



Miljø- og Fødevarerministeriet

## Udvikling af ny metode til kontrol af regulativer

FORSØG VED KÅTBÆK OG ALLING Å, RANDERS

Miljø- og Fødevareministeriet

# Udvikling af ny metode til kontrol af regulativer

**FORSØG VED KÅTBÆK OG ALLING Å, RANDERS**

---

<b>Rekvirent</b>	Miljø- og Fødevareministeriet
<b>Rådgiver</b>	Orbicon A/S Jens Juuls Vej 16 8260 Viby J
<b>Projektnummer</b>	1321700299
<b>Projektleder</b>	Gitte Urhøj
<b>Rapportskriver</b>	Gitte Urhøj, Peter Fjordside Linde
<b>Kvalitetssikring</b>	Eva Marcus
<b>Revisionsnr.</b>	1
<b>Godkendt af</b>	Anette Marqvardsen
<b>Udgivet</b>	27-11-2017

## INDHOLDSFORTEGNELSE

<b>1. INDLEDNING</b> .....	<b>5</b>
<b>2. METODER</b> .....	<b>6</b>
2.1. Metoden til fremtidig kontrol.....	6
2.2. Metode anvendt til 2 forsøgsmålinger.....	7
2.2.1 Kåtbæk .....	7
2.2.2 Alling Å .....	7
2.2.3 Metode til bestemmelse af vandspejl med drone teknologi .....	8
2.3. Billeder fra opmåling den 3. november ved Kåtbæk.....	13
<b>3. RESULTATER FRA KÅTBÆK</b> .....	<b>15</b>
3.1. Måling af Q og H ved 3 lokaliteter.....	15
3.2. Resultat af QH relation .....	15
3.3. Resultat af droneflyvningen Kåtbæk.....	18
3.4. Resultat af stikprøvetest .....	19
<b>4. RESULTATER FRA ALLING Å</b> .....	<b>22</b>
4.1. Måling af Q og H ved 2 lokaliteter.....	22
4.2. Resultat af QH relation .....	22
4.3. Resultat af droneflyvningen .....	25
4.4. Resultat af stikprøvetest .....	26
<b>5. BEMÆRKNINGER OG USIKKERHEDER VED METODE</b> .....	<b>29</b>
5.1. QH-relation i regulativ .....	29
5.2. Måling med drone .....	29
<b>6. KONKLUSION OG PERSPEKTIVERING</b> .....	<b>31</b>

## BILAGSFORTEGNELSE

1. Bilag 1 a. Oversigt over forsøgsstrækning Kåtbæk.
2. Bilag 1 b. Oversigt over forsøgsstrækning Alling Å.
3. Bilag 2 a. Kåtbæk - Længdeprofil med beregnet vandspejl i VASP og målt vandspejl med GPS. Øvre strækning.
4. Bilag 2 b. Kåtbæk. Længdeprofil med beregnet vandspejl i VASP og målt vandspejl med GPS. Nedre strækning.
5. Bilag 3 a. Kåtbæk. Eksempel på kontrol som længdeprofil, der viser beregnet vandspejl (QH relation) og målt vandspejl med drone, -her er også plottet målt vandspejl med GPS. Strækning 1.
6. Bilag 3 b. Kåtbæk. Eksempel på kontrol som længdeprofil, der viser beregnet vandspejl (QH relation) og målt vandspejl med drone, -her er også plottet målt vandspejl med GPS. Strækning 2 og 3.
7. Bilag 4. Alling Å. Længdeprofil med beregnet vandspejl i VASP og målt vandspejl med GPS.
8. Bilag 5. Alling Å. Eksempel på kontrol som længdeprofil, der viser beregnet vandspejl (QH relation) og målt vandspejl med drone, -her er også plottet målt vandspejl med GPS.

## 1. INDLEDNING

Orbicon har på foranledning af ekspertudvalget under Miljø- og Fødevareministeriet gennemført to forsøgsmålerunder af fysiske vandløbsforhold ved Kåtbæk og Alling Å i Randers Kommune.

Formålet med forsøgsmålingerne er at undersøge nye regulativmæssige kontrolmetoder med anvendelse af ny teknologi.

I dag eksisterer der 3 typer af regulativer. For dem alle gælder, at det er forholdsvis omstændeligt at kontrollere om vandløbet overholder de regulativmæssige krav til skikkelse/vandføringsevne. De 3 regulativtyper er:

- Skikkelsesregulativet, hvor der i valgte stationer i vandløbet er fastlagt en skikkelse (bundbredde, anlæg på brinker og en bundkote) med jævnt fald mellem de valgte stationer, som kontrolleres ved en fysisk opmåling.
- Q/H regulativet, hvor der i valgte stationer i vandløbet (kravstationer) er fastlagt en relation mellem vandføringen (Q) og vandspejlshøjden (H). Regulativtypen kontrolleres ved, at der gennemføres vandføringsmålinger i udvalgte stationer med registrering af tilhørende vandspejlshøjde. På strækningerne mellem kravstationerne forudsættes det, at vandspejlet er jævnt faldende.
- Teoretisk skikkelse, hvor de opmålte profiler sammenlignes med teoretisk fastlagte profiler (som skikkelsesregulativtypen). Hvis vandspejlsforholdene i de opmålte vandløbsprofiler ikke overstiger de beregnede vandspejl i det teoretiske profil, er regulativet overholdt. Regulativtypen kontrolleres således ved opmåling af de faktiske forhold og gennem vandspejlsberegninger kontrolleres om der er den rette vandføringsevne tilstede.

De 3 regulativtyper har alle deres styrker og svagheder. Skikkelsesregulativet - og teoretisk skikkelsesregulativet kan være forholdsvis dyre at kontrollere, fordi det sker gennem en opmåling. Q/H regulativet har den fordel, at når først relationen mellem Q og H er fastlagt i regulativet, er det forholdsvis simpelt, at eftervise om vandspejlet på et givet tidspunkt ligger inden for de fastlagte Q/H kurver, og der kan på den baggrund vurderes om der skal renses op eller ej. Svagheden er, at der kan være langt mellem Q/H stationerne i vandløbet, hvorfor ikke alle strækninger altid er omfattet, og det kan være svært at lokalisere, hvor årsagen til en eventuel overskridelse ligger. Er der eksempelvis lokalt en stuvning i vandløbet, er det ikke sikkert den bliver opdaget ved metoden.

I denne opgave vil vi med udgangspunkt i QH-regulativet afprøve ny teknologi og ny metode til kontrol. Tanken er at opmåle vandspejlet "glidende" ned gennem et vandløb ved hjælp af droneteknologi. De opmålte vandspejl relateres derefter, sammen med en målt vandføring (som oplandskorrigeres), til en løbende QH-relation gældende for hele vandløbet.

Den nye teknologi, som vi vil anvende til at afprøve opmåling af vandspejl i vandløb, hedder fotogrammetri. Hvis der ved fotogrammetri kan placeres en relativ præcis vandspejlskote, så kan metoden give muligheder for fremtidig effektiv opmåling over længere strækninger hurtigt og effektivt, alt imens der indhentes værdifuld ekstradata, video dokumentation mv.

Målet er at ramme indenfor en acceptabel præcision, som kan bruges i sammenhæng med kontrollen af QH kurver for vandløbene.

De fremtidige aspekter med denne metode er mulighed for helikopter eller fastvinget drone overflyvninger af mange kilometer per flyvning.

Orbicon er bekendt med, at vandspejl er svære at fastlægge med fotogrammetri. Men ved at bestemme kote på terræn, hvor vandspejlet rammer brinken, mener vi, at det faktisk er muligt alligevel. Dertil forventes plantemateriale, som flyder på vandoverfladen ligeledes at kunne bruges til kortlægning af vandspejl.

Orbicon har valgt to forskellige vandløb til forsøgsstrækninger for at teste metoden på hhv. et mindre (Kåtbæk) og et større vandløb (Alling Å).

## 2. METODER

### 2.1. Metoden til fremtidig kontrol

Grundlaget for den nye kontrolmetode er at definere Q/H relationer for hele vandløbet, meter for meter i stedet for som i dag i enkelte punkter, som gælder for en længere strækning. En forudsætning for at kunne gennemføre dette er en god fysisk opmåling af vandløbet, samt gode vandføringsdata til at estimere de manningstal, som skal ligge til grund for Q/H relationerne.

De fundne QH relationer udgør herefter det regulativmæssige grundlag for krav til vandføringsevne.

Kontrollen kan herefter ske på alle lokaliteter af vandløbet ved måling af vandspejl sammenholdt med en oplandsestimeret vandføring på lokaliteterne.

Højden (H) på vandspejlet kan opmåles ved hjælp af eksempelvis drone eller tætsiddende sensorer.

Det er en udfordring at finde frem til vandføringen (Q) i hvilken som helst station på vandløbsstrækningen. Orbicons erfaring er, at en oplandskorrigeret vandføring på baggrund af enkelte vandføringsmålinger kan være temmelig præcis (under forudsætning af at oplande for hele vandløbet er godt beskrevet). Der kan også etableres en dopplermåler, der automatisk registrerer vandføringen i vandløb (er temmelig dyrt – ca. 100.000 kr.).

En fuld automatiseret regulativkontrol kunne således bestå af en dopplermålestation, der løbende registrerer vandføringen i vandløbet. Målingerne oplandskorrigeres, så man får en vandføring (Q) for hver meter i vandløbet, som sammenholdes med sensorers registrering af vandspejlshøjden på udvalgte strækninger. Hvis der anvendes droner til registrering af vandspejlshøjden, vil der måske kunne opnås et større detailkendskab til vandspejlshøjden og dermed en tættere kontrol.

## 2.2. Metode anvendt til 2 forsøgsmålinger

### 2.2.1 Kåtbæk

En ca. 4 km lang strækning af Kåtbæk er udvalgt som forsøgstrækning. Grundlaget for udvælgelsen er, at det er mindre vandløb, at det for nyligt er opmålt (maj 2017) og at Orbicon tidligere har bestemt oplandsforhold for vandløbet.

Der er gennemført 3 vandføringsmålinger (med vingemåler) og tilhørende måling af vandstand med GPS. Vandføringsmålingerne er foretaget ved skalapæle i hhv. st. 13, 1963 og 3342, mht. beliggenhed af stationer se oversigtskort bilag 1a.

Hele forsøgsstrækningen er gennemfløjet med drone, og vandspejl er herefter forsøgt bestemt med fotogrammetri. Metode til bestemmelse af vandspejl med fotogrammetri/droneflyvning er yderligere beskrevet i afsnit nedenfor.

For at kontrollere nøjagtigheden af bestemmelse af vandstand med drone er der desuden foretaget et antal kontrolmålinger af vandstand med GPS.

### 2.2.2 Alling Å

En ca. 4 km lang strækning af Alling Å er udvalgt som forsøgstrækning. Det var som udgangspunkt planlagt, at forsøgsstrækningen skulle være yderligere 1 km lang, men pga. jagt i området, blev dette umuligt at gennemføre i felten.

Grundlaget for udvælgelsen af forsøgsstrækningen er, at det er et større vandløb, at det nyligt er opmålt (i 2016) og at Orbicon tidligere har bestemt oplandsforhold for vandløbet.

Der er gennemført 2 vandføringsmålinger (med vingemåler) og tilhørende måling af vandstand med GPS. Vandføringsmålingerne er foretaget ved skalapæle i hhv. st. 16.747 og 19.842, mht. beliggenhed af stationer se oversigtskort bilag 1 b.

Hele forsøgsstrækningen er ligesom ved Kåtbæk gennemfløjet med drone, og vandspejl er forsøgt bestemt med fotogrammetri.

For at kontrollere nøjagtigheden af bestemmelse af vandstand med drone er der, som ved Kåtbæk, foretaget et antal kontrolmålinger af vandstand med GPS.

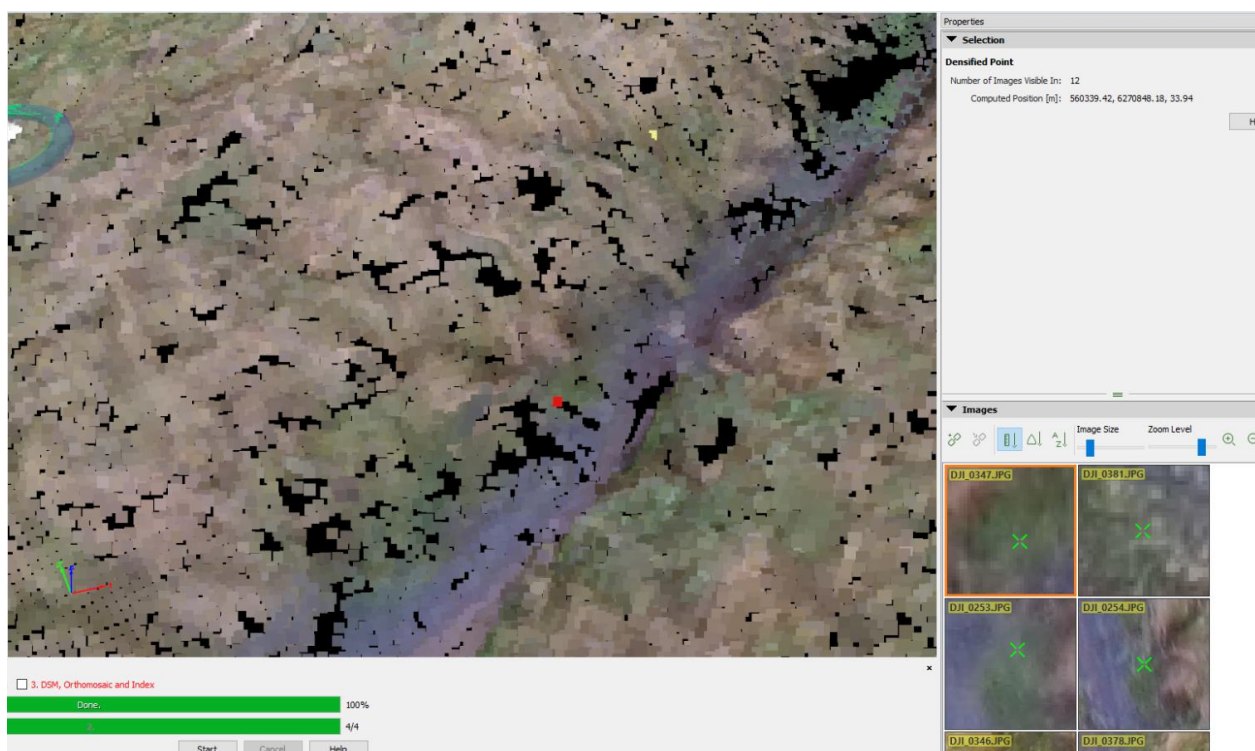
### 2.2.3 Metode til bestemmelse af vandspejl med drone teknologi

Metoden der anvendes til bestemmelse af vandspejl med dronen er som beskrevet fotogrammetri. Vandspejlskoten forsøges bestemt, hvor vandspejlet rammer brinken eller anden fast overflade. Fotogrammetri er ikke god til bestemmelse af vandspejlskoter på ren vandspejlsflade.

Vandløbene overflyves med quadkopter af typen Phantom 3 Pro. Der flyves i 30 m højde af ca. 800 m ad gangen. Der udlægges GCP (ground control points) til justering af koter mv. ved den efterfølgende processering. I fremtiden forventes disse udjævningspunkter at være en del af regulativet for vandløbene, og fx være fastsat på skala-pæletoppe op gennem vandløbet. De vil ligge som data i regulativet og automatisk kunne hentes ind i processeringen af data.

Efter processeringen er fuldført udtrækkes der xyz koordinater oveni punkter, hvor der er taget kontrolpunkter af vandspejlet med håndholdt GPS (Trimble R8). Den faktisk GPS-indmålte kote i kontrolpunktet aflæses først, når et bud på VSP (vandspejl) i modellen er hentet ud. På denne måde fjernes bias ved analyse af modellen.

Figur 1 viser fundne xyz værdier fra modellen ved Kåtbæk, samt de tilknyttede modelbilleder, der er anvendt til estimeringen af vandspejlene.



Figur 1 Udtræk fra processeringssoftware, øverst til venstre ses punktskyen for modellen, nederst til højre billederne bag modellen og øverst til højre data for punktet.

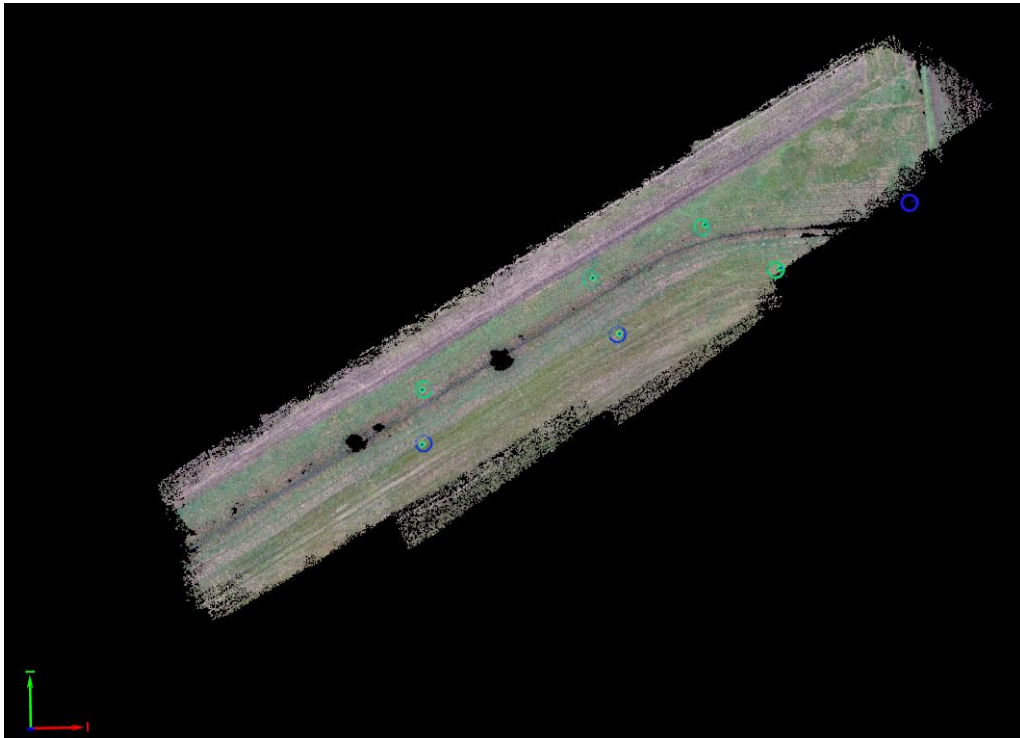


Der søges efter et punkt i modellen, hvor vandspejl møder faste forhold. De små billeder nederst til højre i figur 1 bruges til at udpege det bedste punkt til bestemmelse af vandspejl. Der kigges hovedsageligt efter 2 ting, enten vegetation på vandoverfladen eller vandspejlskontakt med fritlagt brink.

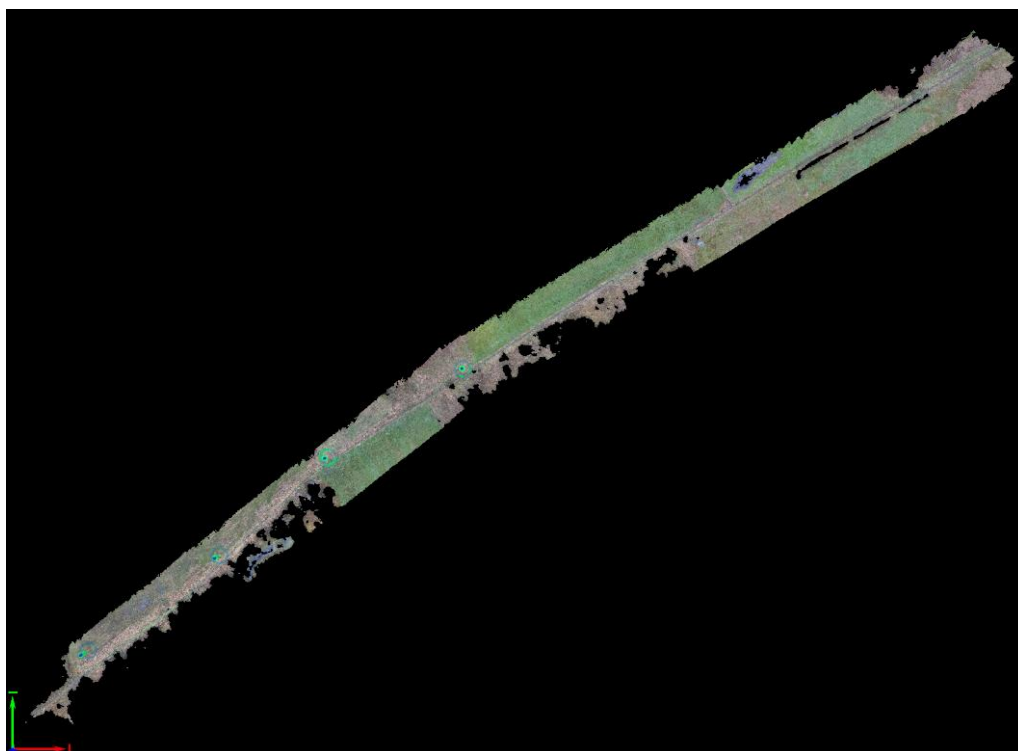
Der udvælges billeder til estimering ved manuel analyse, og dette er på nuværende tidspunkt tidskrævende. Denne manuelle metode forventes at kunne automatiseres.

På billedet i figur 1 ses det valgte punkt at ligge i kote 33,94 m DVR90. Det faktiske vandspejl opmålt med GPS ligger i 33,97 m DVR90.

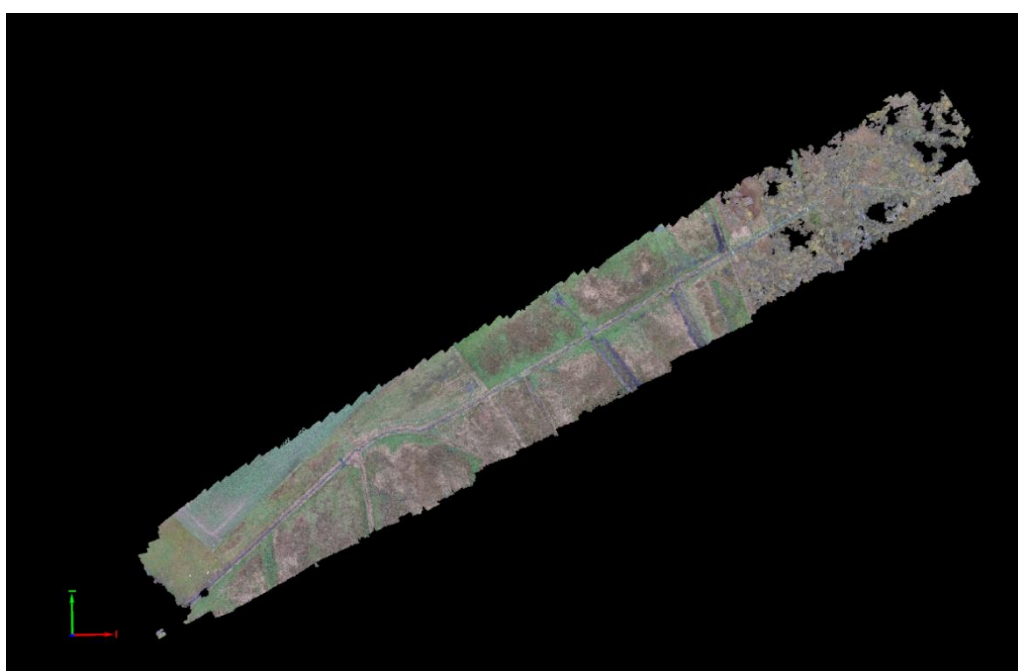
Droneflyvning blev på Kåtbæk og Alling Å for hvert vandløb opdelt i 4 delstrækninger. De 4 strækninger for Kåtbæk er afbildet i figurene 2 til 5 og de 4 strækninger for Alling Å ses i figur 6 til 9.



Figur 2. Strækning 1, øverste strækning af Kåtbæk. Output fra drone flyvning.



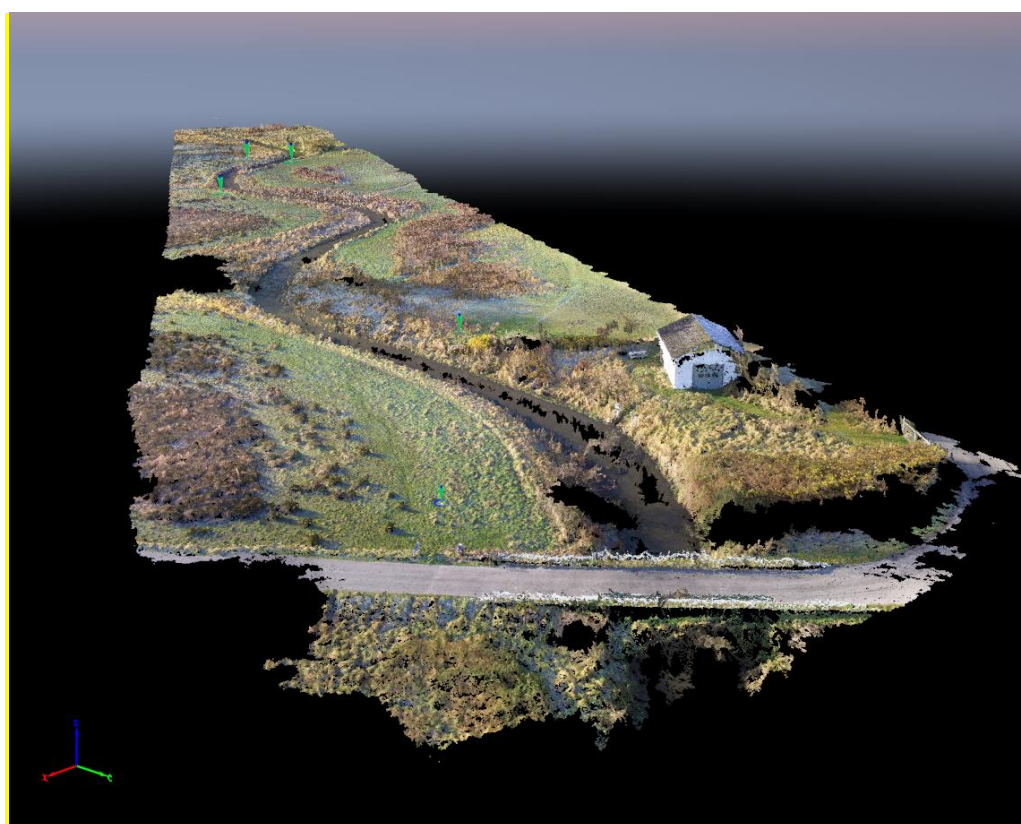
Figur 3. Strækning 2. Kåtbæk. Output fra drone flyvning.



Figur 4 Strækning 3. Kåtbæk. Output fra droneflyvning.



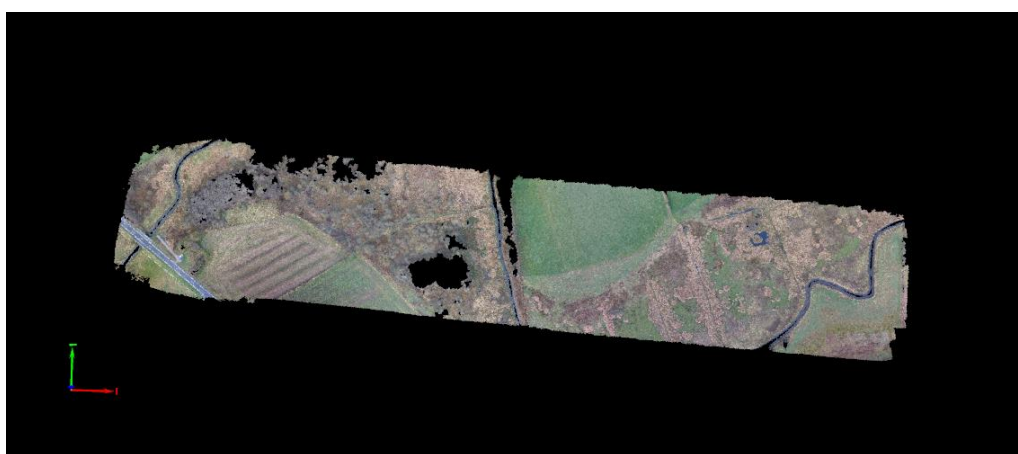
Figur 5 Strækning 4. Kåtbæk. Output fra droneflyvning.



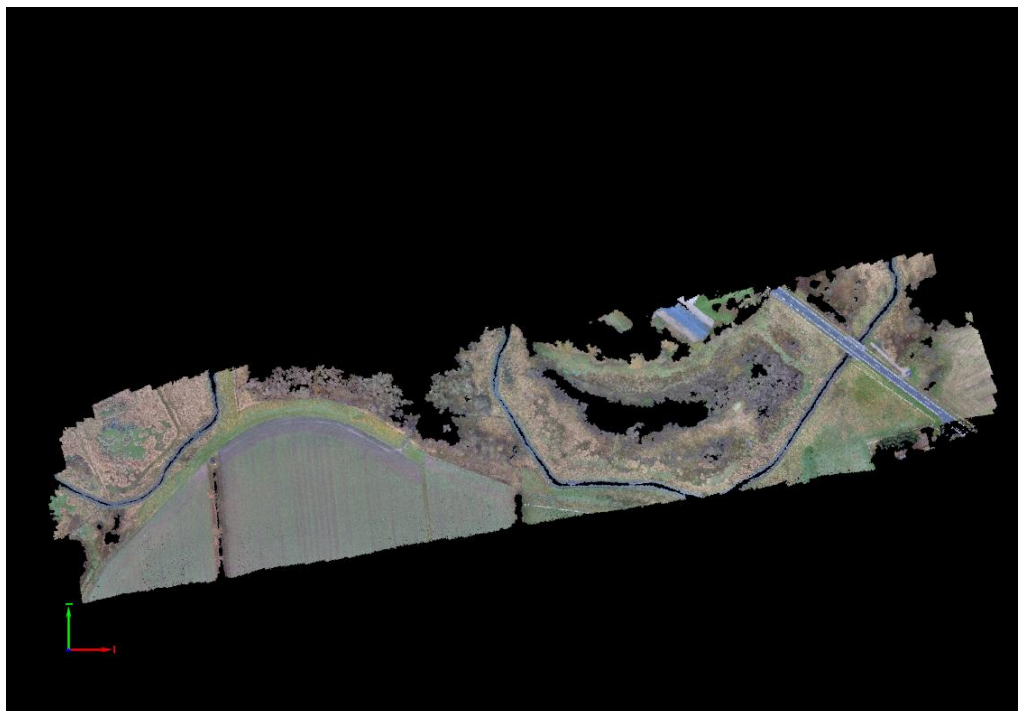
Figur 6 Strækning 1, set fra Rævebrovej 1. Alling Å. Output fra droneoverflyvning.



Figur 7. Strækning 2. Allinge Å. Output fra droneflyvning.



Figur 8. Strækning 3. Allinge Å. Output fra droneflyvning.



Figur 9. Strækning 4. Allinge Å. Output fra droneyflyvning.

### 2.3. Billeder fra opmåling den 3. november ved Kåtbæk



Foto 1. Kåtbæk. Planlægning i felten. Foto taget af dronen.



Foto 2. Kåtbæk. Måling af Q. Foto taget af dronen.

### 3. RESULTATER FRA KÅTBÆK

#### 3.1. Måling af Q og H ved 3 lokaliteter

På bilag 1 a fremgår de tre lokaliteter, hvor der er målt Q og H. Lokaliteterne ligger hhv. i st. 13, 1963 m og 3342 m (her ligger også ny målestation).

Resultatet af målingerne ses af nedenstående tabel 1.

Station	Målt Q l/s	Målt H, m DVR90	Opland km <sup>2</sup>	q l/s/km <sup>2</sup>
13	6,02	36,011	8,68	0,7
1963	78,8	32,102	17,78	4,4
3342	155	31,613	26,21	5,9

Tabel 1. Resultat af målte vandføringer og vandspejlskoter ved tre lokaliteter.

#### 3.2. Resultat af QH relation

Orbicon har med baggrund i observerede vandstande ned gennem vandløbet, målte Q værdier på de tre lokaliteter samt opmåling af vandløbet fra maj 2017 beregnet manningstal for strækningen.

Resultatet ses i tabel 2. Det ses, at manningtallene generelt er lave, hvilket er udtryk for stor modstand i vandløbet.

Station	Manningtal
3	2,5
13	2,2
27	3,9
47	1,4
58	10,7
78	14,3
97	33,2
168	41,9
1408	2,9
1657	3,6
1729	7
1963	4,8
2397	3,7

2446	2,6
2499	4,3
2587	5,1
2706	3
2751	4,9
2833	6,8
2939	7,4
3154	7,2
3242	4,8
3299	8,6
3342	5,6
3428	5,4
3621	21,2

Table 2. Manning tal bestemt ud fra opmåling maj 2017 (uden rørbroer), observerede vandstande og vandføringer den 3. november 2017.

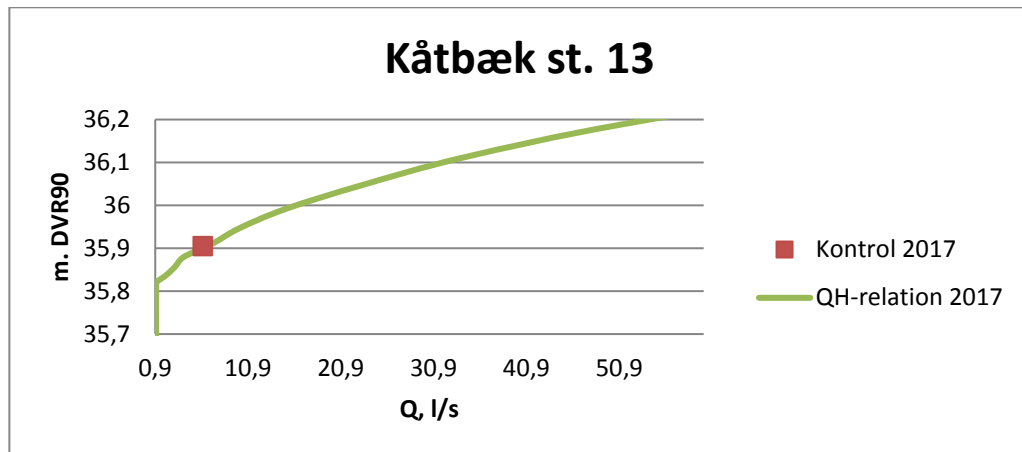
Station	Opland Km <sup>2</sup>	Bemærkning
0	8,684	
37	8,684	Vandløb fra Neder Gas-sum
38	11,422	
860	12,645	Tilløb
861	14,602	
1814	15,197	Vandløb i Balgårde
1815	16,293	
1917	16,305	Tilløb
1918	16,760	
1933	16,760	Tilløb
1934	17,770	
2741	17,963	Afløb fra mose
2742	24,934	
11316	43,085	

Table 3. Oplande anvendt i analysen. Oplande er tidligere bestemt ud fra terrænmodel.

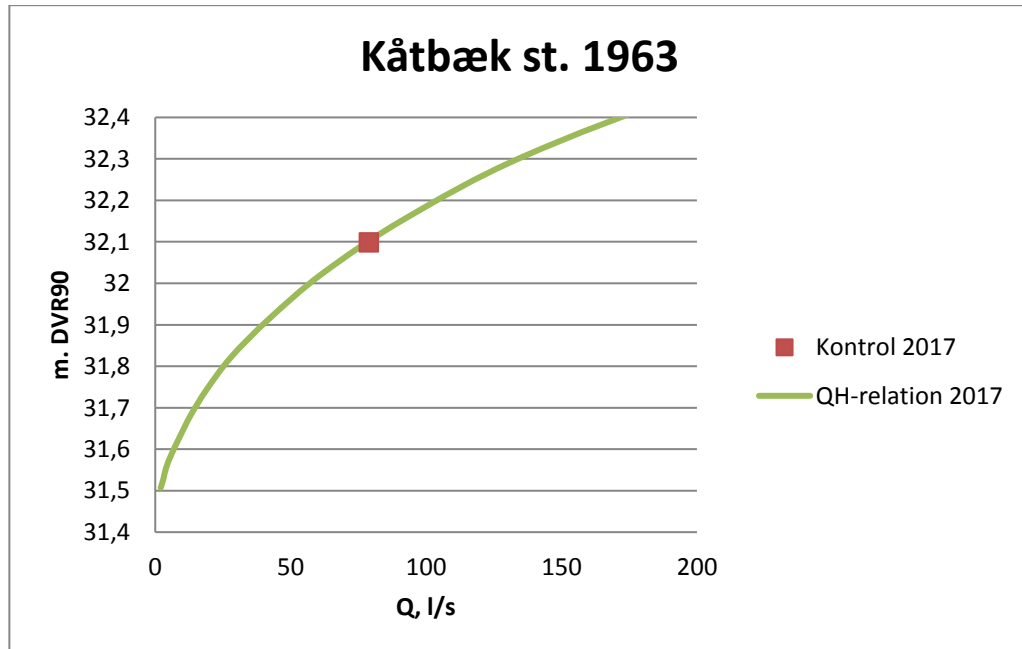


Med grundlag i ovenstående manningstal, opmåling fra 2017 samt oplande som angivet i tabel 3 er der i VASP regnet en QH-relation, som i princippet er beskrivende for hele vandløbsstrækningen. Nedenfor ses plot af QH-kurve-udtræk for de tre målelokalteter. Endvidere er målepunktet plottet på graferne.

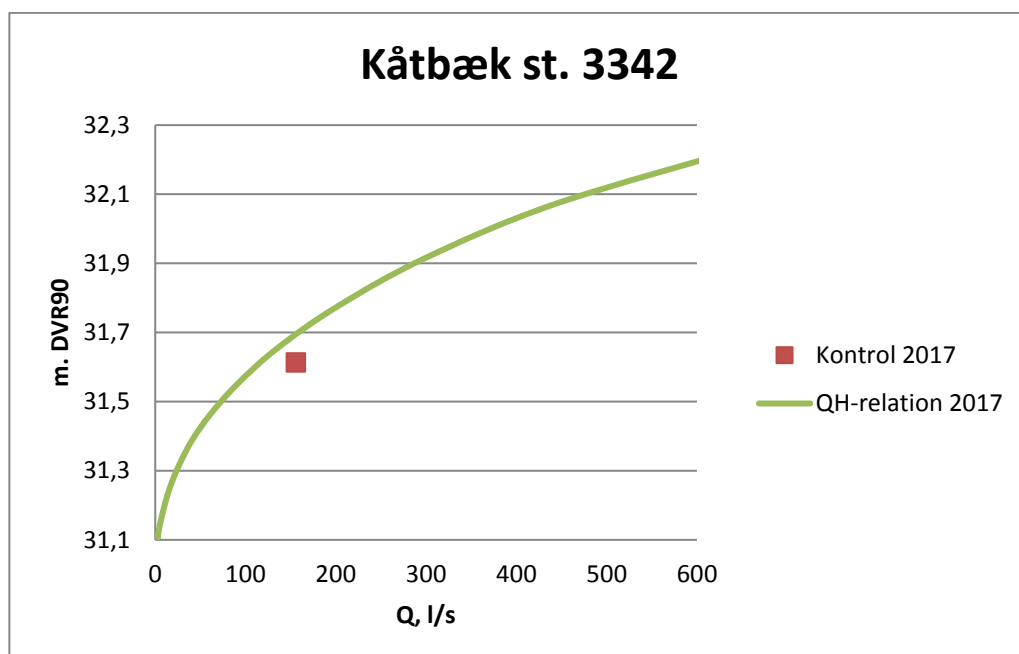
Her ses god overensstemmelse mellem de målte QH punkter og den beregnede QH relation for lokaliteterne.



Figur 10 QH relation og kontrolpunkt ved st. 13 m.



Figur 11 QH relation og kontrolpunkt ved st. 1963 m.



Figur 12 QH relation og kontrolpunkt ved st. 3342 m.

For at validere QH-relationerne for vandløbsstrækningen har Orbicon endvidere udført en vandspejlsberegning på opmålingen fra maj 2017. Der er anvendt en afstrømningsserie med de specifikke (målte)  $q$  værdier, der er angivet i tabel 1, de beregnede Manningtal fra tabel 2 og oplande fra tabel 3. Det resulterende vandspejl er, i bilag 2a og 2b, sammenholdt med de målte vandspejl ned gennem vandløbet. Her ses god overensstemmelse mellem beregnede og målte værdier, hvilket underbygger de beregnede QH relationer for strækningen. (Der er ikke målt vandspejl mellem ca. st. 175 m og 1400 m, hvorfor denne strækning ikke er plottet).

### 3.3. Resultat af droneflyvningen Kåtbæk

Tabel 4 viser punktudtræk og dertilhørende faktiske GPS målinger.

Afviselserne mellem målt vandspejlskote med drone og med GPS ligger med enkelte undtagelser mellem -0,01 m til +0,08 m. Undtagelsen er punktet i st. 1967, hvor afvigelsen er 0,6 m. Grunden til afvigelse i dette punkt er, at punktet ligger nedstrøms sidste GCP for modellen for strækningen. Derfor kan modellen ikke fikseres korrekt på denne strækning.

Type punkt	St	Strækning	Kote i model [m DVR90]	Kote ved GPS [m DVR90]	Afvigelse [m]
VSP på brink	47	1	35,52	35,44	+0,08
Vegetation i overfalde	58	1	35,09	35,109	-0,019
VSP på brink	78	1	34,88	33,879	+0,001
Vegetation i overfalde	112	1	34,43	34,405	+0,025
VSP på Brink	153	1	34,02	34,079	-0,059
Vegetation i overfalde	168	1	33,94	33,974	-0,03
Vegetation i overfalde	1408	2	32,33	32,247	+0,083
Vegetation i overflade	1657	2	32,19	32,14	+0,05
Vegetation i overflade	1729	2	32,13	32,118	-0,012
Vegetation i overfalde	1967	2	32,70	32,10	+0,6
VSP på brink	2450	3	31,903	31,99	-0,086
VSP på brink	2925	3	31,900	31,777	+0,123
VSP på brink	3178	4	31,78	31,709	+0,071
Vegetation i overfalde	3299	4	31,57	31,624	-0,054
Vegetation i overfalde	3355	4	31,58	31,613	-0,033
Vegetation i overfalde	3443	4	31,46	31,562	-0,098
VSP på brink	3621	4	31,35	31,346	+0,004

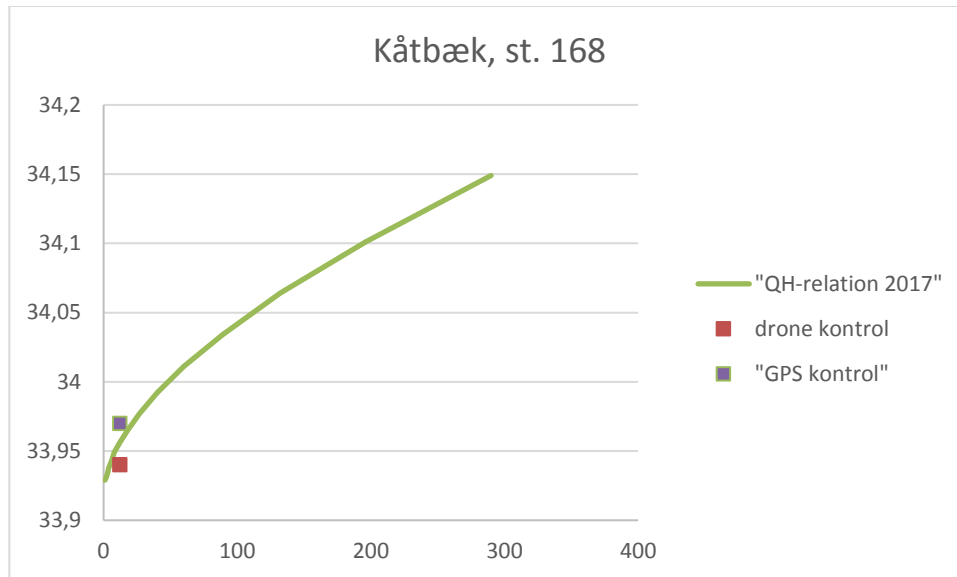
Table 4. Vandspejlskoter dels ved punktudtræk og dels med dertilhørende faktiske målinger med GPS.

### 3.4. Resultat af stikprøvetest

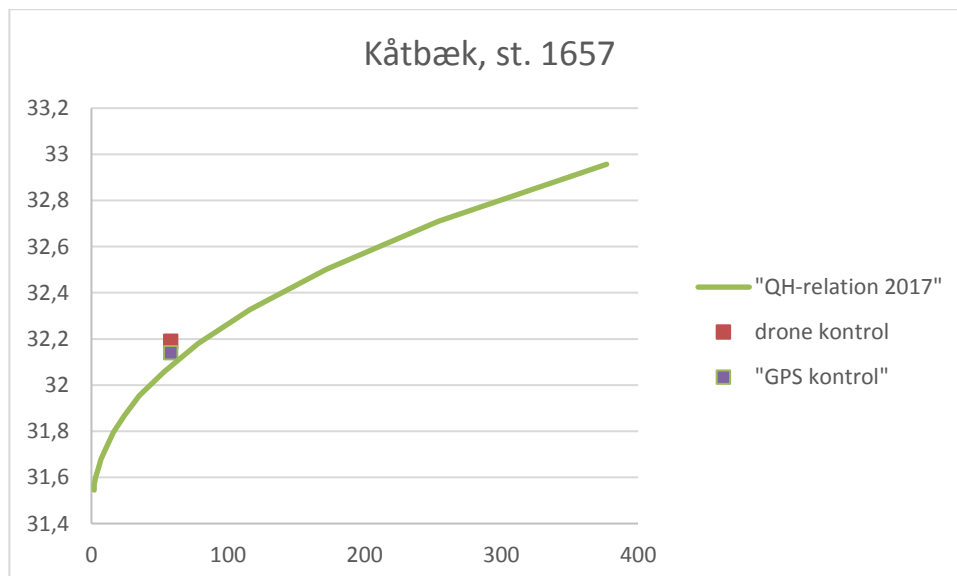
Som stikprøve har Orbicon valgt et par lokaliteter ud, hvor der er målt vandspejl med drone.

For st. 168, 1657 og 3555 har vi således ud fra den beregnede glidende QH-relation, estimerede Q-værdier fra oplandskorrektion samt målte vandspejl med hhv. drone og GPS afbildet "kontrolpunkter" op med QH-relationen, figur 13-17.

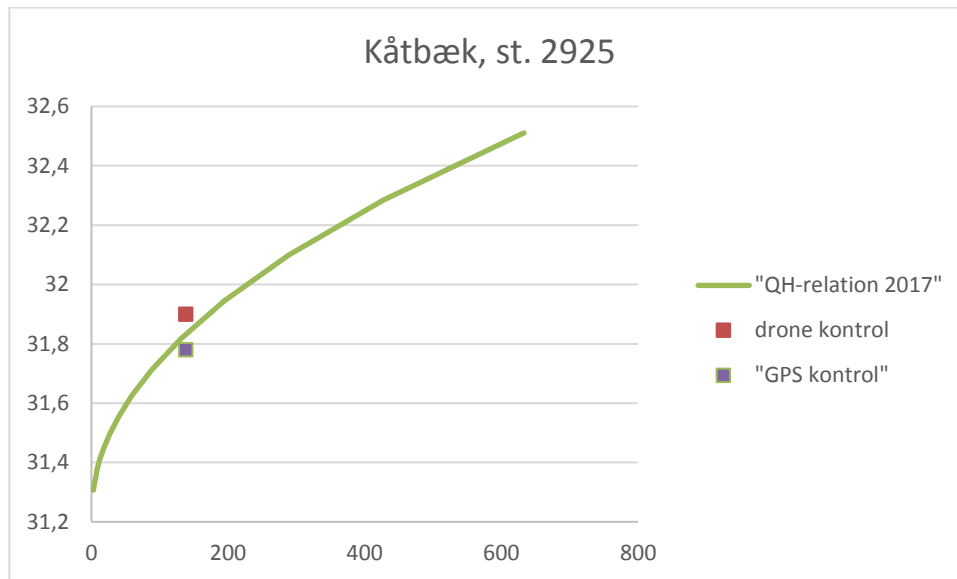
Når punkterne ligger over kurverne angiver det, at kontrollen viser en ringere vandføringsevne end QH relationen.



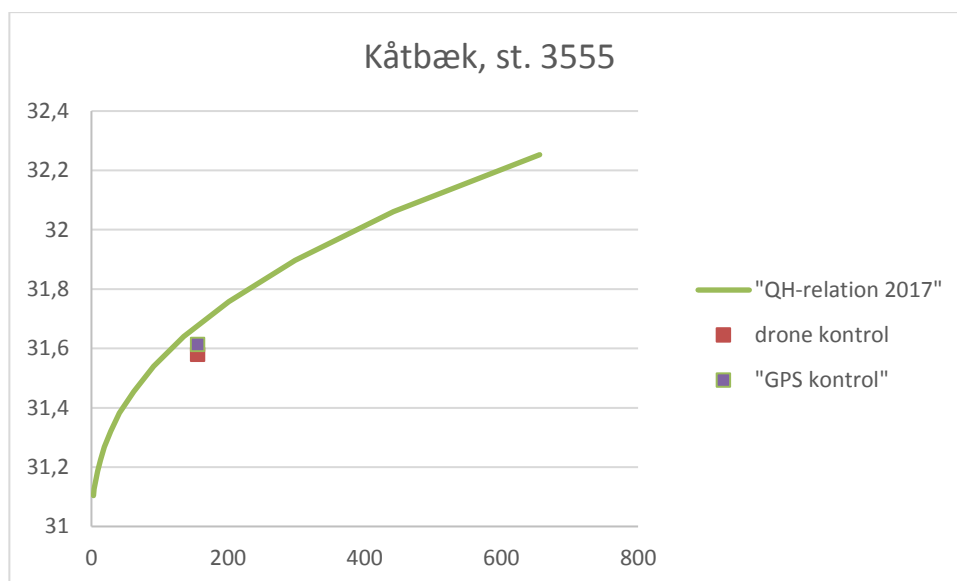
Figur 13. Stikprøve ved st. 168. Lilla prik: Målt med GPS. Rød prik: Målt med drone.



Figur 14. Stikprøve ved st. 1657. Lilla prik: Målt med GPS. Rød prik: Målt med drone.



Figur 15. Stikprøve ved st. 2925. Lilla prik: Målt med GPS. Rød prik: Målt med drone



Figur 16. Stikprøve ved st. 3555. Lilla prik: Målt med GPS. Rød prik: Målt med drone

En eventuel afrapportering af en kontrol af QH-relationen kan også ske som et længdeprofil, der viser et beregnet vandspejl ved en afstrømningsserie (i overensstemmelse med QH-relationen) sammenholdt med målte vandspejl langs vandløbet.

Afstrømningsserien bestemmes ud fra målt Q-værdi (et eller flere steder) og en fastsat oplandskorrelation gennem vandløbet.

Dette giver et mere overskueligt overblik over de strækninger, hvor vandføringsevnen eventuelt er ringere end QH-relasjonen (regulativkravet).

Orbicon har til denne opgave illustreret dette i bilag 3 a og 3 b. Her er afbildet opmålt kote med drone i forhold til beregnet vandstand (QH-relasjonen). På nuværende tidspunkt er plotning af vandspejl opmålt med dronen en tidskrævende proces, fordi det foregår manuelt ved indtastning i VASP, men dette kan selvfølgelig automatiseres.

#### 4. RESULTATER FRA ALLING Å

##### 4.1. Måling af Q og H ved 2 lokaliteter

Station	Målt Q l/s	Målt H m DVR90	Opland km <sup>2</sup>	q l/s/km <sup>2</sup>
16747	2469	2,70	226,1	10,92
19842	2769	1,90	237,9	11,64

Tabel 5 Resultat af målte vandføringer og vandspejlskoter ved to lokaliteter.

##### 4.2. Resultat af QH relation

Orbicon har med baggrund i observerede vandstande ned gennem vandløbet, målte Q værdier på de to lokaliteter samt opmåling af vandløbet fra 2016 beregnet manningstal for strækningen.

Resultatet ses i tabel 6.

Station	Manningtal
15793	18,7
15847	18,7
15961	22,5
16756	30
16796	20
16821	55
16979	16
17111	37,3
17666	14,9
17754	20,6
17966	45
18123	20,3
18362	23,8

18477	34,1
18584	20,7
18669	17,4
18712	28,5
18824	29,4
19483	20
19651	21,7
19872	23

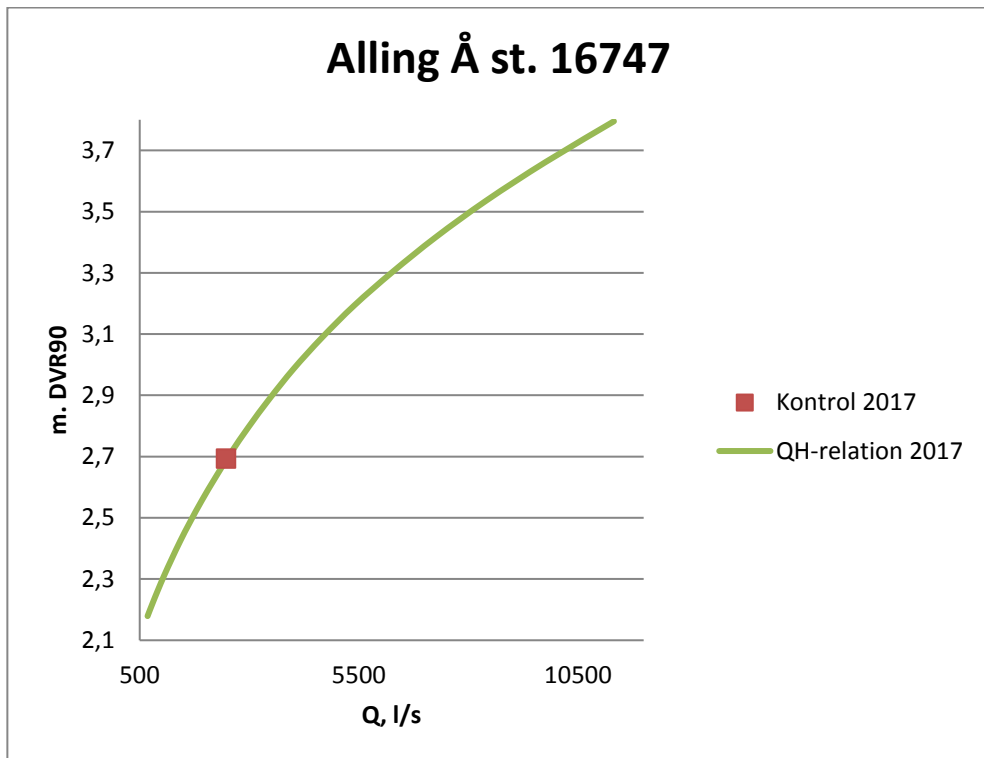
Table 6. Manning tal bestemt ud fra Opmåling 2016, observerede vandstande og vandføringer den 20. november 2017.

Station	Opland Km <sup>2</sup>	Bemærkning
15181	218,545	Tilløb
15182	223,679	
15271	223,679	Tilløb
15272	224,399	
16747	226,104	
18474	228,781	Tilløb
18475	236,769	
19842	237,891	
20301	238,069	Tilløb

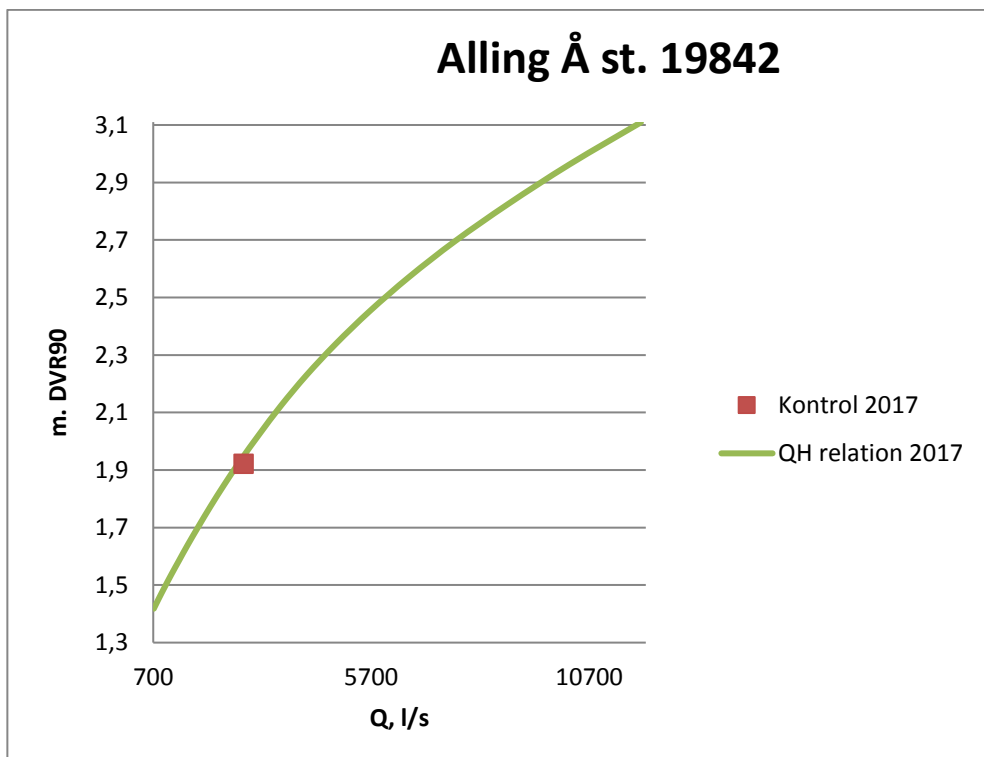
Table 7. Oplande anvendt i analysen. Oplande er tidligere bestemt ud fra terrænmodel.

Med grundlag i ovenstående manningstal, opmåling fra 2016 samt oplande som angivet i tabel 7 er der i VASP regnet en QH-relation, som i princippet er beskrivende for hele vandløbsstrækningen. Nedenfor ses plot af QH-kurve-udtræk for de to målelokaliteter. Endvidere er målepunktet plottet på graferne figur 17 og 18.

Her ses god overensstemmelse mellem de målte QH punkter og den beregnede QH relation for lokaliteterne.



Figur 17. QH relation og kontrolpunkt ved st. 16747 m.



Figur 18 QH relation og kontrolpunkt ved st. 19842 m.



For at validere QH-relationerne for vandløbsstrækningen har Orbicon endvidere udført en vandspejlsberegning på opmålingen fra 2016. Der er anvendt en afstrømningsserie med de specifikke Q værdier, der er angivet i tabel 5, de beregnede manningstal fra tabel 6 og oplande fra tabel 7. Det resulterende vandspejl er, i bilag 4, sammenholdt med de målte vandspejl ned gennem vandløbet. Her ses god overensstemmelse mellem beregnede og målte værdier, hvilket underbygger de beregnede QH relationer for strækningen.

#### 4.3. Resultat af droneflyvningen

Tabel 8 viser punktudtræk og dertilhørende faktiske GPS målinger.

Afviselserne mellem målt vandspejlskote med drone og med GPS ligger inden for 10 cm, og de fleste punkter afviger kun få cm. Det hører med til billedet af usikkerheder, at der også er usikkerhed ved måling af vandspejl med GPS. Det kan således ses af tabellen nedenfor og bilag 4, at det målte vandspejl "hopper" lidt op og ned, hvilket både kan skyldes en usikkerhed ved selve GPS-målingen og/eller, at stadiet ikke har stået præcis i vandspejlsoverfladen.

Type punkt	St	Strækning	Kote i model [m DVR90]	Kote ved GPS [m DVR90]	Afvigelse [m]
VSP på brink	19871	1	1,914	1,922	0,008
Vegetation i overfalde	19816	1	1,92	1,954	0,034
VSP på brink	19758	1	1,94	1,944	0,004
Vegetation i overfalde	19714	1	1,972	1,926	-0,046
VSP på Brink	19652	1	1,985	1,964	-0,021
Vegetation i overfalde	19604	1	1,997	2,005	0,008
Vegetation i overfalde	19574	1	2,037	1,992	-0,045
Vegetation i overflade	19483	1	2,044	2,045	0,001
Vegetation i overflade	18824	2	2,168	2,158	-0,01
Vegetation i overfalde	18712	2	2,285	2,187	-0,098
VSP på brink	18669	2	2,233	2,217	-0,016
Vegetation i overfalde	18584	2	2,31	2,257	-0,053
Vegetation i overfalde	18362	2	2,295	2,305	0,01
VSP på brink	17577	3	2,519	2,528	0,009
Vegetation i overfalde	16756	3	2,706	2,693	-0,013
VSP på brink	15961	4	2,912	2,92	0,008
VSP på brink	15793	4	3,009	2,992	-0,017

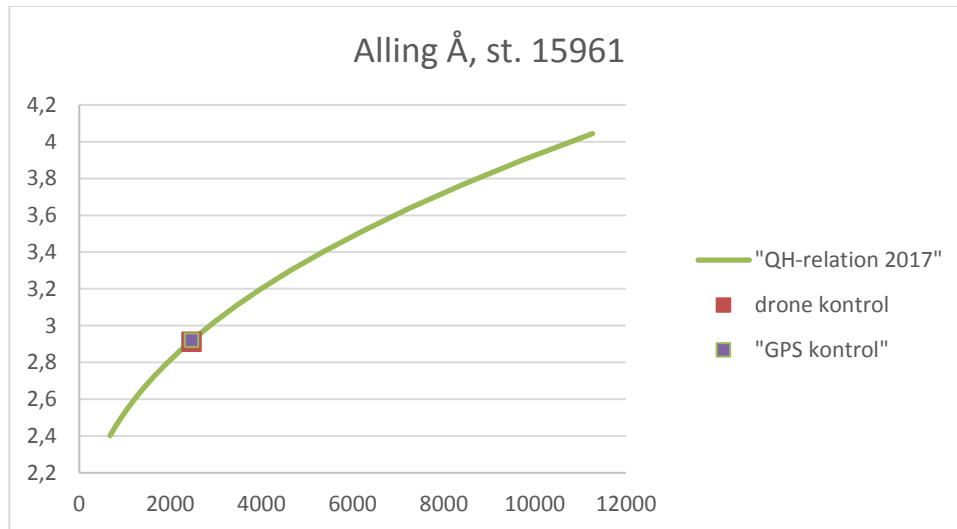
Table 8 Vandspejlskoter dels ved punktudtræk og dels ved dertilhørende faktiske målinger med GPS.

#### 4.4. Resultat af stikprøvetest

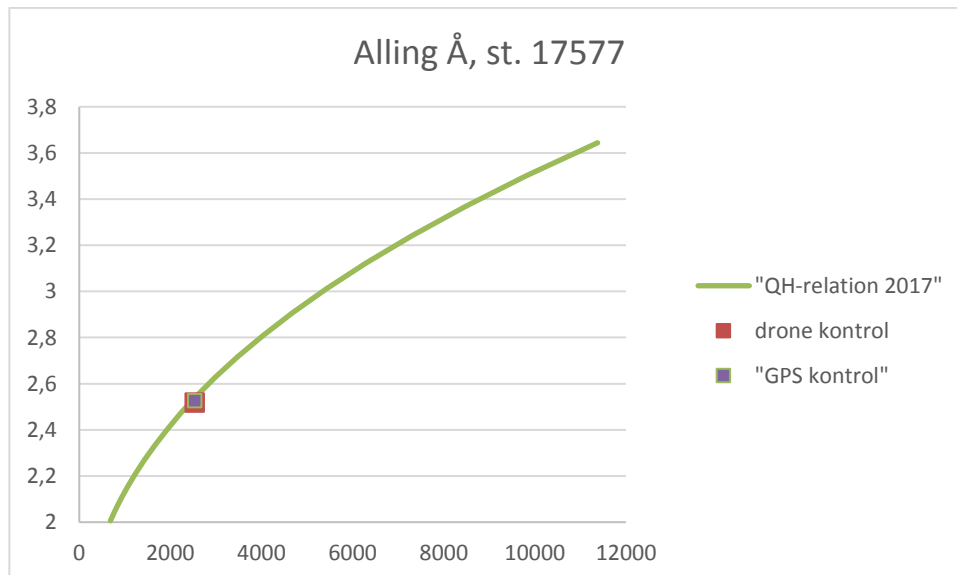
Som stikprøve har Orbicon valgt et par lokaliteter ud, hvor der er målt vandspejl med drone.

For st. 15961, 17577, 18712 og 19714 har vi således ud fra den beregnede glidende QH-relation, estimerede Q-værdier fra oplandskorrektion samt målte vandspejl med hhv. drone og GPS afbildet "kontrolpunkter" op med QH-relationen.

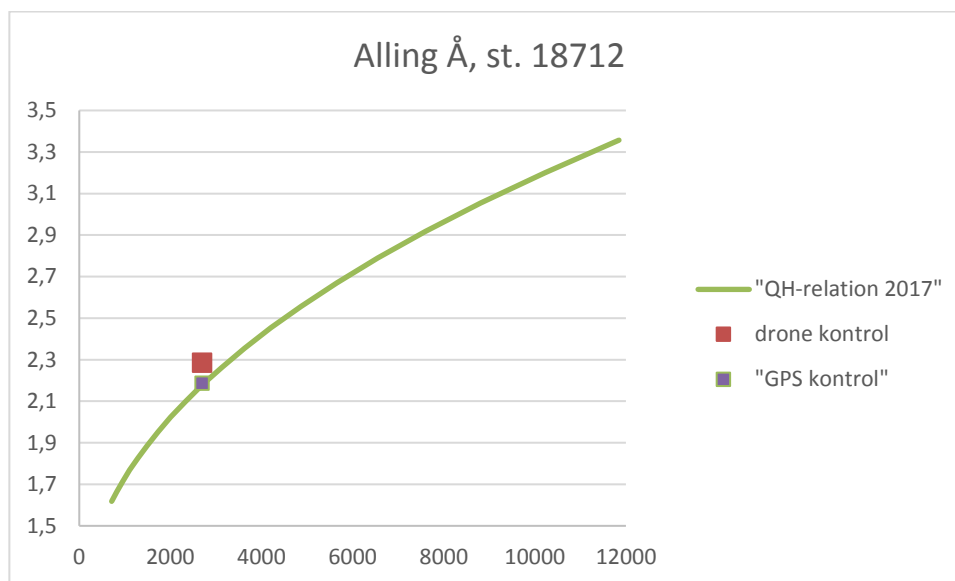
Når punkterne ligger over kurverne angiver det, at kontrollen viser en ringere vandføringsevne end QH relationen.



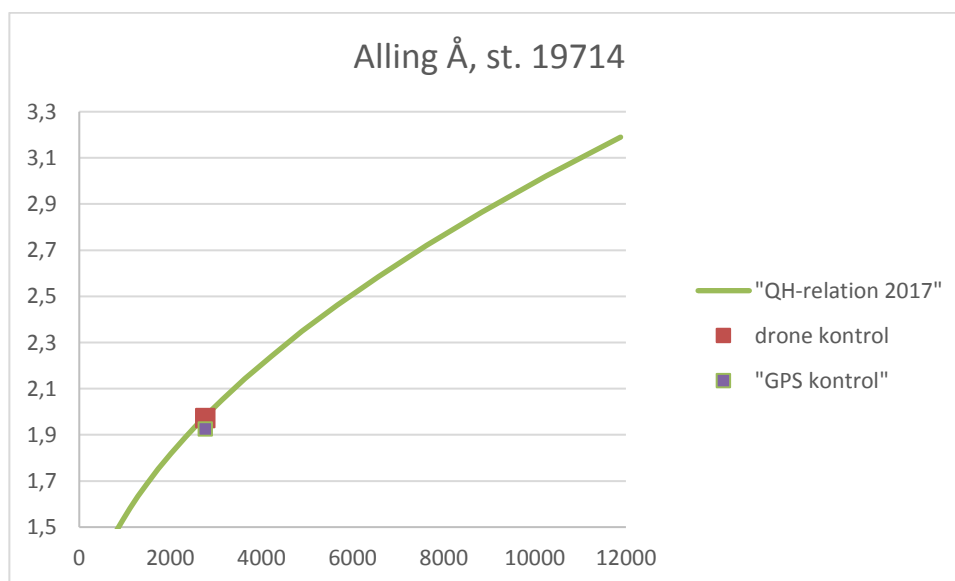
Figur 19. Stikprøve ved st. 15961. Lilla prik: Målt med GPS. Rød prik: Målt med drone



Figur 20. Stikprøve ved st. 17577. Lilla prik: Målt med GPS. Rød prik: Målt med drone



Figur 21. Stikprøve ved st. 18712. Lilla prik: Målt med GPS. Rød prik: Målt med drone.



Figur 22. Stikprøve ved st. 19714. Lilla prik: Målt med GPS. Rød prik: Målt med drone

Orbicon har, på samme vis som ved Kåtbæk, illustreret en afrapporteringsform som et længdeprofil, se bilag 5. Her er afbildet opmålt kote med drone i forhold til beregnet vandstand (QH-relationen).

Vandspejlskoter ved Alling Å, som er bestemt ud fra droneflyvningen, er umiddelbart lidt mere nøjagtige end de vandspejlskoter, der blev bestemt med dronen ved Kåtbæk. Dette skyldes formentligt, at flyvningen ved Kåtbæk i højere grad var udfordret af terræn- og vegetationsforhold.

## 5. BEMÆRKNINGER OG USIKKERHEDER VED METODE

### 5.1. QH-relation i regulativ

For at udarbejde en valid QH-relation, som kan gælde for et samlet vandløb, er det en forudsætning at have en god opmåling af vandløbet, et godt kendskab til oplandsforhold og afstrømningskarakteristika samt manningtal for vandløbet.

Selvom disse data er tilstede kan der være strækninger, hvor der ikke umiddelbart kan laves en entydig QH-relation. Det drejer sig f.eks. om rørbroer/rørledninger, der ved en given afstrømning vil give anledning til stuvninger opstrøms herfor. På sådanne strækninger bør QH-relationen eksempelvis kun gælde, når rørledningen ikke giver anledning til stuvning.

### 5.2. Måling med drone

#### Processering

Metoden fotogrammetri bygger på softwarens mulighed for at se relationer mellem billeder. Jo flere billeder som overlapper samme punkt, desto bedre præcision.

Når der skal flyves langs vandløb, så reduceres antallet af overlappende billeder på tværs af vandløbet i forhold til flyvninger, som er mere kvadratiske. Dette gør, at modellerne ved splejsning af flere flyvninger risikerer at få større afvigelser end softwaren normalt producerer. Derfor skal hver enkel flyvning processeres for sig, og efterfølgende splejses sammen. Processeres alle flyvningerne sammen, så er der ingen garanti for, at GCP'erne kan rette op på softwarens forskydning af modellen.

Dette er ikke en umulig opgave, men det kræver forarbejde, forståelse for softwaren og omhu med databehandlingen.

Opbygges og implementeres de korrekte procedurer for en sådan processering, så vil metoden kunne gøres hurtigt og effektivt. Men i forsøgsstadiet har dette været en tidskrævende proces.

Dertil skal det nævnes, at antallet af GCP'er og afstanden imellem disse med nærværende metode har stor indflydelse på kvaliteten af modellen. I en model hæftet udelukkende på skalapæltoppe ville der umiddelbart kun være stor succes med udtræk af punkter direkte omkring skalapælene. For at kunne anvende skalapæle eller lignende som GCP skal de stå med større tæthed, måske 100-150 m.

#### Udstyr

Den drone, der blev anvendt i opgaven er af typen Phantom 3 Pro. Denne type drone har en relativ præcis indbygget GPS hvad angår x og y koordinater. Z-koordinaten fra sådan en drone er relativ i forhold til det punkt, dronen letter fra. Koterne er derfor ikke angivet i forhold til DVR90. Dette er en af de væsentlige årsager til, at der skal udlægges GCP'er (Ground Control Points), samt at der skal foregå en individuel tidskrævende processering af de enkelte flyvninger mv.

Hvis der i stedet anvendes en drone, som kobles til et såkaldt PPK-GPS system, så får dronen en præcision, som svarer til moderne totalstationer.

Et PPK-GPS system er et setup, hvor håndholdte GPS'er stilles fast og konstant sender GPS målinger til dronen. Der kobles 2-3 GPS'er på, således deres triangulering er så nøjagtig som mulig. Dronens Z-koter bliver koblet til et valgt koordinatsystem. Dermed bliver processeringen markant nemmere, og kan foretages uden GCP'er eller individuel processering. Et PPK-GPS system skal dog ved anskaffelse undergå en større kalibrering og programmering forinden det kan sættes i effektiv drift.

Udlægning af GCP'er er en større og mere besværlig omgang. Felterne skal placeres på hver side af vandløbet med jævne mellemrum på hver strækning. Her skal de placeres på en så flad overflade som mulig, da vegetation giver sig ved opmåling med GPS, men ikke når dronen overflyver dem. Dertil skal GCP'erne sikres mod påvirkning imellem opmåling og flyvningen. Vind, biler, heste (se foto 3) mv. kan flytte på eller påvirke GCP'erne, og justeringen af en model bliver derfor forskudt tilsvarende. En GCP som er flyttet blot 20-30 cm kan betyde, at modellen vrides og knækker, fordi softwaren ikke vil kunne skalere på billederne, men alligevel skal have dem til at passe med GCP'erne.



Foto 3. Hest slikker på kontrolplade ved Kåtbæk. Foto taget af dronen.

### Topografi og vegetation

Ved håndteringen af data og kig i modellerne er det tydeligt, at jo mindre vegetation på brinkerne og træer der er, desto bedre bliver muligheden til at udtrække flere velplacerede punkter. Vegetation som hænger ud over vandløbet begrænser mulighederne for

at finde de bedste punkter og i områder, hvor vandløbet helt er dækket af vegetation, kan det slet ikke lade sig gøre, da softwaren er billedbaseret.

Dertil gavner det modelleringen, at områderne er så flade som muligt, og vandløbene ikke for dybt skåret i terrænet. Disse to faktorer udelukker dog ikke metoden, men besværliggør efterarbejdet, da antal mulige vandspejls punkter reduceres i takt med dybden af vandløbet. Ved varierende terræn er dronen nødsaget til at flyve i en overhøjde, således den ikke kolliderer med træer og terræn, og den indhentede data bliver derfor af en mindre opløsning.

### Flyvning

Fordelen ved, at anvende dronflyvning til dataindsamling er selvfølgelig, at man særligt på sigt kan spare tid og samtidig får mulighed for at få flere data/informationer med hjem. En ulempe ved brug af flyvende droner, som skal nævnes her, er at anvendelsen er vejrfølsom. I regn og blæst kan de fleste droner ikke flyve/måle.

## 6. KONKLUSION OG PERSPEKTIVERING

Fotogrammetri til bestemmelse af vandspejl er umiddelbart en plausibel løsning. Opsættes en længere strækning med de korrekte forhold til en hurtig og effektiv tilbagevendende kontrol, så kan der med nutidens og især fremtidens droner overflyves lange strækninger vandløb på meget kort tid.

Potentialet for metoden er stort, da både softwaren og hardwaren konstant er under udvikling. Investeres der i en mere kostbar drone med PPK-GPS muligheder og større rækkevidde, så ville store dele af efterarbejdet falde fra, og præcisionen ville være forhøjet. Et PPK-GPS system er som tidligere nævnt et setup, hvor håndholdte GPS'er stilles fast og konstant sender GPS målinger til dronen. Ved brug af et sådant system vil præcision af z koordinaten ikke være afhængig af overflyvning af skalapæle eller GCP'er, men vil kunne måles, fra startpunktet, i en kvalitet svarende til en håndholdt GPS (+/- 1,5 cm).

Den valgte strækning af Kåtbæk til forsøget viste sig ikke at være optimal til dronemålingen, da vandløbet på den øvre strækning både var snævert, dybt skåret og havde stor vegetation på brinkerne. Andre steder var vandløbet meget overdækket af træer, og et enkelt sted lå der 50 m luftledninger ind over traceet. Alle disse elementer umuliggjorde ikke arbejdet, men påvirkede præcision på disse lokaliteter ved en større nødvendig flyvehøjde, samt øgede den nødvendige indsats i efterfølgende processeering. Allinge Å er et større vandløb, og her var det umiddelbart lettere at modellere vandspejl med fotogrammetri, idet strækningen var mere åben og ensartet.

Meget af arbejdet med modelleringen har bestået i at sætte sig ind i flyvning i smalle tracéer over vandløb, som i overraskende grad afviger fra traditionel kvadratisk fotogrammetri. Denne erfaring om "do's and don't's" vil kunne implementeres direkte i fremtidig flyvninger og derved effektivere processen endnu mere.

En stor bonus ved fotogrammetrien er desuden, at den foruden muligheden for vandspejludtræk også producerer en højopløselig ortomosaik for vandløbet (baggrundskort), digital terrænmodel og mere. Disse data kan inkorporeres i administrativt arbejde med vandløbene og potentielt give en merværdi for myndigheder eller lodsejere. Bl.a. kan punktskyen bruges til opmåling af strømrøndebredde med stor præcision, som f.eks. kunne benyttes til kontrol efter grødeskæring mv.

Der er også perspektiver i at uddrage yderligere informationer fra den dronebaserede digitale terrænmodel. Hvis man inddrager data fra Danmarks Højdemodel sammen med eksisterende vandløbsstreger fra GeoDK (temaet VandløbsmidteBrudt) kan man f.eks. automatisere en proces, som vinkelret fra ethvert af Vandløbsmidtepolygonens knæpunkter udsøger dels vandspejlskant og dels kronekant og dermed oplysning om vandløbsbredde og vandspejlskote.

### **Kontrol af regulativer**

Forsøget viser, at metoden højst sandsynligt vil kunne bruges til en effektiv kontrol af Q/H regulativtypen. Det vil være nødvendigt at udvikle yderligere på metoden bl.a. ved automatisering af nogen af de processer, der i dette forsøg er håndteret manuelt, hvilket bl.a. indbefatter en udvikling af det anvendte software. Skal kommunerne kunne bruge metoden retvisende, skal der udarbejdes en fælles vejledning, som i detaljer beskriver anvendelsen af metoden og hvilke begrænsninger, der er i metoden.

Udvikles metoden til en sikker kontrol af Q/H regulativer skaber det muligheder for, at kommunerne mere effektivt kan lave en præcis og behovsstyret kontrol af regulativoverholdelsen. Når først den glidende Q/H relation er på plads for et vandløb, med de nødvendige fixpunkter og eventuelle nye Q-målestationer, vurderes det, at kommunerne relativt let kan overflyve en strækning og umiddelbart se om regulativet er overholdt.

Det udstyr, der er anvendt i forsøget, råder mange kommuner allerede over i dag, og de vil derfor hurtigt og billigt kunne komme i gang, når de automatiske processer, der skal anvendes til metoden, er på plads.

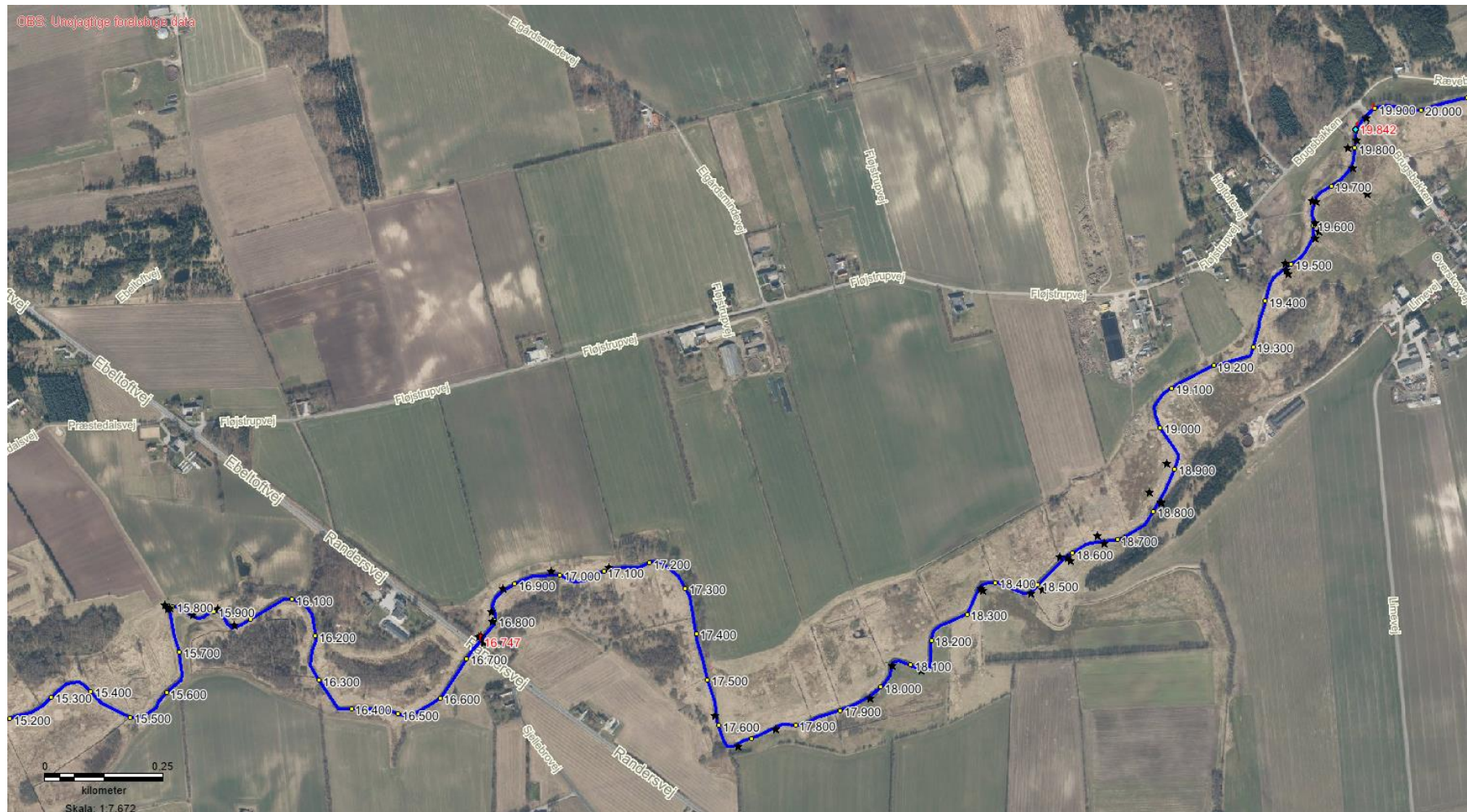


Bilag 1 a. Rapport vedr. glidende QH



Oversigt over forsøgsstrækning Kåtbæk, som er overfløjet med drone. Stationer pr. 100m. Sorte stjerner: Målt terræn, vandspejl med GPS. Gule cirkler: målt Q og H. Lyseblå cirkel: Målestation.

## Bilag 1 b. Rapport vedr. glidende QH



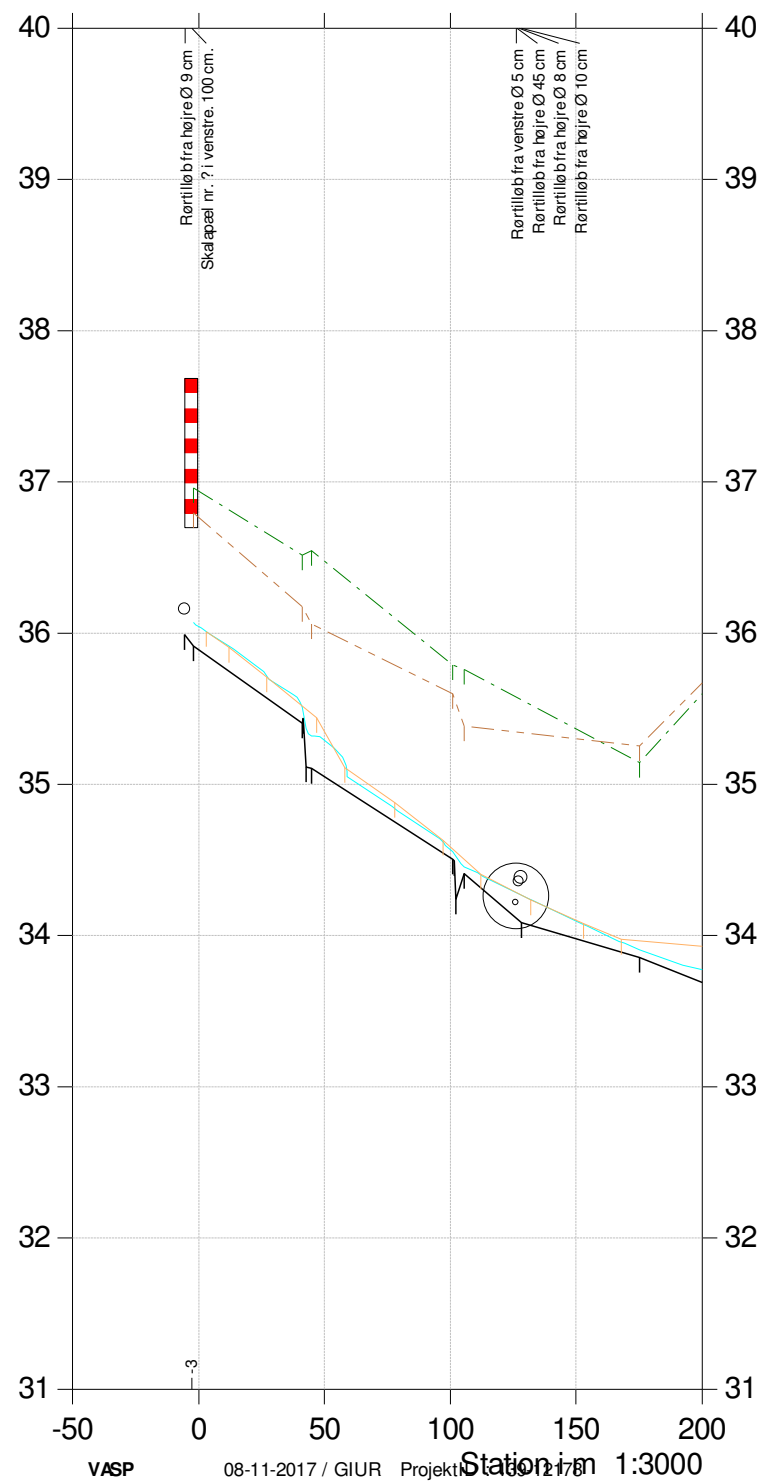
Oversigt over forsøgsstrækning Alling Å, som er overfløjet med drone. Stationer pr. 100m. Sorte stjerner: Målt terræn, vandspejl med GPS. Røde stationer: målt Q og H. Lyseblå cirkel: Målestation.

# Kåtbæk, øvre og nedre del

Glidende QH kontrol 2017

-  Beregnet vsp
-  Terræn højre
-  Terræn venstre
-  Bund
-  Målt vandspejl med GPS

Kote i m DVR90 1:50



# Kåtbæk, øvre og nedre del

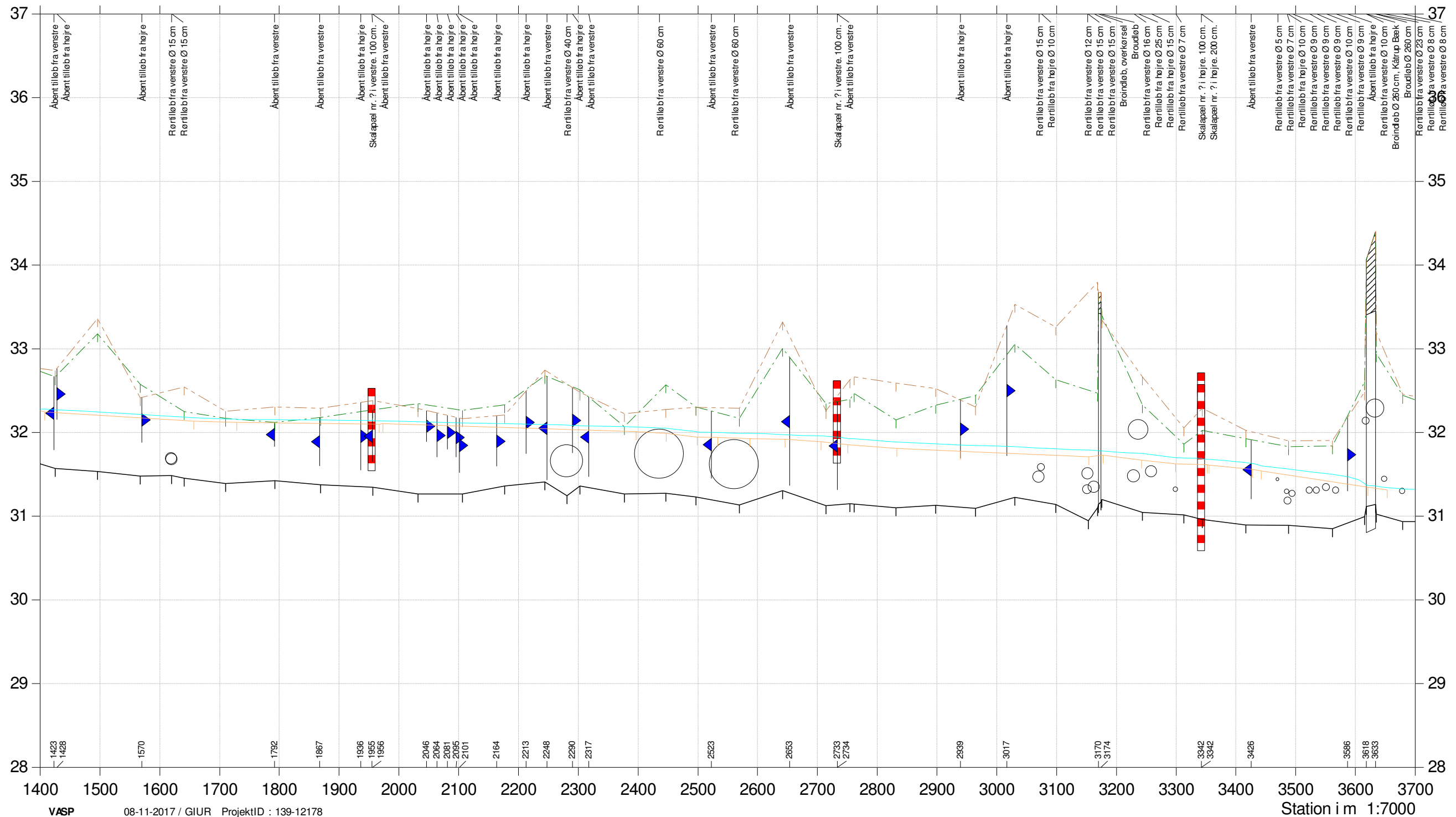
Glidende QH kontrol 2017



Bilag 2.b

- Beregnet vsp
- - - Terræn højre
- - - Terræn venstre
- Bund
- Målt vandspejl med GPS

Kote i m DVR90 1:50

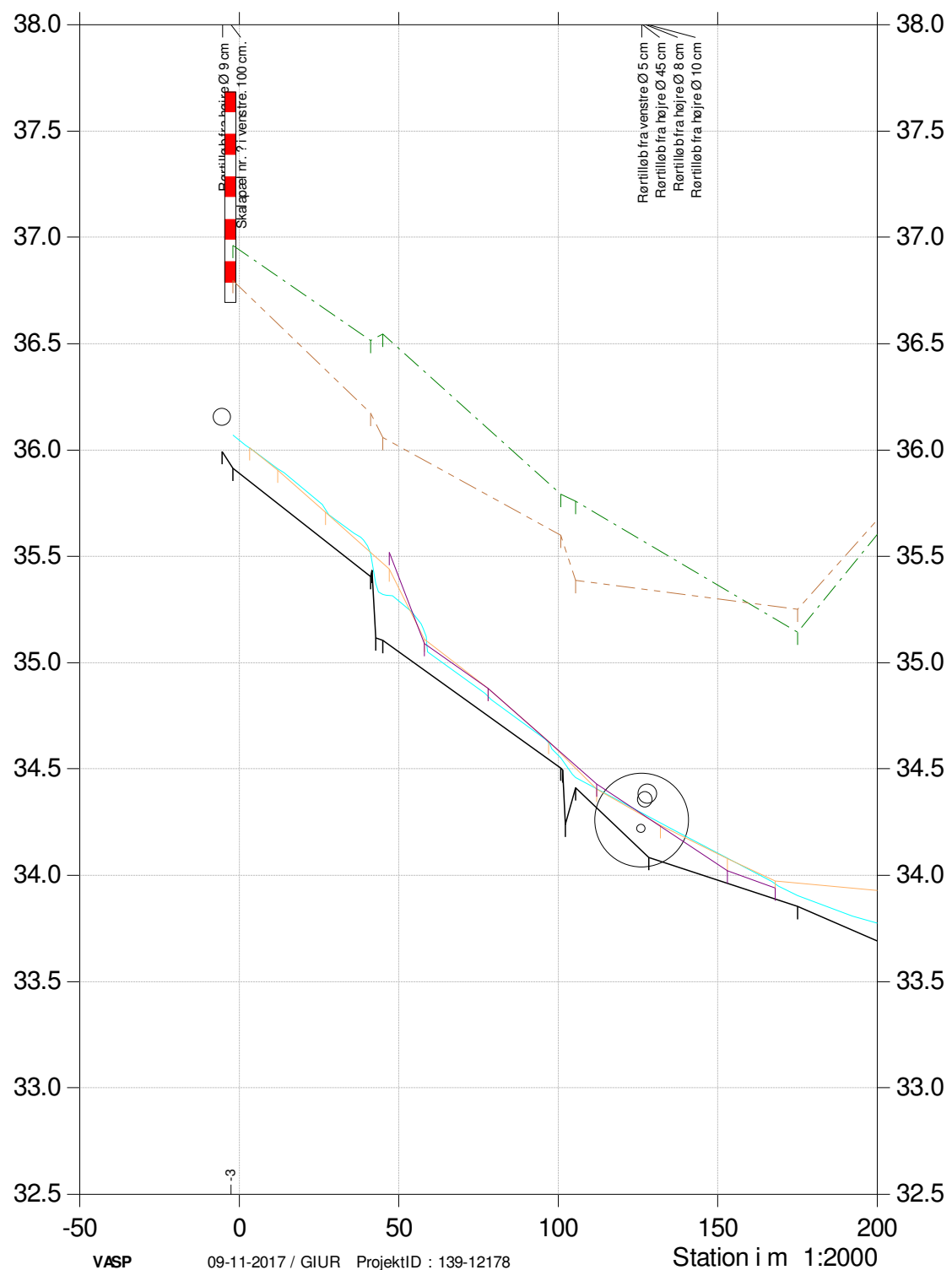


# Kåtbæk, øvre og nedre del

Glidende QH kontrol 2017

- Beregnet vsp
- Terræn højre
- Terræn venstre
- Bund
- Vandspejl målt med drone
- Vandspejl målt med GPS

Kote i m DVR90 1:30



# Kåtbæk, øvre og nedre del

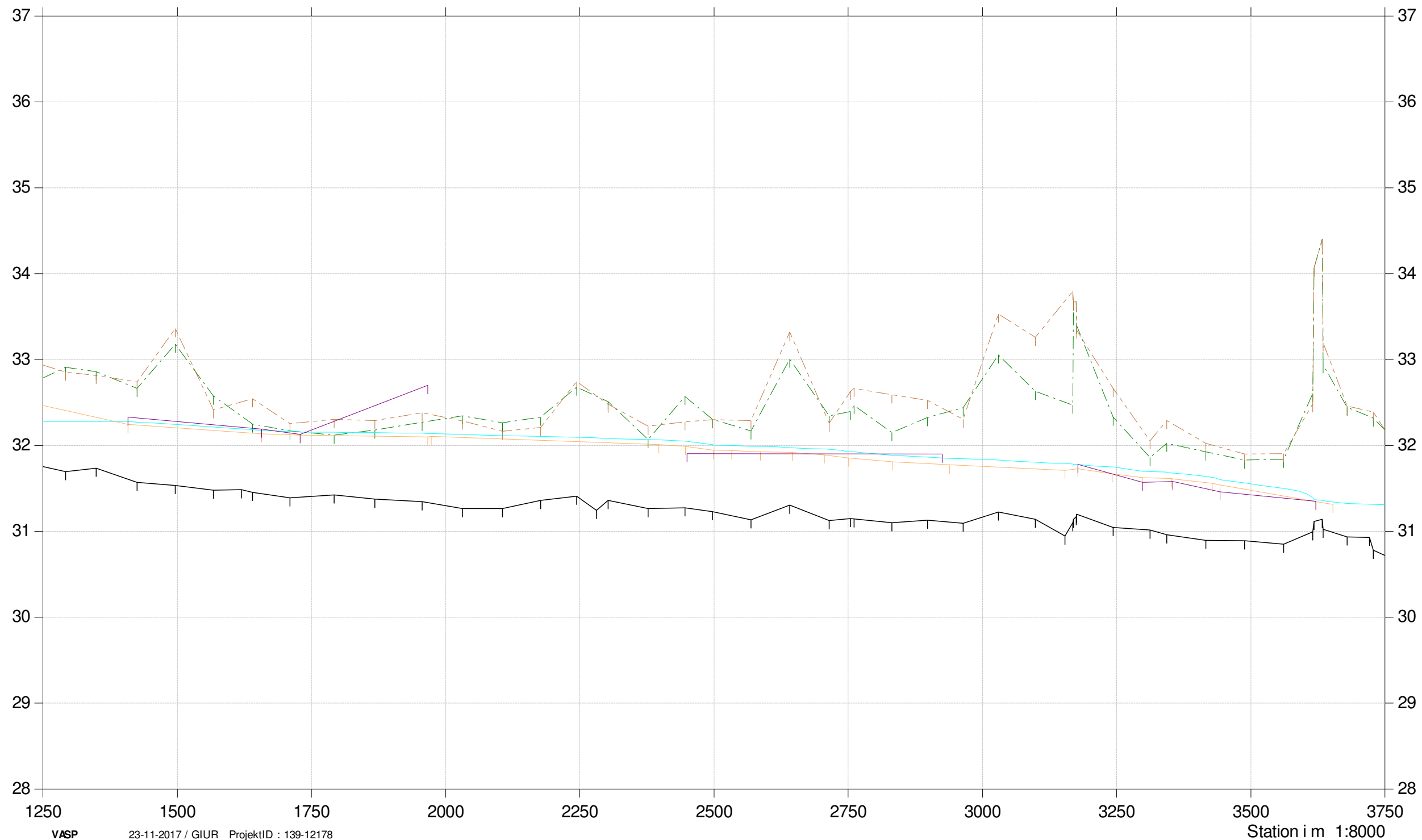
Glidende QH kontrol 2017



Bilag 3.b

- Beregnet vsp
- Terræn højre
- Terræn venstre
- Bund
- Vandspejl målt med drone, str. 3
- Vandspejl målt med drone, str. 4
- Vandspejl målt med drone, str 2
- Vandspejl målt med GPS

Kote i m DVR90 1:50



# Alling Å, øvre og nedre del

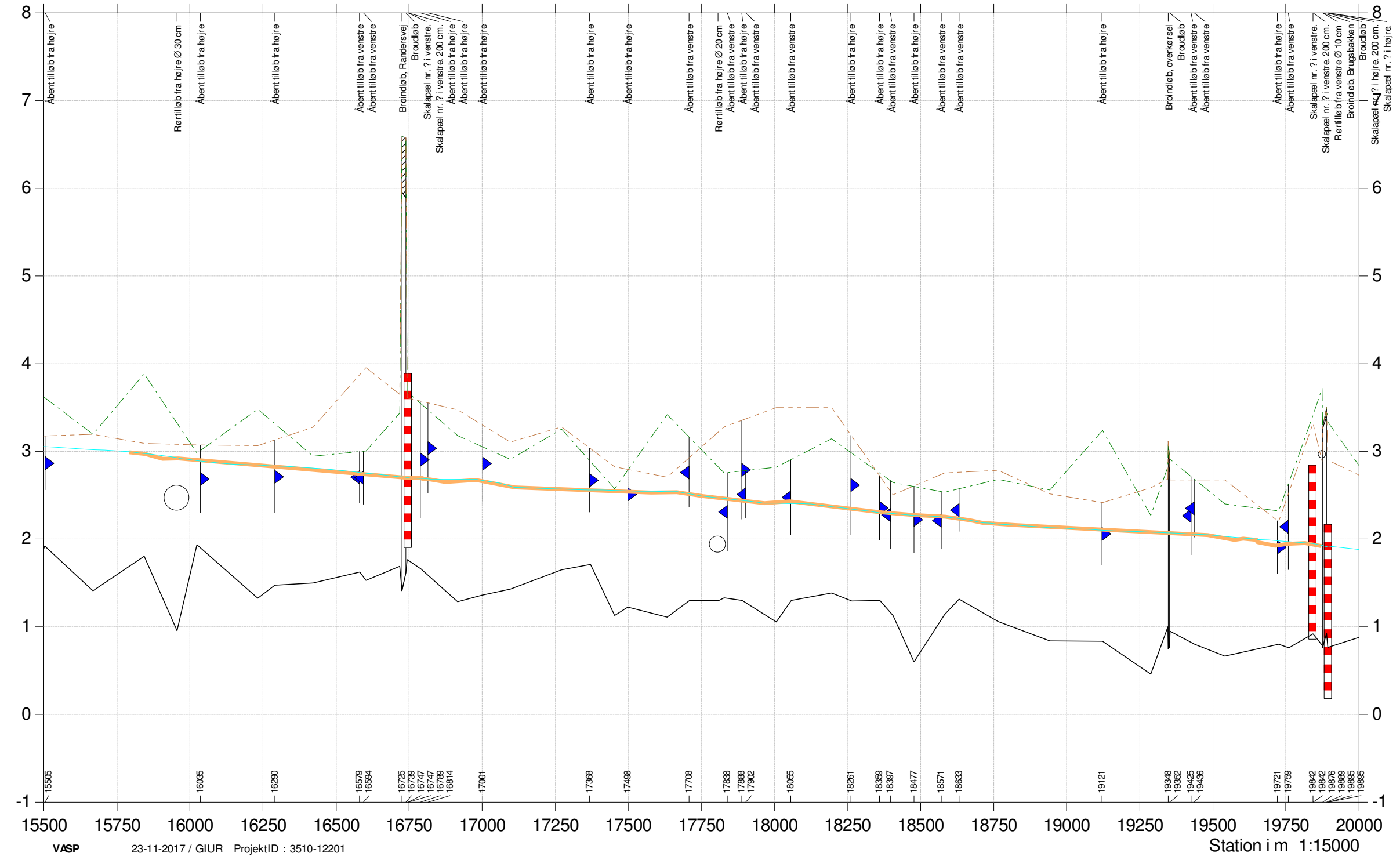
Glidende QH relation



Bilag 4

- Målt vsp med gps
- - - Terræn højre, 2016
- - - Terræn venstre, 2016
- Bund, 2016
- Beregnet vsp
- Terræn Højre
- Terræn venstre

Kote i m DVR90 1:50



# Alling Å, øvre og nedre del

Glidende QH relation

- Målt vsp med gps
- - - Terræn højre, 2016
- - - Terræn venstre, 2016
- Bund, 2016
- Vandspejl målt med drone, str. 3
- Vandspejl målt med drone, str. 2
- Vandspejl målt med drone, str. 1
- Vandspejl målt med drone, str. 4
- Beregnet vsp

Kote i m DVR90 1:50

