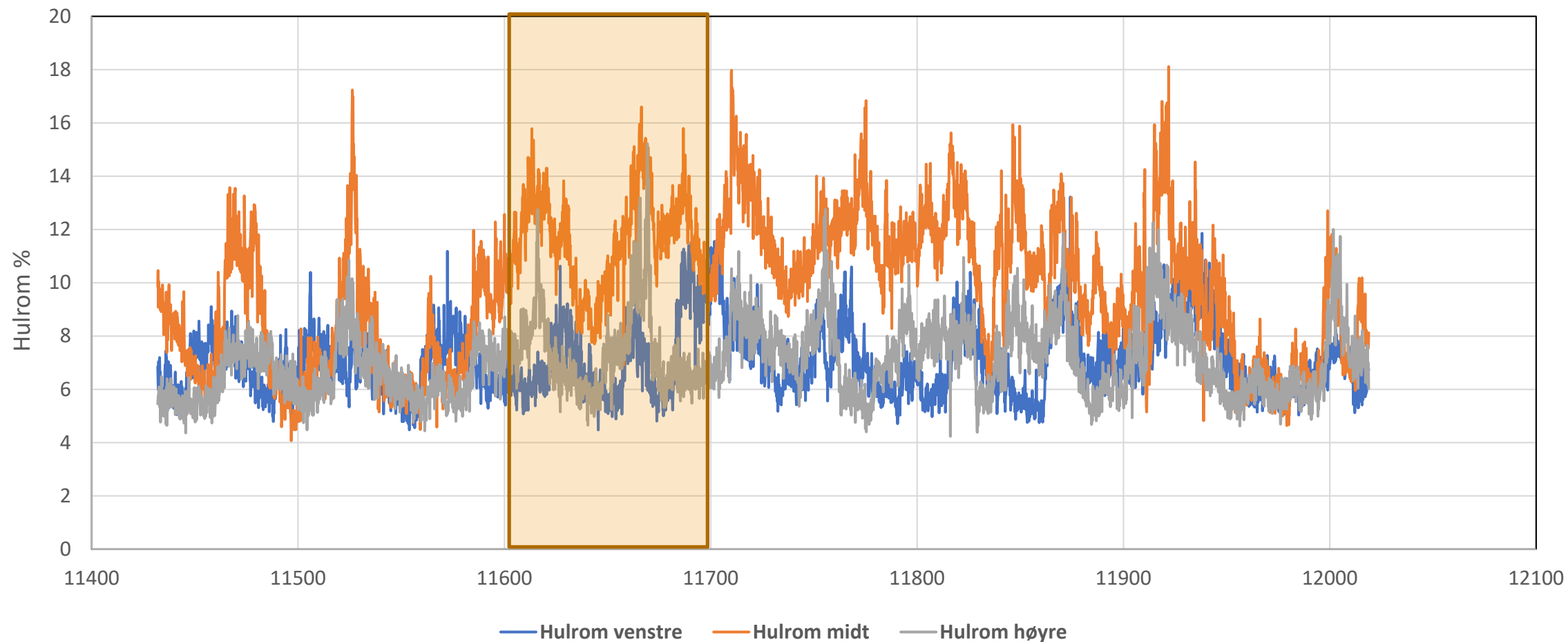
Fv. 30 Hp 1 og 2 – Dekketype – Agb 11



Dielektrisk verdi status	Punkt	Profil, m	Dielektrisk verdi	Kappet (hydrostatisk overflatetørr)	Måling Kappet
Middel	Punkt 1 Felt 2	326	4,25	11,49 %	11,82 %
Høy	Punkt 2 Felt 2	377	4,63	5,63 %	6,75 %
Lav	Punkt 3 Felt 2	1231	3,98	10,75 %	12,24 %
Middel	Punkt 4 Felt 2	5350	4,42	5,88 %	6,33 %
Høy	Punkt 5 Felt 2	5463	4,74	3,19 %	3,56 %
Lav	Punkt 6 Felt 2	6443	4,01	10,42 %	13,02 %
Lav	Punkt 7 Felt 2	9738	3,78	11,43 %	16,45 %
Middel	Punkt 8 Felt 2	9839	4,35	7,35 %	9,08 %
Høy	Punkt 9 Felt 2	5658	4,77	5,06 %	6,30 %

GPR hulrom resultater for fv. 30

Fv 30 hp 1 felt 1 hulrom

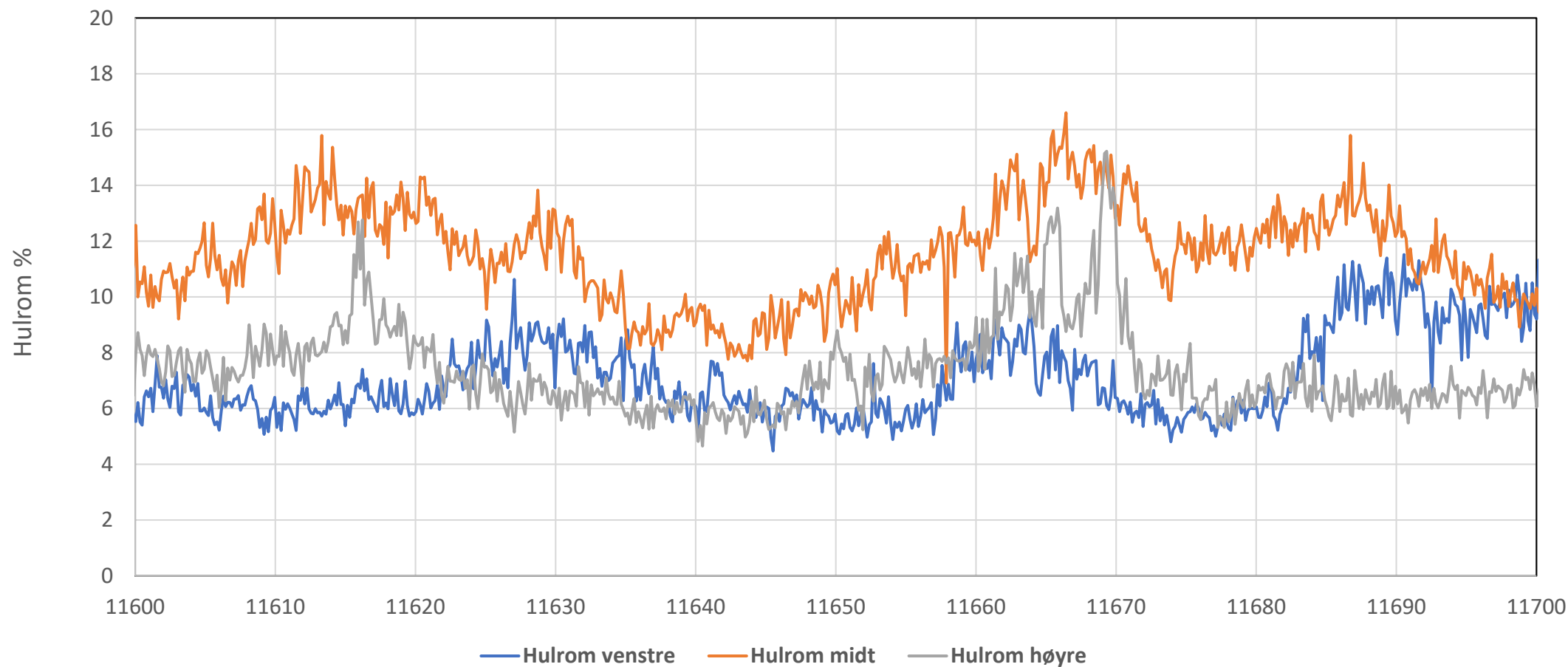


100 m hulrom for fv. 30



Statens vegvesen

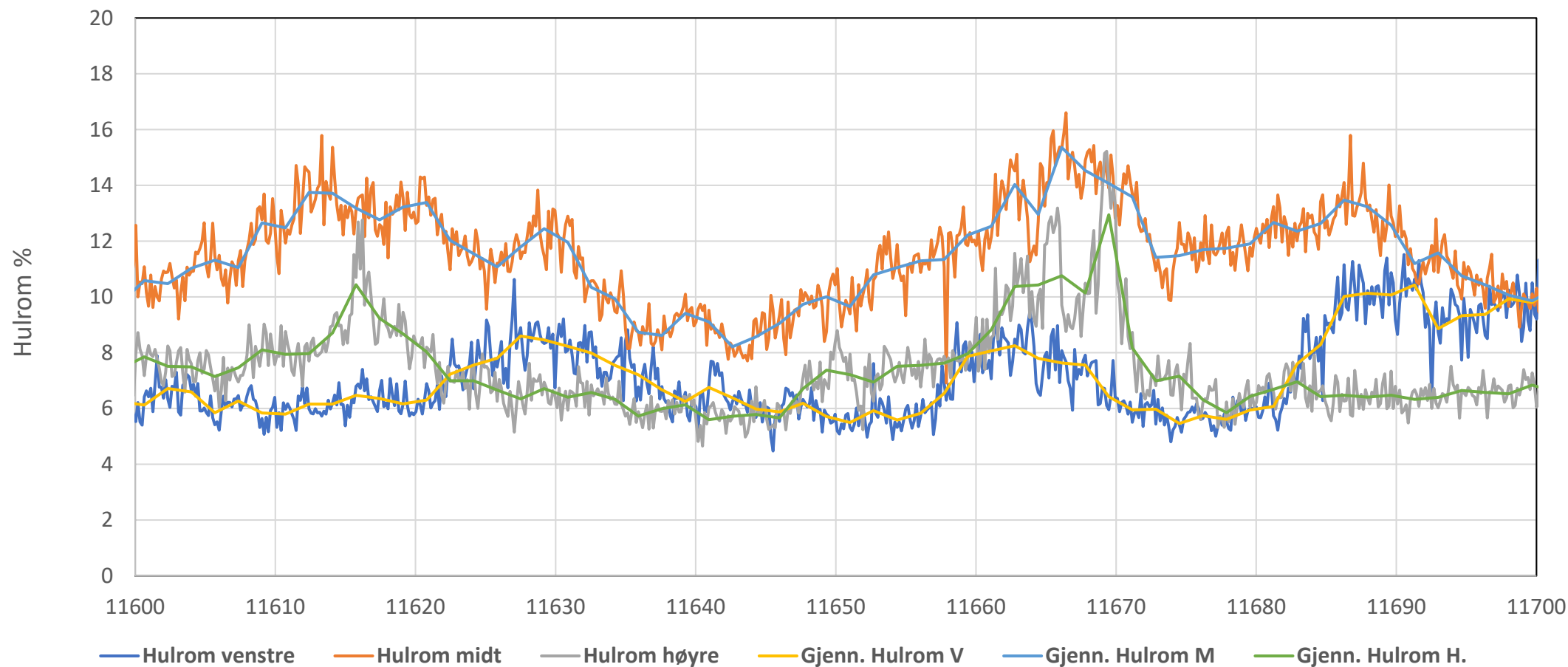
Fv 30 hp 1 felt 1 hulrom





Detaljmålinger og gjennomsnitt hulrom hver 1,5 m

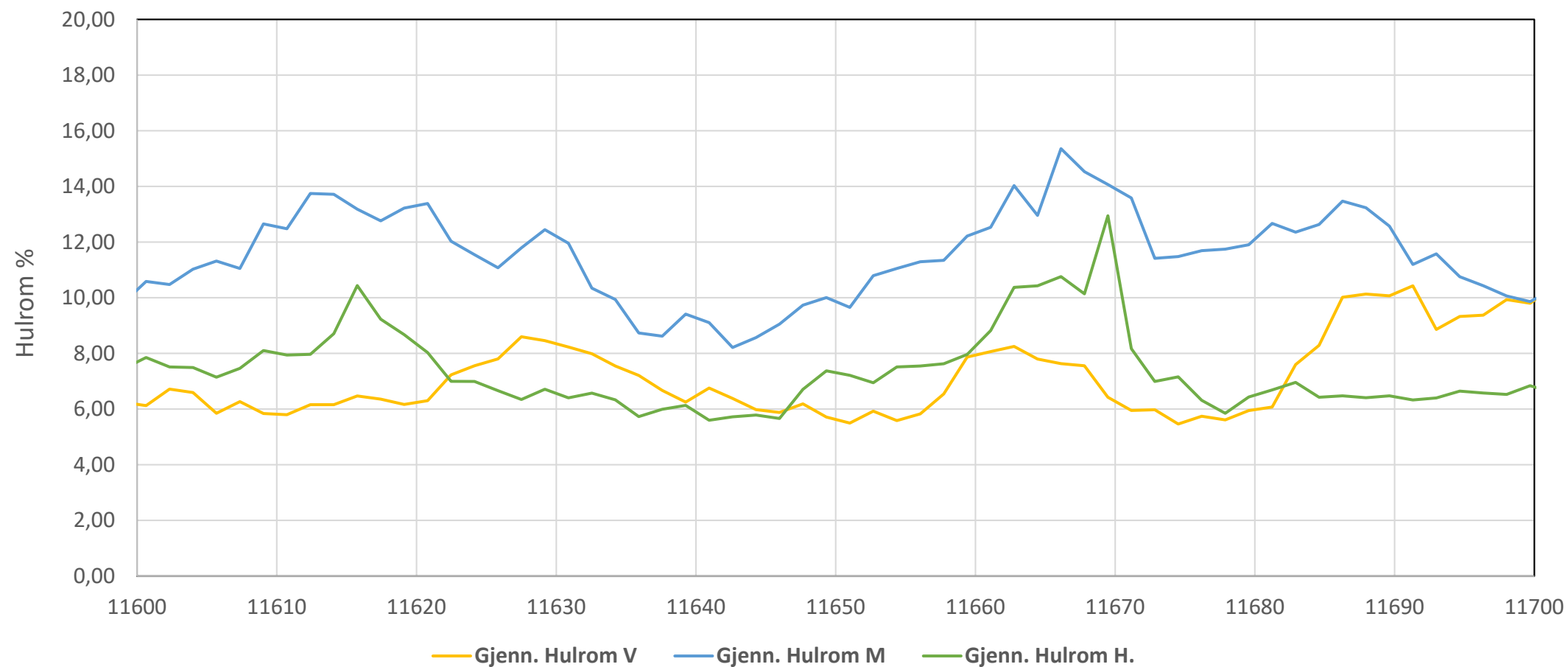
Fv 30 hp 1 felt 1 hulrom





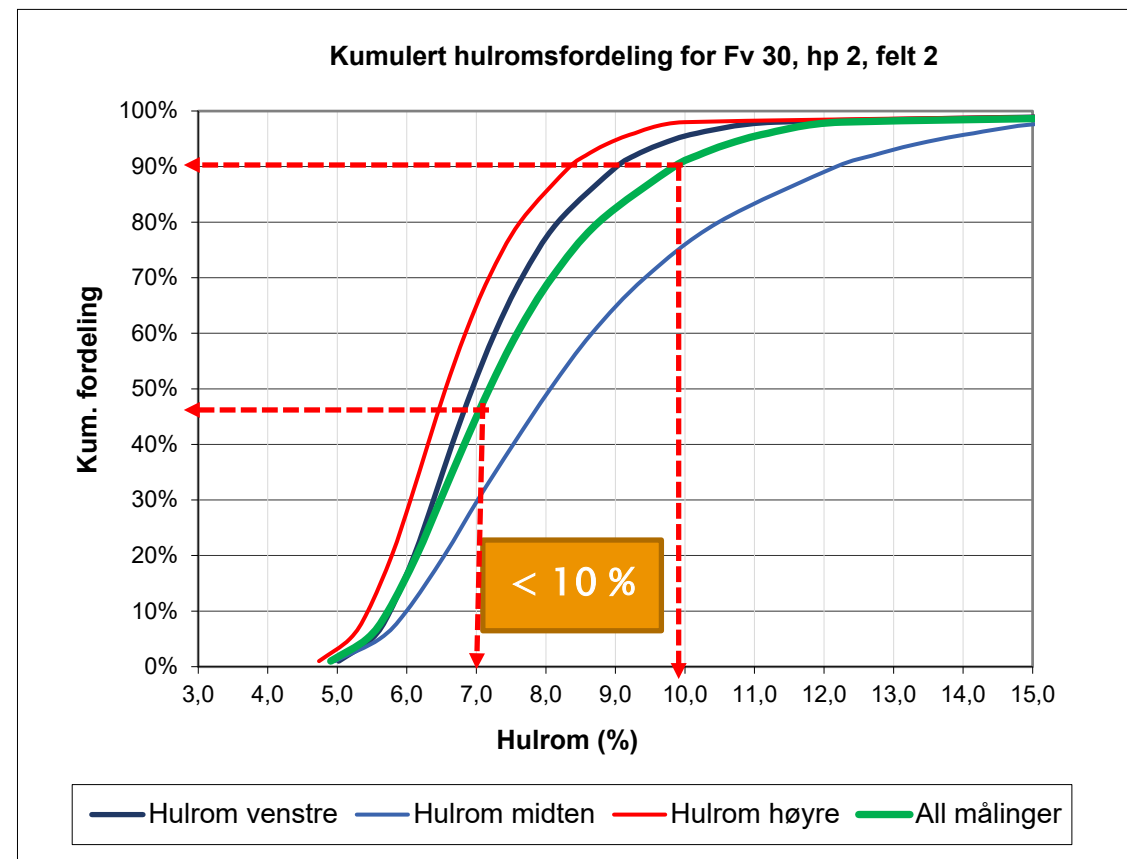
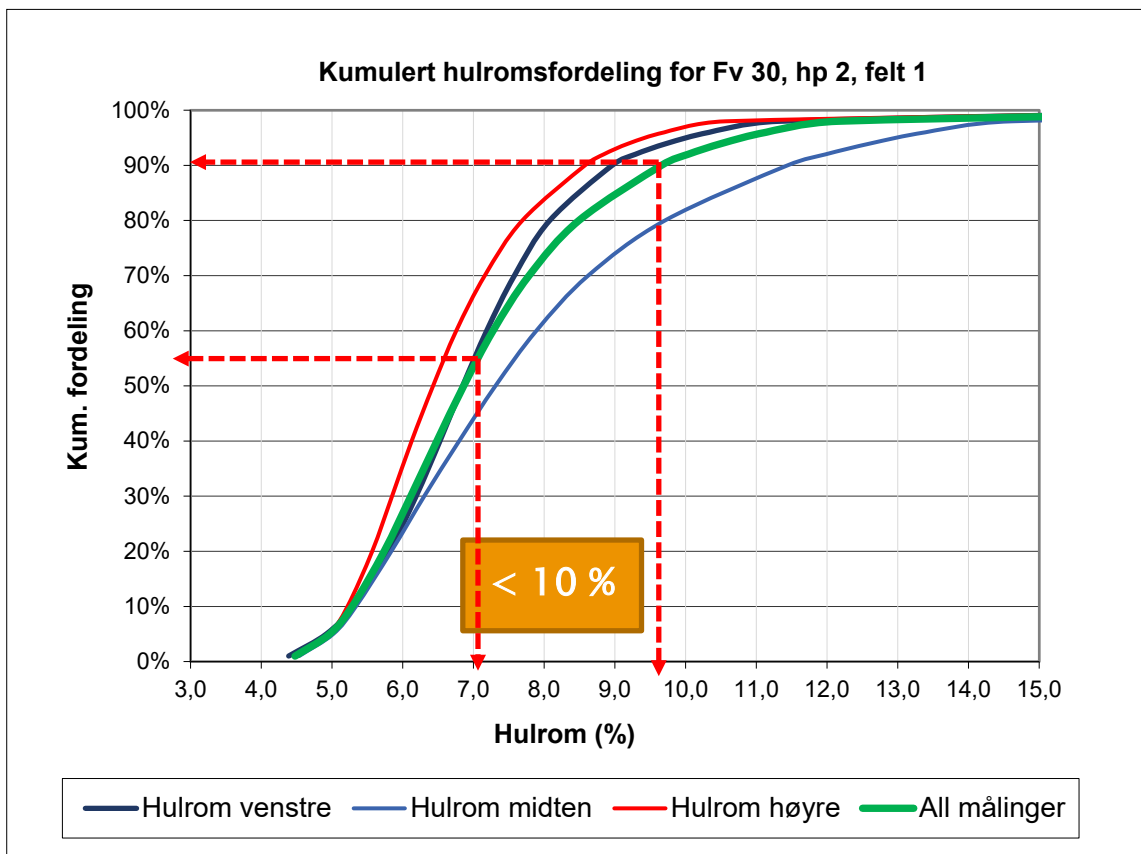
Gjennomsnitt hulrom hver 1,5 m

Fv 30 hp 1 felt 1 hulrom



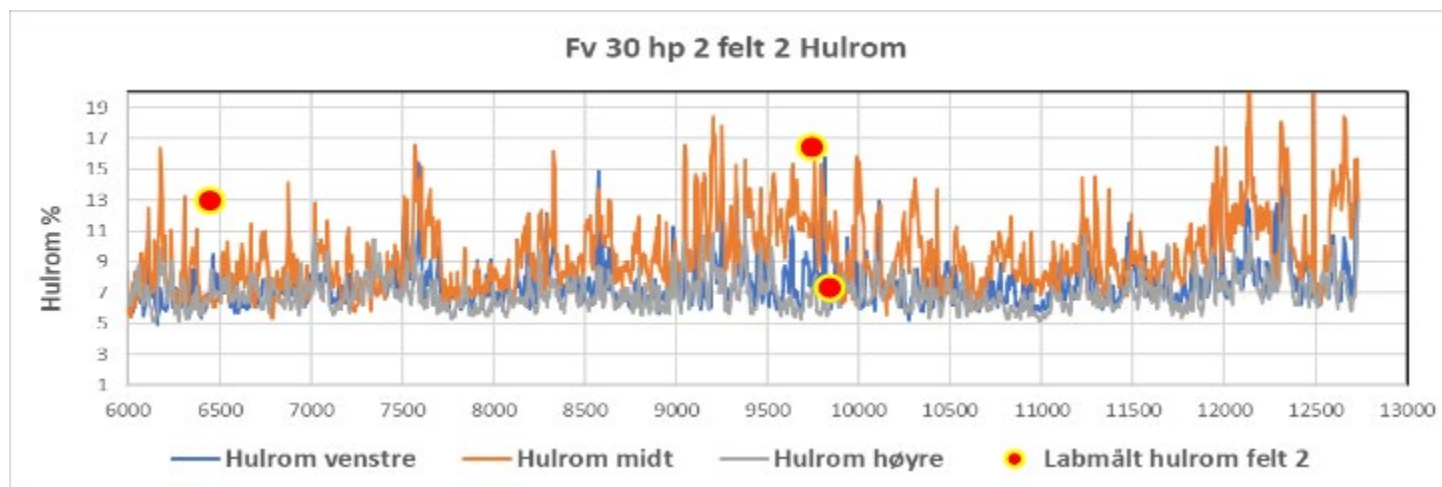
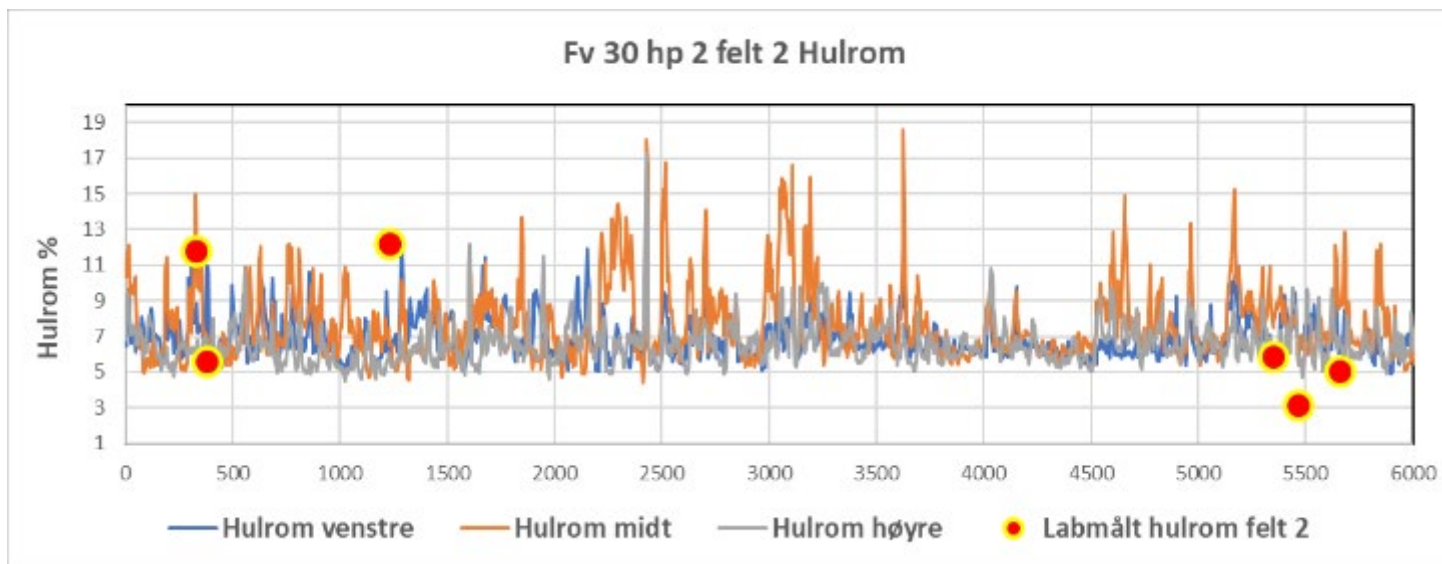


Kumulativ hulromfordeling for felt 1 og 2

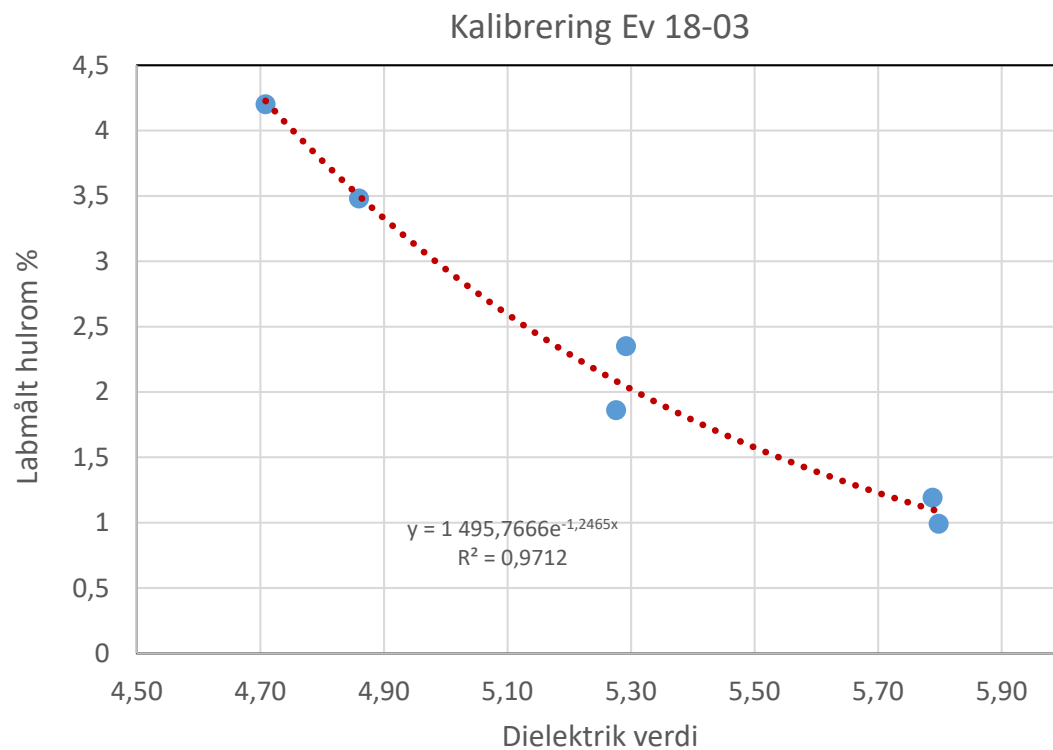


45 til 55 % av strekningen har hulrom større enn kravet på 7 %.

GPR og lab målt hulrom resultater



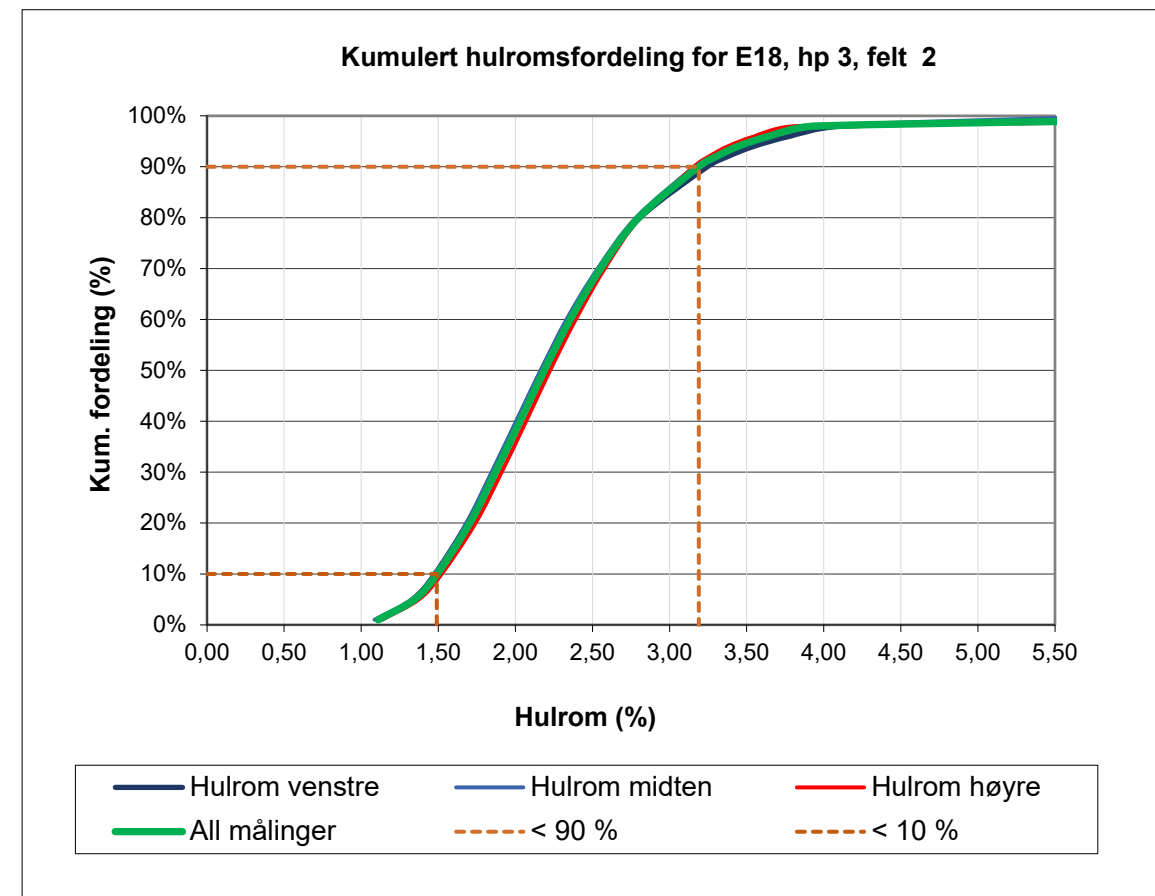
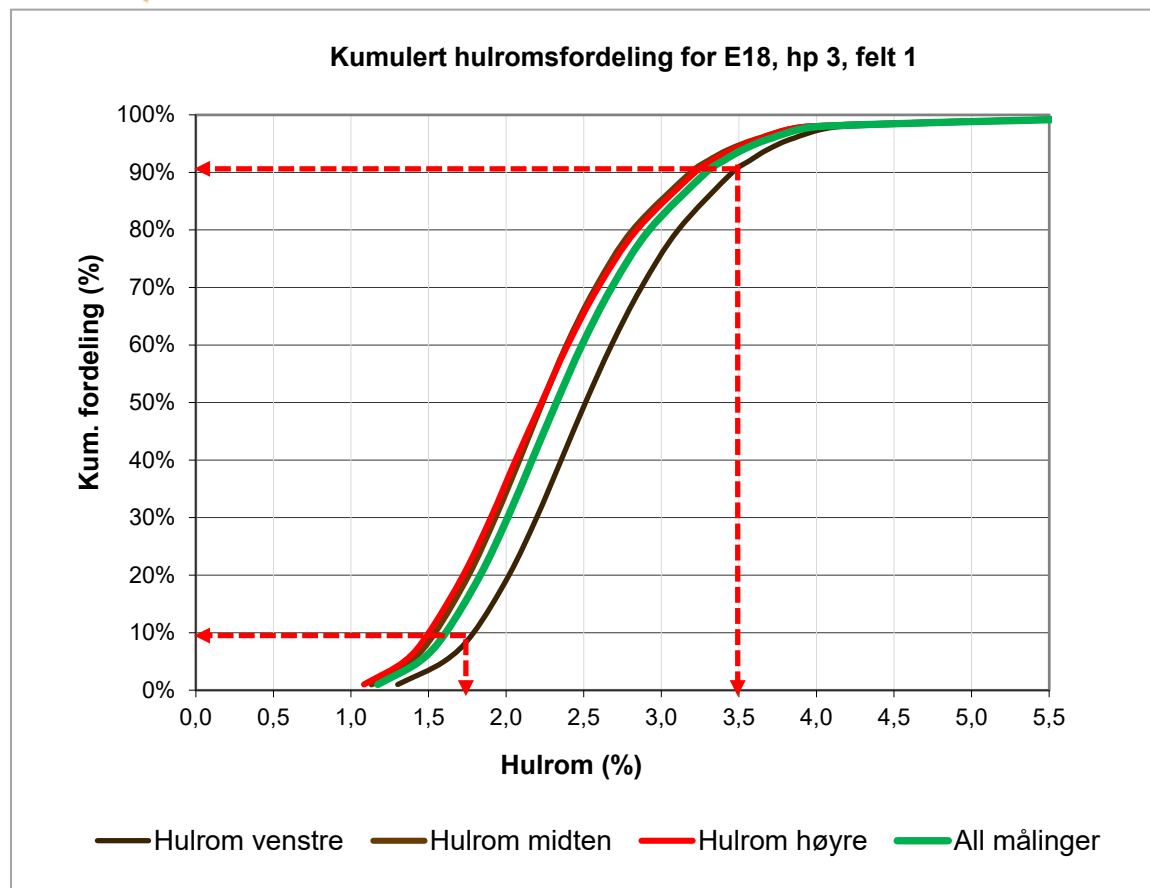
Kalibrering - E18, hp 1 og 3. Østfold.



Dielektrisk verdi status	Punkt	Profil, m	Dielektrisk verdi	Hulrom lab, ikke kappet hydrostatisk
Lav	Punkt 1 Felt 1	1353	4,71	6,5
Middel	Punkt 2 Felt 1	1384	5,29	3,69
Lav	Punkt 3 Felt 1	1445	4,86	5,44
Middel	Punkt 4 Felt 1	1985	5,28	3,37
Høy	Punkt 5 Felt 1	2281	5,79	2,6
Høy	Punkt 6 Felt 1	2618	5,80	2,35



Kumulativ hulromfordeling for felt 1 og 2



Her ligger 90 % av hulrommene er mindre enn 3,5 % og i all hovedsak mellom 1,5 og 3,5 %.

10 % av hulrommene er mindre enn ca. 1,8 %.

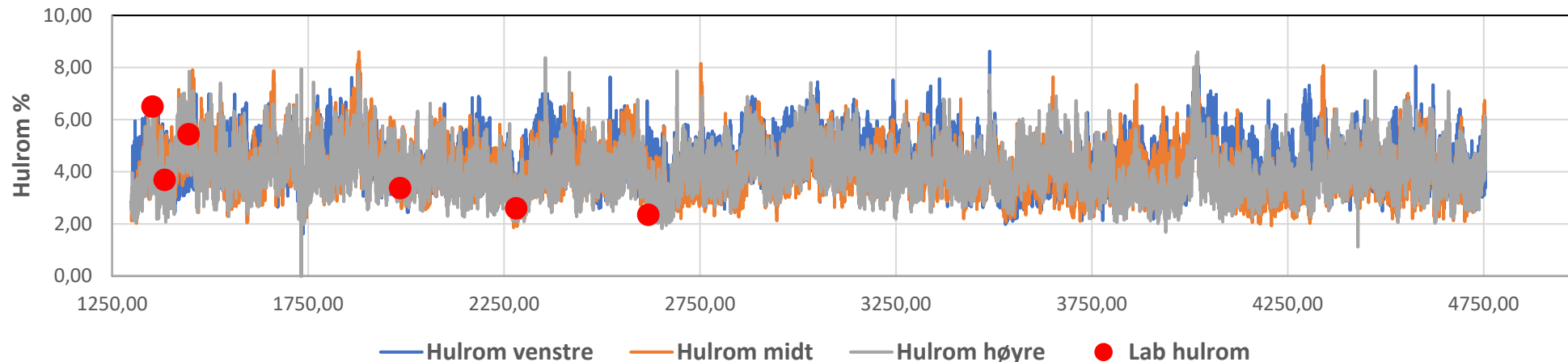
GPR hulrom resultater



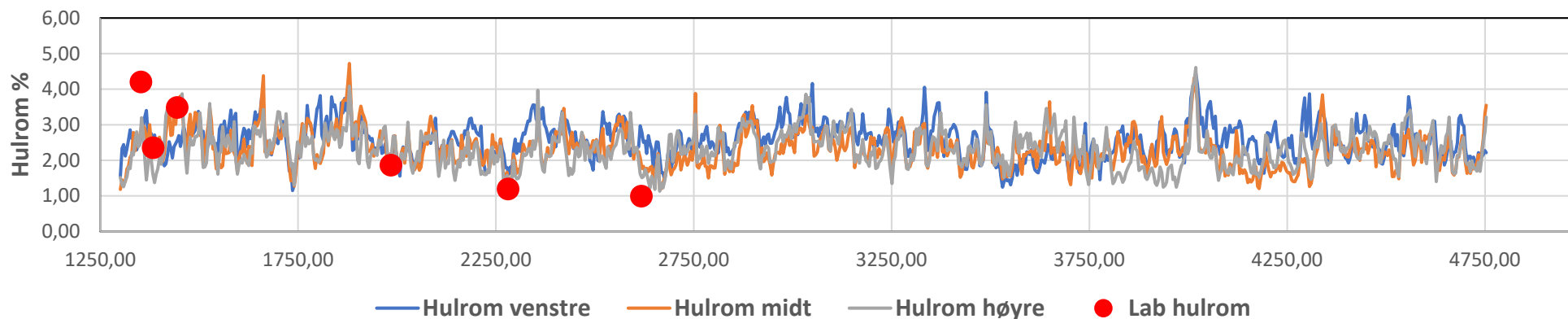
Statens vegvesen

E18 Hp 3 felt1 med bruskjøter – Dekketype – SMA 16 PMB Ska 16

Ev 18 hp 3 felt 1 hulrom



Ev 18 hp 3 felt 1 hulrom

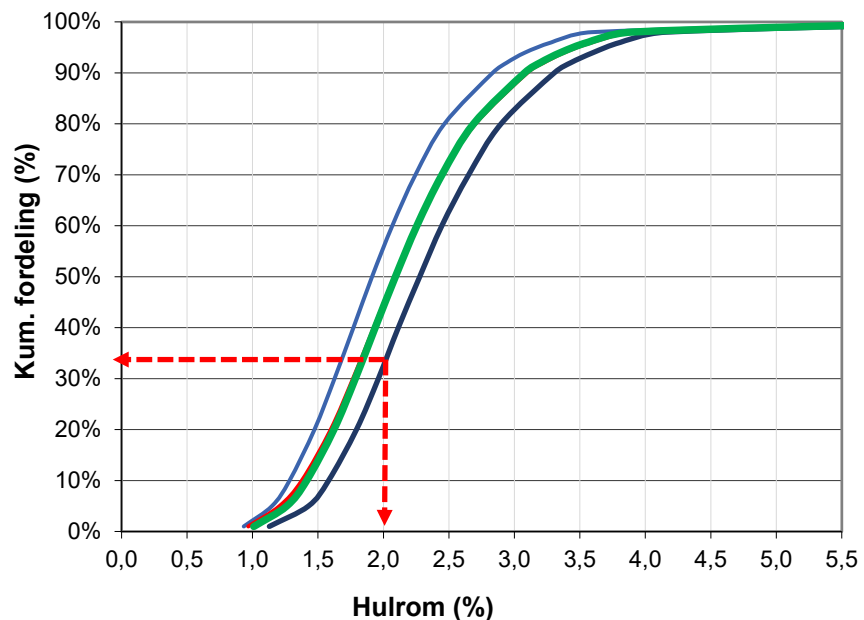


Hver 4 m

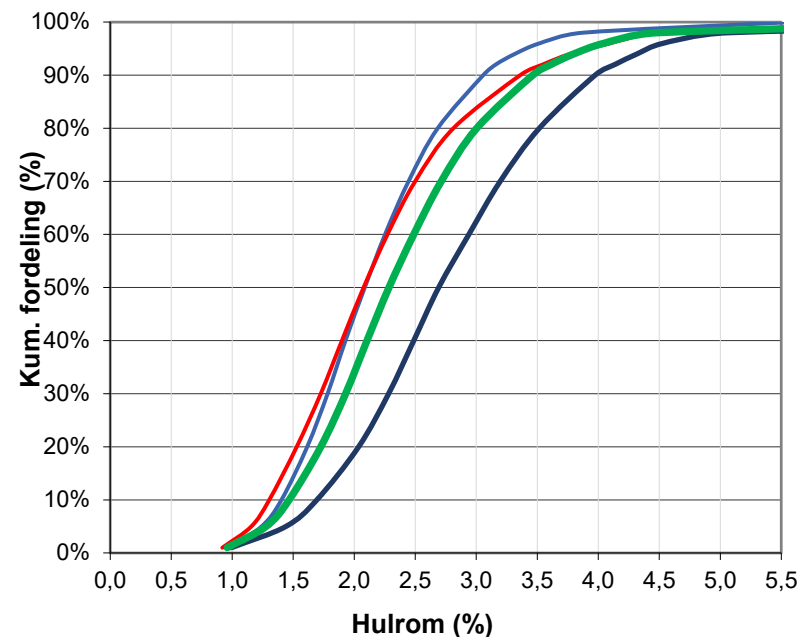


Kumulativ hulromfordeling E1 8 hp1

Kumulert hulromsfordeling for E18, hp 1, felt 1



Kumulert hulromsfordeling for E18, hp 1, felt 2

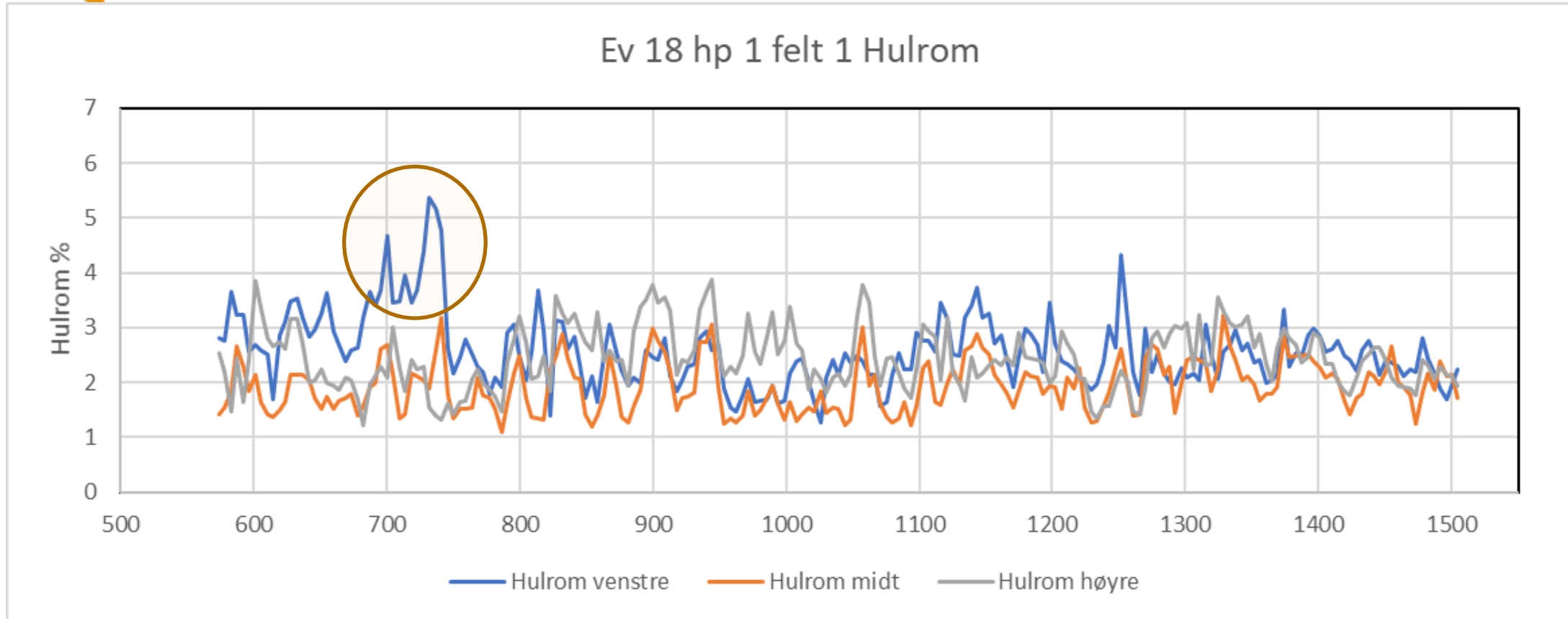


- Samme kalibreringsfaktorer er benyttet på disse punktene.
- Hulroms verdiene er noe lave, men variasjonene er svært små.
- Ingen målinger viser høyere hulrom enn 5 % for felt 1 og 2.
- Ca 35 % har hulrom under kravet på 2 %.

GPR hulrom resultater



Statens vegvesen



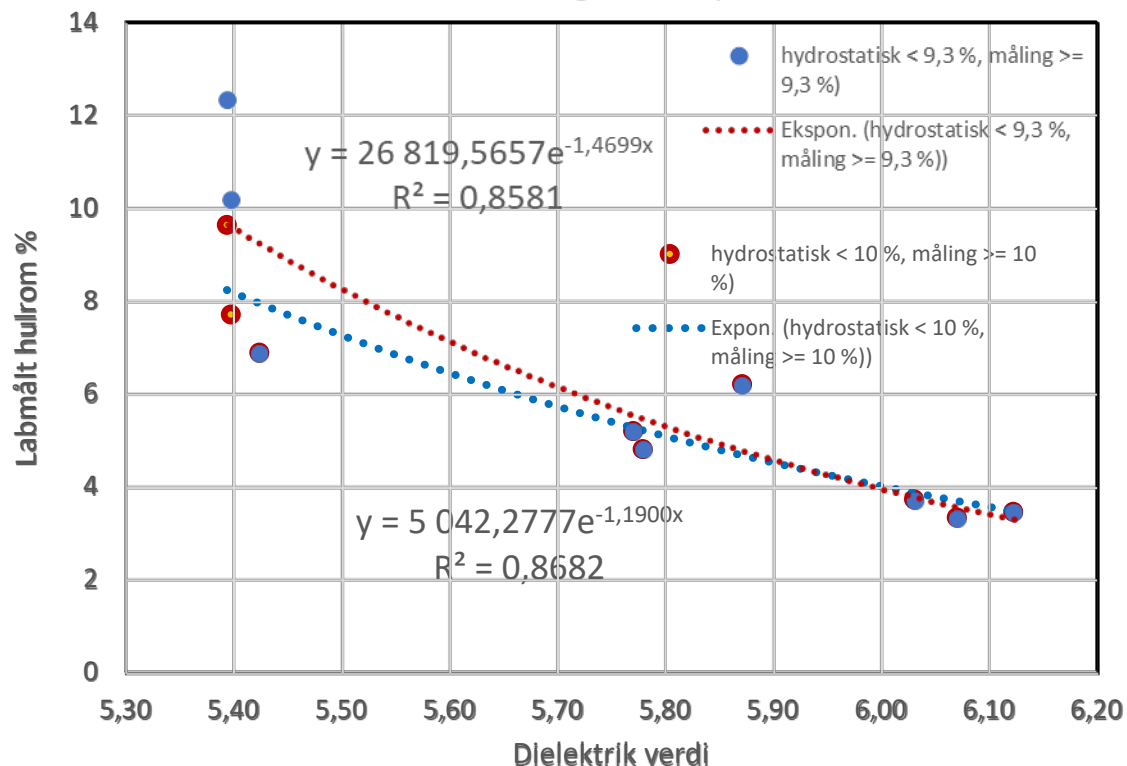
Målt dielektrisk verdi vs. Labmålt hulrom



Statens vegvesen

Fv. 21 Hp 10 Dekketype – AC 11 surf 160/220 Agb 11

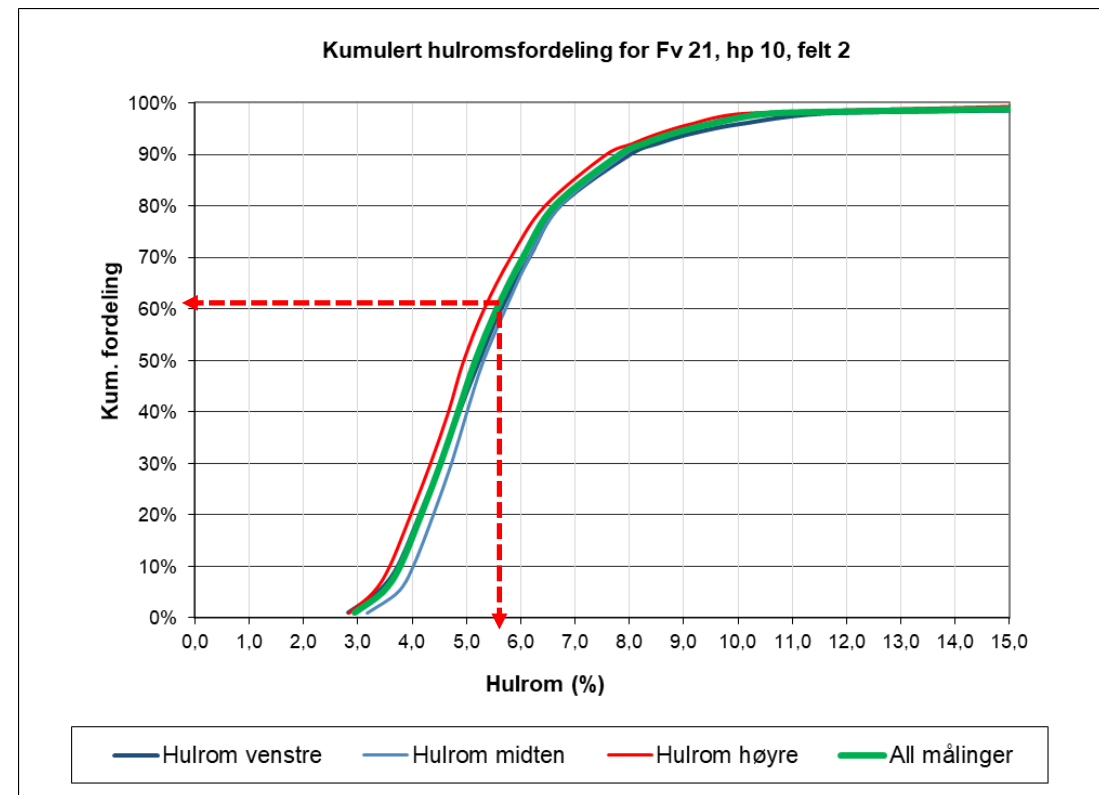
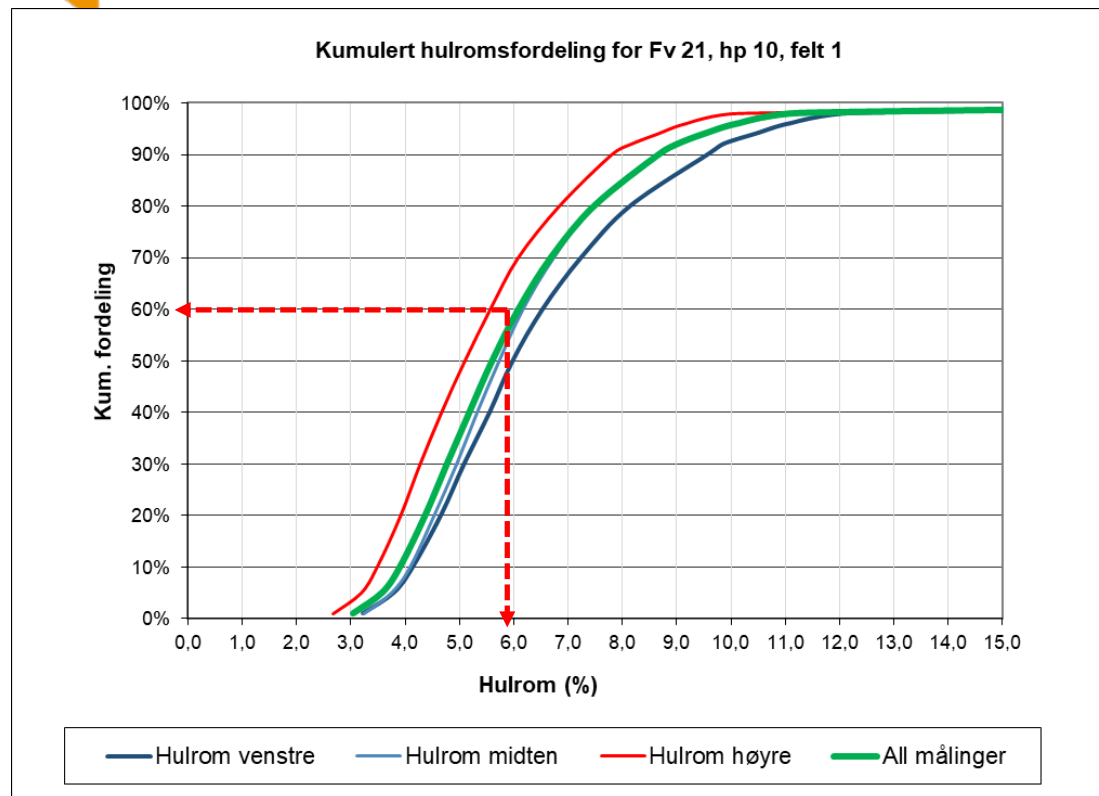
Kalibrering Fv 21-Hp 10



Dielektrisk verdi status	Punkt	Profil, m	lektrisk ve	Hulrom lab, ikke kappet hydrostatisk	Hulrom beregnet fra borkjerne, IKKE kappet topp, "måling"
Middel	Punkt 1 Felt 1	300	5,78	4,79	7,17 %
Høy	Punkt 2 Felt 1	912	6,12	3,44	5,84 %
Middel	Punkt 3 Felt 1	1183	5,77	5,18	6,87 %
Høy	Punkt 4 Felt 1	1518	6,03	3,71	5,88 %
Middel	Punkt 5 Felt 1	1670	5,87	6,19	9,20 %
Høy	Punkt 6 Felt 1	1959	6,07	3,32	5,00 %
Lav	Punkt 7 Felt 1	4365	5,42	6,87	9,36 %
Lav	Punkt 8 Felt 1	4717	5,39	9,62	12,33 %
Lav	Punkt 9 Felt 1	6139	5,4	7,69	10,18 %



Kumulativ hulromfordeling for felt 1 og 2



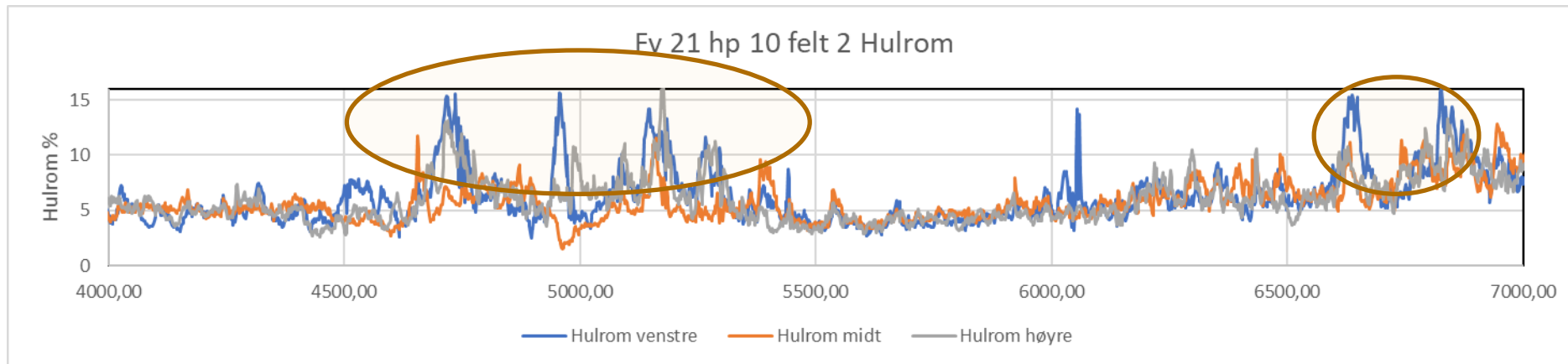
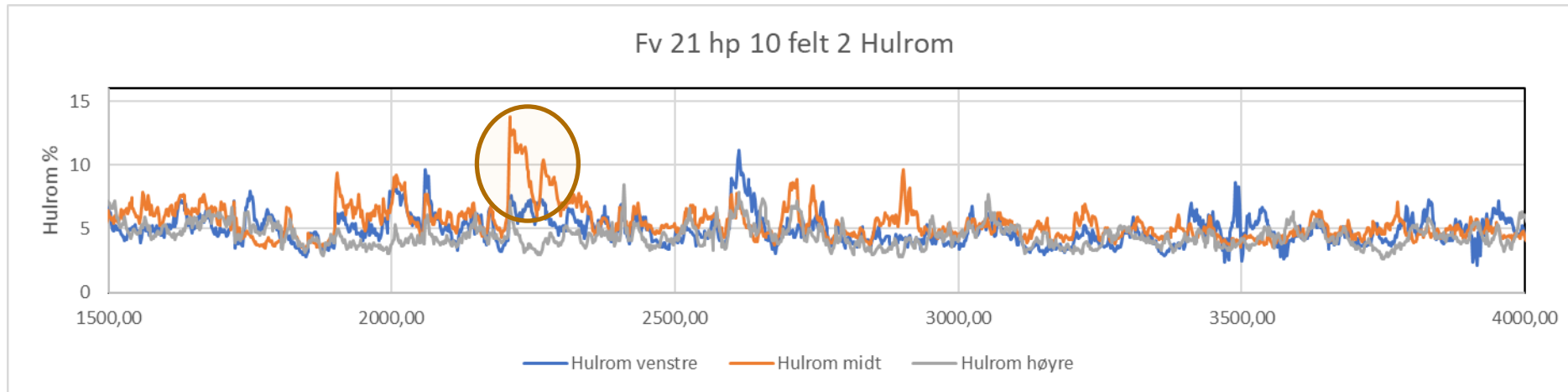
Her ligger 60 % av hulrommene er mindre enn ca. 6 % for alle målinger. Hulrommet for slitelaget skal være mellom 2 og 6 %. Men, resultatene viser at 60 % av hulrommene er tilfredsstillende.

GPR hulrom resultater



Statens vegvesen

Fv. 21 Hp 10 – Dekketype – AC 11 surf 160/220 Agb 11

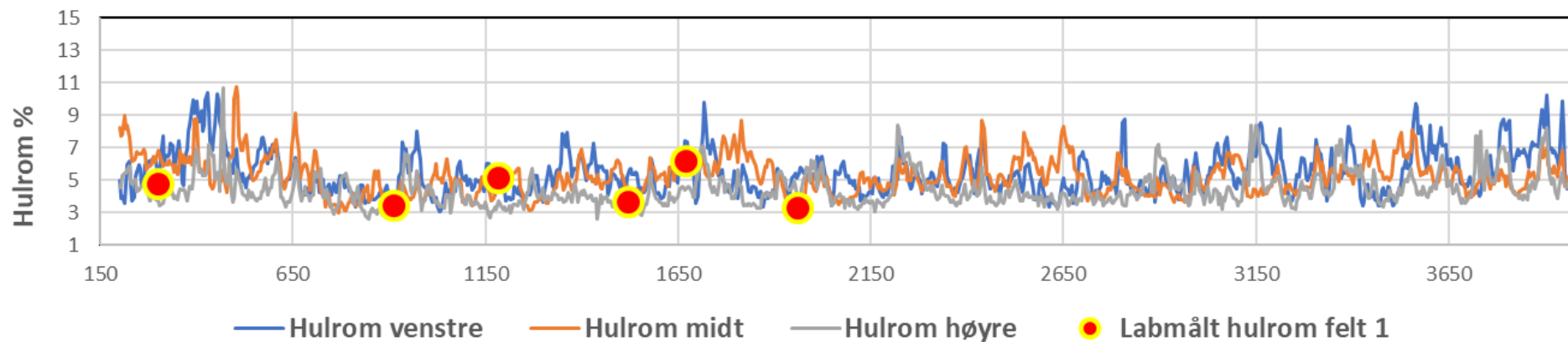


GPR hulrom resultater

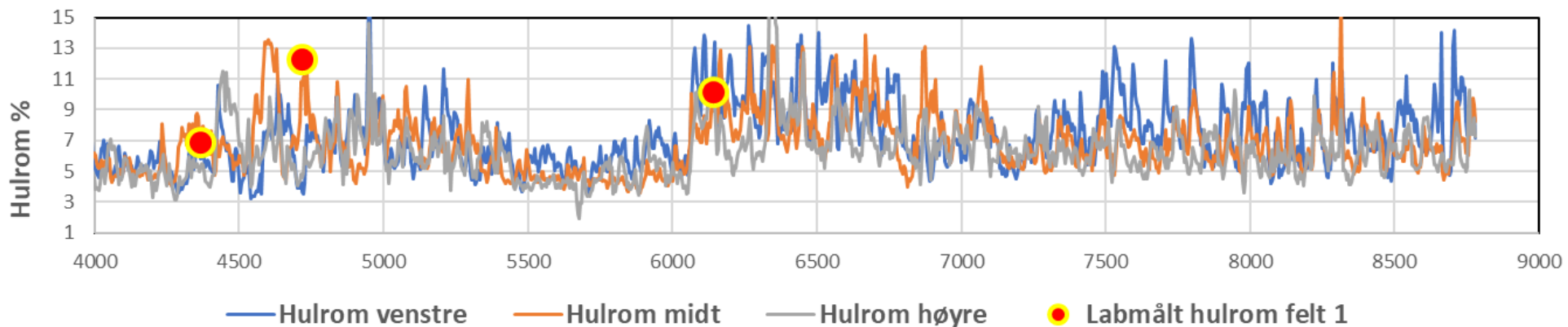


Statens vegvesen

Fv 21 hp 10 felt 1 Hulrom



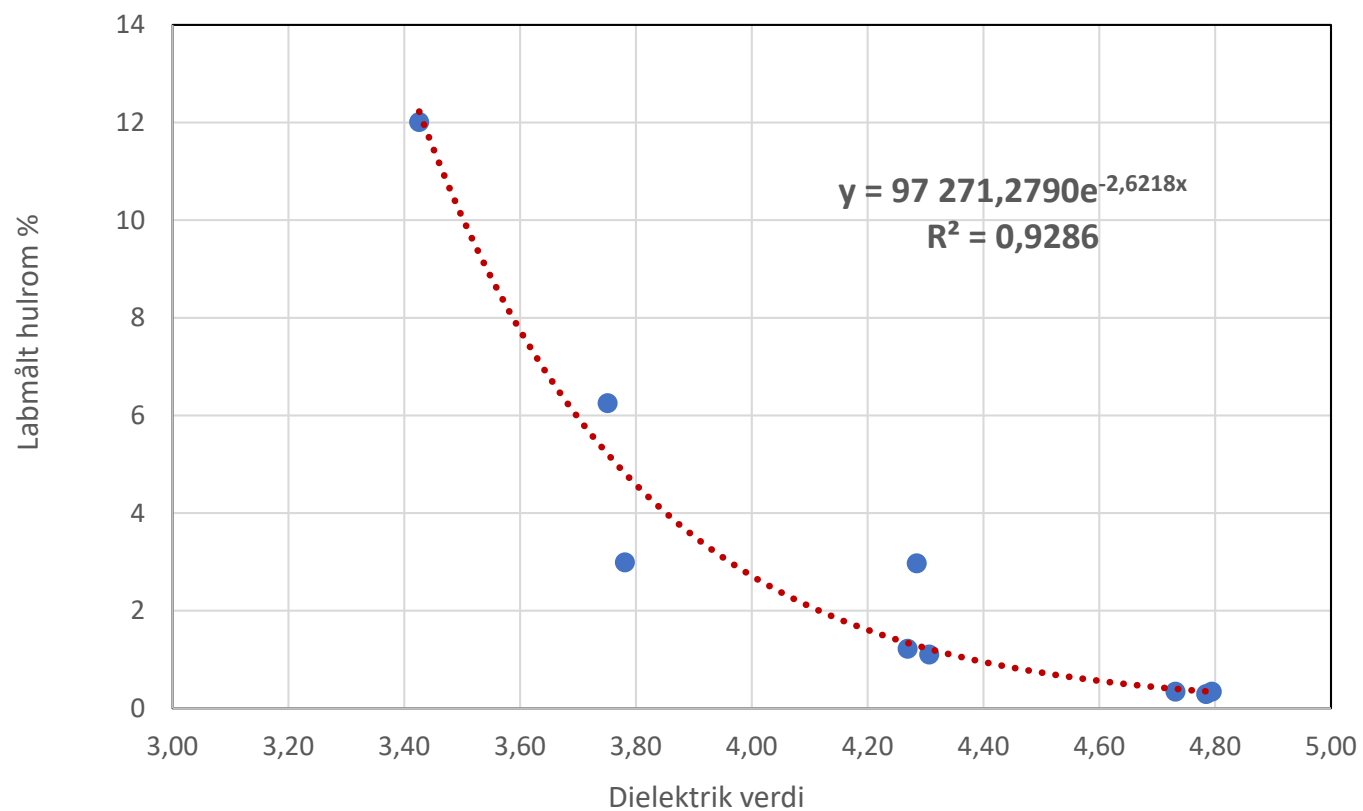
Fv 21 hp 10 felt 1 Hulrom



Målt dielektrisk verdi vs. Labmålt hulrom

Dekketype – SMA 16 PMB

Målt dielektrisk verdi vs lab.-målt hulrom for Fv 33-Hp 2



Hulrom borkjerner. Fv 33, hp 2, Oppland.

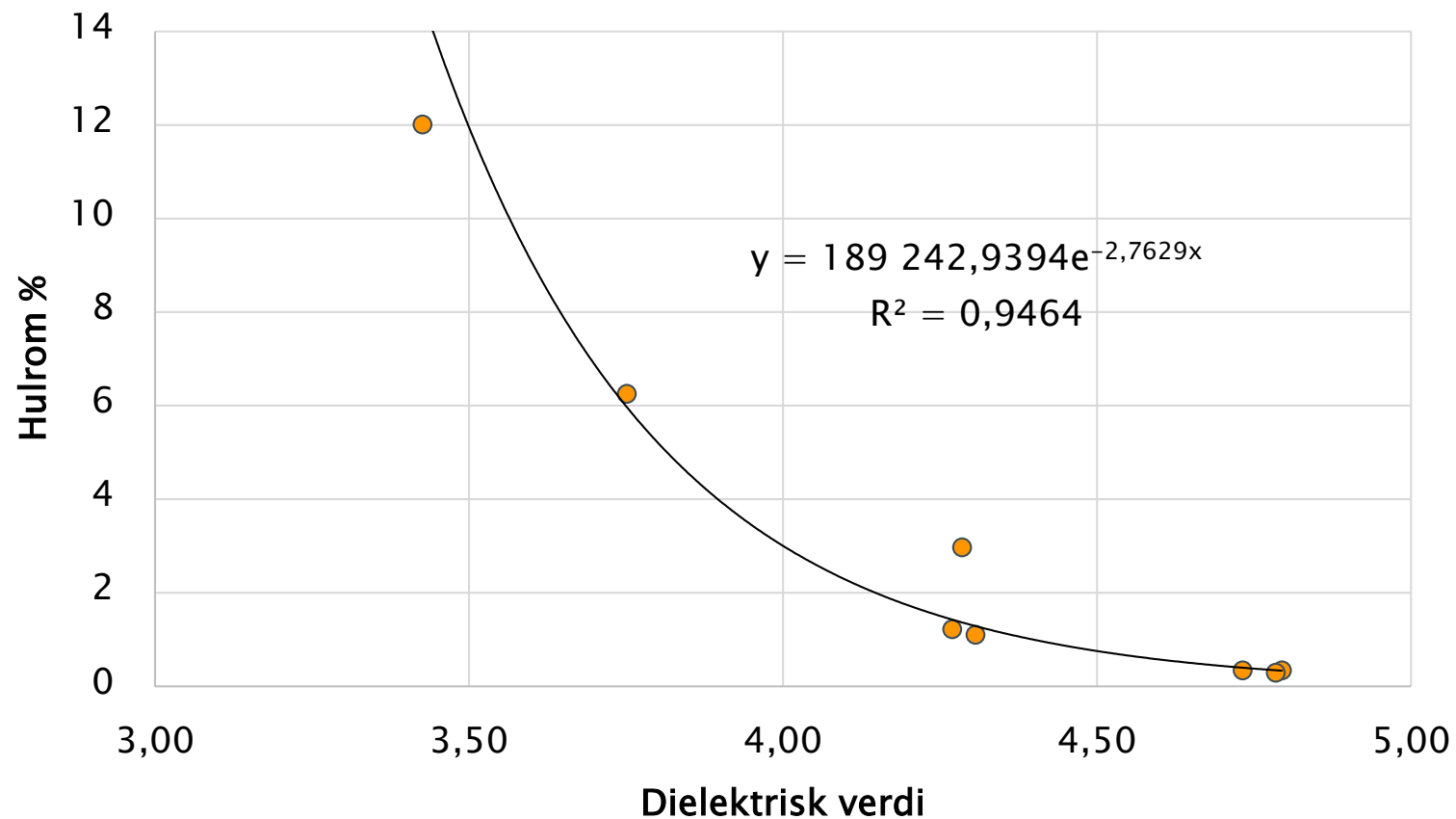
	Dielektrisk verdi	Seamann 300			Hulrom beregnet fra resept				Hulrom beregnet fra borkjerne			
		Målt densitet	Hulrom beregnet fra resept	Hulrom Seaman C-300 beregnet fra borkjerne	Hydrostatisk overflatetørr		Måling		Hydrostatisk overflatetørr		Måling	
					Ukappet	Kappet	Ukappet	Kappet	Ukappet (hydrostatisk overflatetørr)	Kappet (hydrostatisk overflatetørr)	Ukappet	Kappet
p1 m27 F1	Middel	2,318	3,82 %	2,85 %	2,74 %	2,20 %	4,98 %	2,12 %	1,76 %	1,22 %	4,02 %	1,13 %
p2 m116 F1	Middel	2,322	3,65 %	2,19 %	2,53 %	2,57 %	4,44 %	3,94 %	1,05 %	1,10 %	2,99 %	2,49 %
p3 m249 F1	Middel	2,289	5,02 %	4,11 %	4,02 %	3,90 %	6,93 %	4,44 %	3,10 %	2,97 %	6,03 %	3,52 %
p4 m975 F1	Høy	2,368	1,74 %	0,63 %	1,78 %	1,45 %	3,24 %	1,83 %	0,67 %	0,34 %	2,14 %	0,71 %
p5 m994 F1	Høy	2,394	0,66 %	-0,76 %	1,87 %	1,70 %	3,90 %	2,78 %	0,46 %	0,29 %	2,53 %	1,39 %
p6 m1065 F1	Lav	2,257	6,35 %	4,93 %	5,15 %	4,44 %	14,81 %	5,15 %	3,71 %	2,99 %	13,52 %	3,71 %
p7 m1124 F1	Lav	2,218	7,97 %	7,62 %	5,98 %	6,60 %	12,53 %	8,84 %	5,62 %	6,25 %	12,20 %	8,50 %
p8 m1161 F1	Lav	2,170	9,96 %	10,11 %	7,18 %	7,63 %	14,52 %	11,87 %	7,33 %	7,79 %	14,66 %	12,01 %
p9 m1198 F2	Høy	2,384	1,08 %	-0,80 %	2,57 %	2,20 %	5,68 %	2,49 %	0,72 %	0,34 %	3,89 %	0,63 %

Alle andre kjerner er kappet 6,55-8,79 mm, denne er kappet 16,64 mm. Kappet vekk for mye? Noe feil?

Målt dielektrisk verdi vs. Labmålt hulrom

Dekketype - SMA 16 PMB

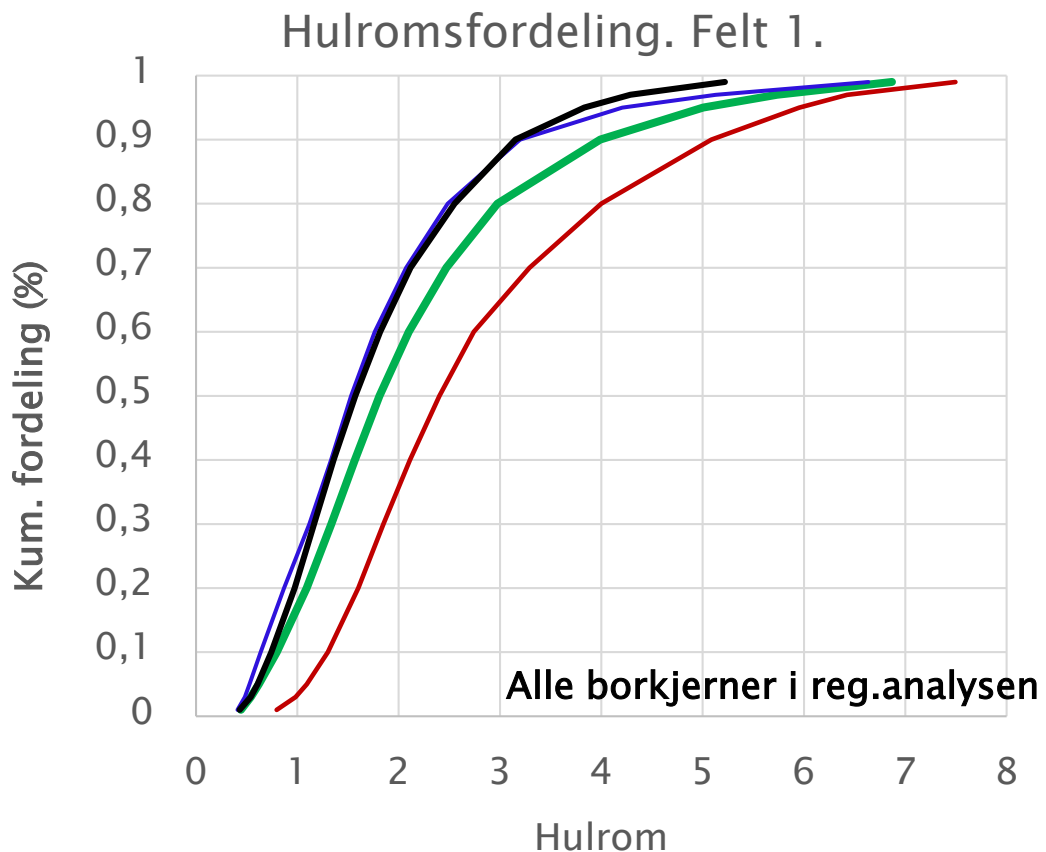
Målt dielektrisk verdi vs lab.-målt hulrom



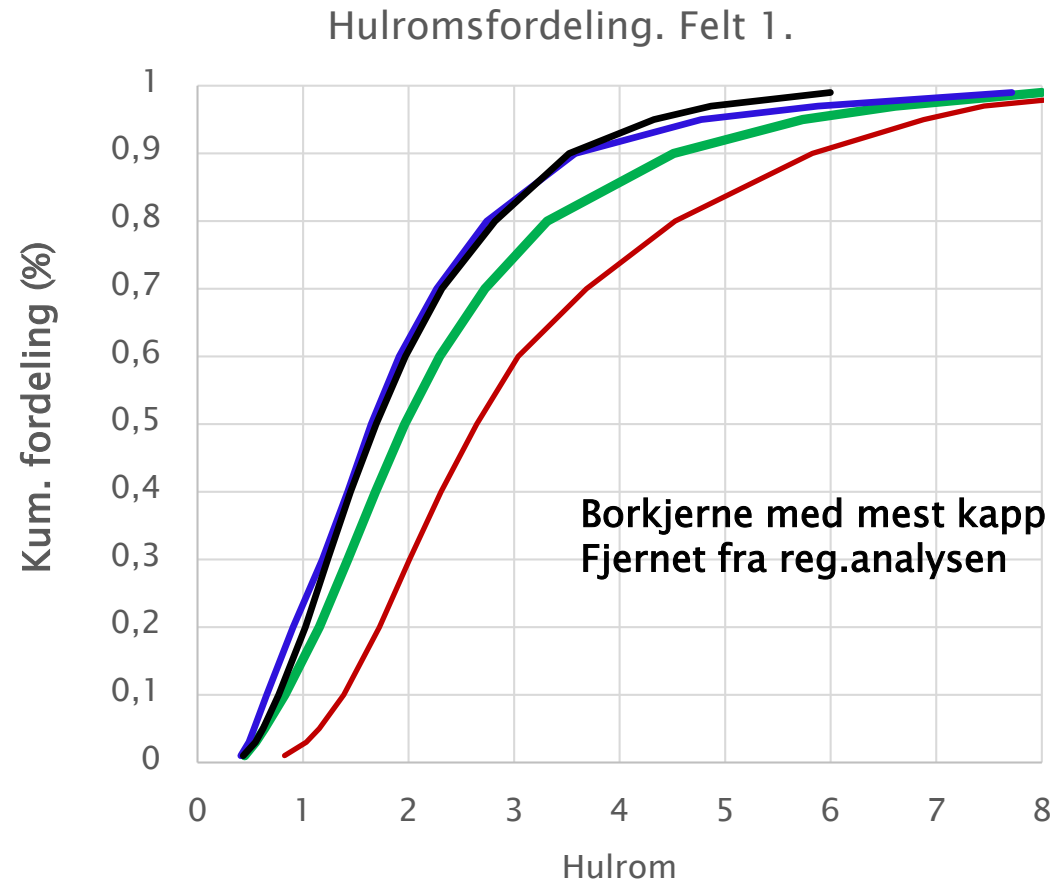
Hulromfordeling, fv 33, hp 2



Statens vegvesen



Alle målinger Hulrom venstre
Hulrom midt Hulrom høyre



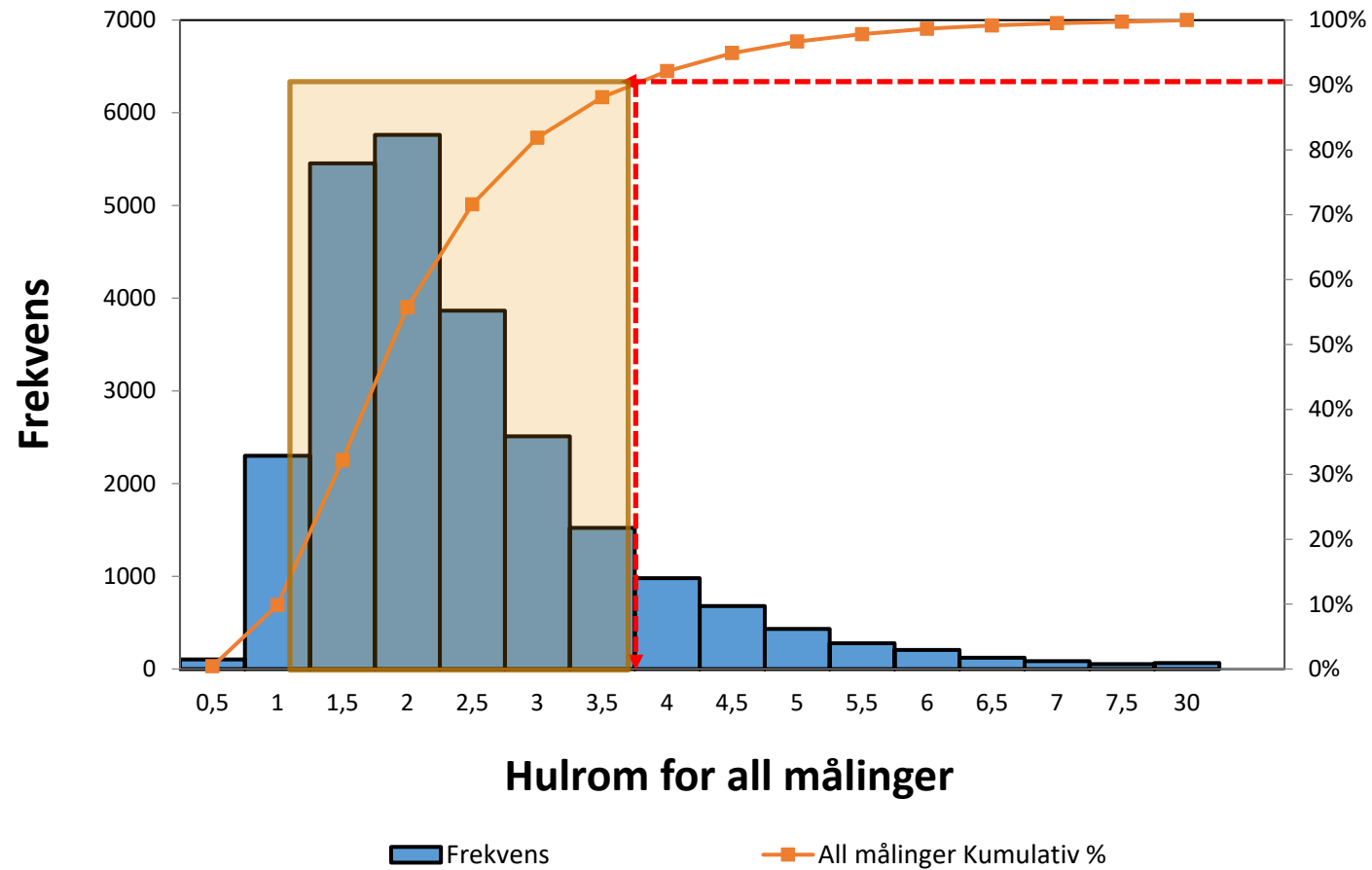
Alle målinger Hulrom venstre
Hulrom midt Hulrom høyre

Hulromfordeling, fv 33, hp 2



Statens vegvesen

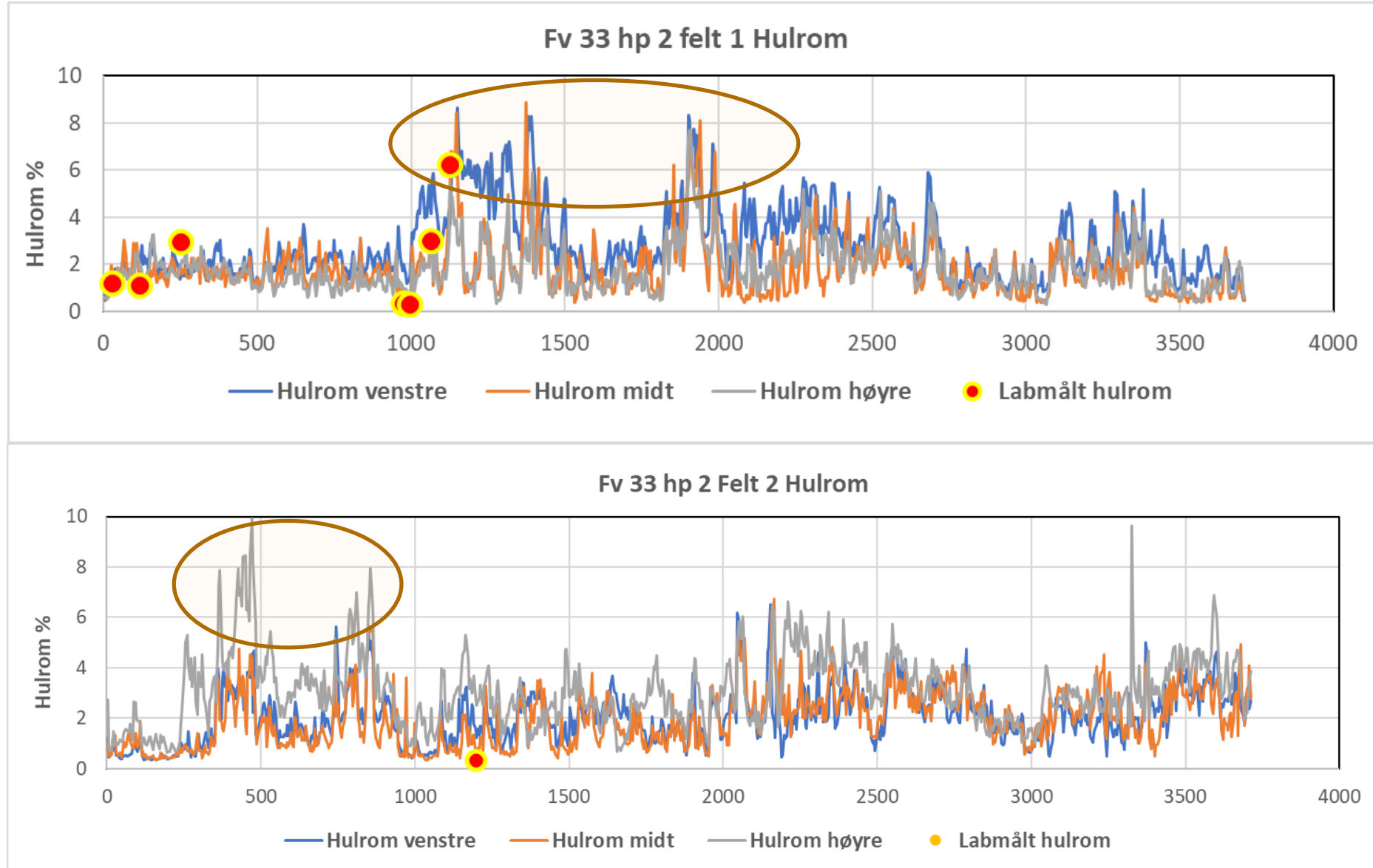
Histogram for fv 33 Hp 2 felt 1



GPR hulrom resultater



Statens vegvesen



Diskusjon og pågående forslag

- Våre målinger presentert her viser ganske bra korrelasjon mellom labmålt hulrom og GPR resultater. Regresjonsligninger har R^2 mellom 0,86–0,97.
- Antall striper (venstre, midt, høyre) med en måling for hver 15 cm er en god sannsynlighet for å finne punktet med høyest hulrom og homogeniteten.
- Valg av metode for hulromsanalysen i laben kan påvirke resultat, særlig utfordring når hulrommet går over 10%.
- Pavescan RDM bruker andre formel enn Mara Nord (Road Doctor):

$$H = Ae^{Bd}$$

$$H = 272,9e^{-1,3012k.d}$$



Pågående forslag

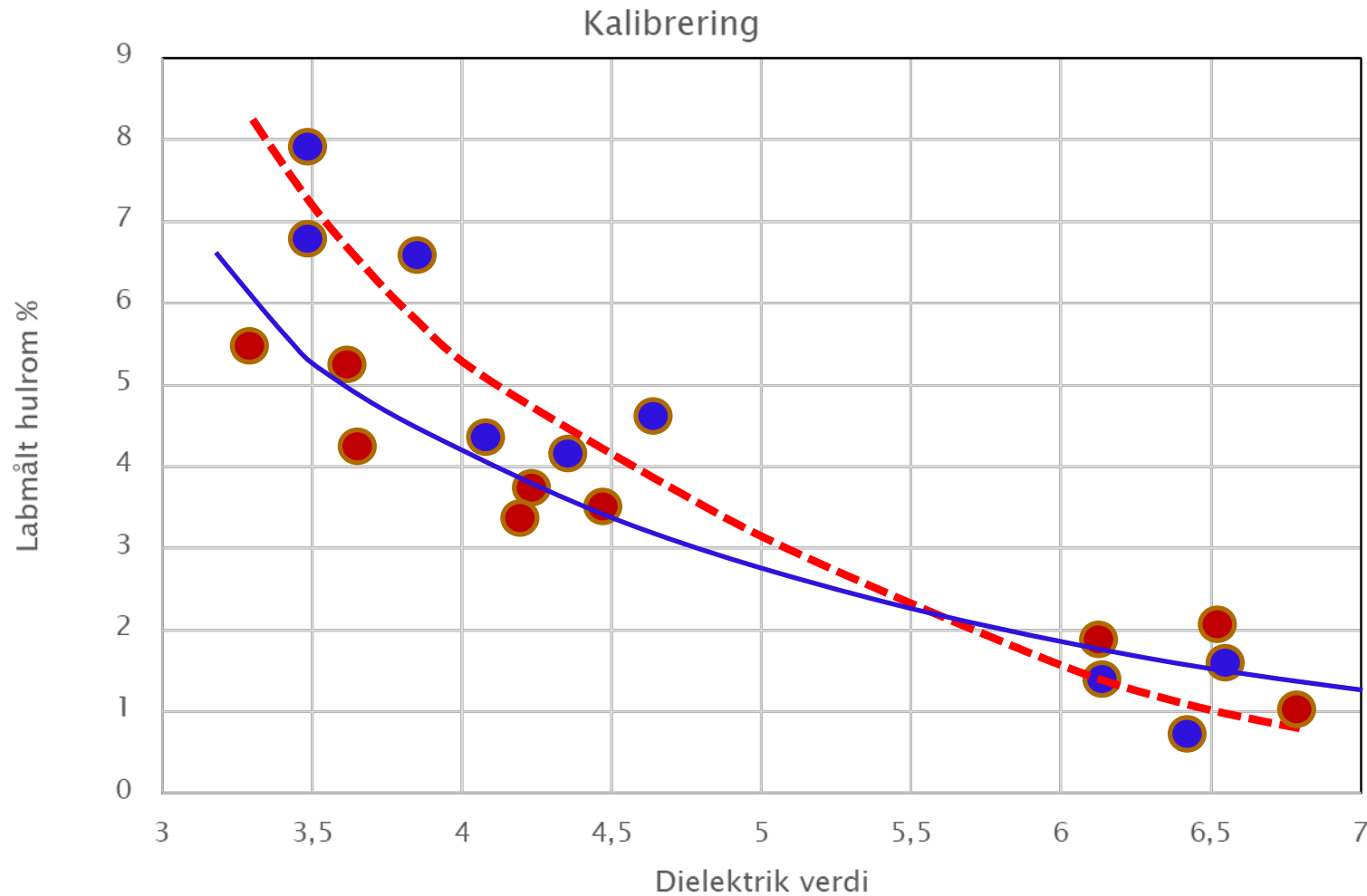
- Bruk av GPR i fremtiden for kvalitetskontroll
 - Antall borkjerner til kalibrering; spesielt nødvendig der det er klare tegn til avvik. Derfor trenges en svært detaljert kartlegging.
 - Svenskene forslag krav til kalibrering
 - Ni borkjerner med diameter av 150 mm
 - $R^2 \geq 0,8$
 - Hulrom rapportering hver 1,5 m eller mer ?



Pågående forslag



Statens vegvesen



Pavescan RDM

$$H = Ae^{Bd}$$

$$H = 272,9e^{-1,3012k.d}$$

Mara Nord (Road Doctor

R2 = ?

Takk for oppmerksomheten!

