

Ny opmålingsteknologis potentiale for at blive anvendt i kontrollen og dokumentationen af vandløbsregulativers overholdelse

Gerå som caseområde

December 2020



Ny opmålingsteknologis potentiale for at blive anvendt i kontrollen og dokumentationen af vandløbsregulativers overholdelse

Gerå som caseområde

Er udgivet af

Landbrug og Fødevarer F.m.b.A.
SEGES
Agro Food Park 15
8200 Aarhus N
+45 87 40 5000
seges.dk

Udarbejdet af

SEGES, Plante- og Miljøinnovation
WSP, Natur og Vand

Støttet af

Promilleafgiftsfonden for Landbrug

Forfattere

Rikke Krogshave Laursen, Landskonsulent (SEGES)
Line Bønnelycke Nørgaard, Konsulent (SEGES)
Valdemar Egelund Jørgensen, Praktikant (SEGES)
Ole Smith, Markedschef, Hydrometri (WSP)
Inger Klint Jensen, Chefrådgiver, Agronom (WSP)

Forside foto

Line Bønnelycke Nørgaard (SEGES)

Forord

Nærværende rapport "Ny opmålingsteknologis potentiale for at blive anvendt i kontrollen og dokumentationen af vandløbsregulativers overholdelse. Gerå som caseområde" er udarbejdet i samarbejde mellem SEGES og WSP. Rapporten indgår som en del af et større projekt kaldet "Håndtering af stigende vandmængder i vandløbene", som er støttet af Promilleafgiftsfonden for Landbrug i 2020. Gerå og dets opland udgør projektets caseområde, hvorfor Gerå også er anvendt som caseområde i forbindelse med undersøgelsen af nye opmålingsteknologiers potentiale. Feltarbejde ifm. rapporten er udført i april 2020, og selve rapporten er udarbejdet i efteråret 2020.

SEGES har haft hovedansvaret for kapitlet "Indledning" samt afsnittene "Opmåling af landmåler med GPS" og "Caseområde Gerå". WSP er hovedskribenter på kapitlerne "Resultater", og "Nye opmålingsmetoder og regulativkontrol", samt afsnittene: "Opmåling med LIDAR", "Opmåling med Ekkolod", "Opmåling med GPR", "Dataindsamling langs udvalgt strækning i Gerå" og "Databehandling". Kapitlet "Diskussion og perspektivering" samt konklusionen er skrevet i samarbejde mellem SEGES og WSP.

Der har løbende været fælles møder og diskussioner af de enkelte afsnit, ligesom alle involverede parter har haft mulighed for at kommentere på de enkelte afsnit.

Resume

I nærværende rapport er potentialet for ny teknologi til opmåling af vandløb samt regulativkontrol blevet undersøgt. Der er redegjort for en række nye teknologier, som benyttes i dag, samt er under udvikling, og hvordan disse kan anvendes ifm. opmåling af vandløb.

Der er foretaget feltarbejde i form af traditionel opmåling af vandløbstværsnit med GPS samt længde- og tværsnitsbaseret opmåling af vandløbsprofil med båddrone. Der er ligeledes udført vandføringsmålinger med båddrone ved hjælp af akustisk doppler flowmåler i hovedløb og vingeinstrument i tilløb. Sidst bestod feltarbejdet også af en droneoverflyvning, hvorved der blev genereret ortofotos. En udvalgt strækning på ca. 3 km i det nordjyske vandløb Gerå har udgjort caseområdet. Feltarbejdet blev foretaget i april 2020, hvor grøden i vandløbet var minimal.

Databehandling af resultater fra feltarbejdet er behandlet og diskuteret i rapporten.

Resultater fra den tværsnitbaserede sejlads med båddronen viste en god overensstemmelse mellem disse tværsnit og GPS opmålte tværsnit. De båddronen genererede tværsnit var mere detaljerede end de tværsnit opmålt med GPS pga. en større datatæthed. Der fandtes enkelte eksempler, hvor der var små uoverensstemmelser mellem tværsnit opmålt med hhv. båddrone og GPS. Dette kan forklares ved, at de to tværprofiler opmålt med hhv. GPS og båddrone er opmålt en smule forskudt af hinanden. Det kan konkluderes at de tværsnitbaserede opmålinger med båddronen er pålidelige i dette tilfælde.

Utilstrækkelig vanddybde i vandløbet på dagen for opmålingen, gav udfordringer ifm. generering af tværprofiler baseret på den længdegående sejlads af vandløbet med båddronen. I områder hvor profilet er velbeskrevet, trods den begrænsede vanddybde, viser tværsnit baseret på den længdebaserede opmåling, at disse stemmer godt overens med de GPS opmålte tværsnit. Under optimale forhold vil det med denne metode desuden være muligt at trække tværsnit ud med en hvilken som helst ønsket afstand med meget stor detaljeringsgrad. Der vil dog stadig være udfordringer ved lavvandede områder langs brinken, der skal løses.

Idet der med båddronen udelukkende måles den del af tværsnittet, der befinder sig under vandoverfladen, er det undersøgt, hvorvidt det er muligt at sammensætte de båddrone-opmålte tværsnit med tværsnit genereret ud fra Danmarks Højdemodel (DHM) for at dække tværsnittet over vandspejl. DHM passer generelt godt med de GPS-opmålte data, men kombinationen af disse data med båddronedata er ikke en mulig løsning ved regulativkontrol, idet tværsnit taget fra DHM er et øjebliksbillede fra den dag overflyvningen fandt sted. Ved kontrolopmåling er det nødvendigt at foretage en opmåling af hele det sammenhængende tværprofil samtidig.

I nærværende rapport er det også undersøgt, hvilken merværdi der kan opnås ved brug af nye opmålingsteknologier. Ortofotooverflyvningen af Gerå gav et udvidet indblik i vandløbets tilstand. Med en drone kunne det i Gerå ses, hvor der fandtes nedskredne brinker, grødevækst og sedimentophobning, strømningsrenden kunne også lokaliseres herudfra. Dette åbner op for nye muligheder for planlægning forud for kontrolopmåling, grødeskæring og vedligeholdelse af vandløbet. Ved brug af båddronen er det også muligt at foretage vandføringsmålinger, hvorved Manningtal kan bestemmes. Forskellige nyere teknologier giver mulighed for et øget indblik og bedre overblik over det enkelte vandløb og dets dynamik. Merværdien ved brug af båddronen er oplagt, grundet muligheden for en mere detaljeret opmåling af hele vandløbets strækning. Diskussionen af, hvad der findes mellem de traditionelle GPS-opmålte tværsnit, kan fjernes ved brug af denne teknologi.

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	1
1.1	Formål	1
1.2	Baggrund	1
1.2.1	Konsekvenser af utilstrækkelig afvandingsevne i vandløb	2
1.2.2	Løsningsmuligheder	3
2	Opmålingsmetoder	4
2.1	Opmåling af landmåler med GPS	4
2.2	Opmåling med LIDAR	5
2.2.1	Rød LIDAR	5
2.2.2	Grøn LIDAR	6
2.3	Opmåling med ekkolod	6
2.4	Opmåling med GPR	7
3	Metode	8
3.1	Caseområde, Gerå	8
3.1.1	Gerå gældende regulativ	9
3.2	Dataindsamling langs udvalgt strækning i Gerå	10
3.2.1	Traditionel GPS opmåling	10
3.2.2	Opmåling med Ekkolod	11
3.2.3	Vandføringsmålinger	15
3.3	Databehandling	16
3.3.1	Databehandling for opmåling med GPS	17
3.3.2	Databehandling for opmåling med båd drone	18
3.3.3	Danmarks højdemodel til beskrivelse af profil over vandspejl	22
4	Resultater	23
4.1	Sammenligning af tværsnit, tværsnitbaseret opmåling med båd drone	23
4.2	Sammenligning af tværsnit, længdebaseret opmåling med båd drone	25
4.3	Sammenligning af tværsnit, Danmarks højdemodel	27
4.4	Orto-fotos	29
4.5	Vandførings- og vandstandsmålinger	31
4.6	Manningtalsbestemmelse	33
5	Nye opmålingsmetoder og regulativkontrol	35
5.1	Vurdering af betydningen af opmålingens detaljeringsgrad i forhold til regulativkontrol	35
5.2	Følsomhedsanalyse af datatæthed for GPS-opmålingen	37
5.3	Sammenligning af metoder for udvalgt delstrækning	41

6	Diskussion	43
7	Sammenfatning og konklusion	48
8	Litteratur	50
9	Bilagsoversigt	52

1 Indledning

1.1 Formål

Oversvømmede marker og neddykkede dræen er en stigende udfordring i landbruget, som bidrager til en ineffektiv produktion, tabt omsætning og et øget næringsstoffab til miljøet. Udfordringerne skyldes blandt andet den generelt øgede vandføring i vandløbene forårsaget af ændrede klimatiske forhold med øgede mængder nedbør og stigende terrænnær grundvandsstand, samtidig med at opfyldelse af de danske vandmiljøplaner peger i retning af mindsket vandløbsvedligeholdelse i form af oprensning og grødeskæring. I fremtiden forventes presset på vandløbenes afledningskapacitet at stige yderligere. Det er derfor essentielt at sikre vandløbenes afledningsevne og dræenene fuld funktionsdygtighed. I den forbindelse er det grundlæggende, at vandløbsregulativernes bestemmelser er overholdt.

Traditionelt kontrolleres, om et vandløb overholder dets regulativ, på baggrund af data opmålt manuelt, ved at en person med en GPS og/eller totalstation opmåler bundkoter, tværsnit m.v. i et vandløb. Dette er en tidskrævende opgave med begrænset mulighed for at få en detaljeret beskrivelse af vandløbets skikkelse. Nye teknologier kan potentielt afhjælpe dette problem ved, at der eksempelvis foretages en 3D opmåling med høj datatæthed af vandløbet. Yderligere kan flere af de nye teknologier samtidig med opmålingen indsamle ekstra data som f.eks. vandføring eller højtopløselige billeder (ortofotos), der potentielt kan give merværdi ift. den traditionelle opmåling.

Formålet med denne undersøgelse er således at belyse ny opmålingsteknologis potentiale for at blive anvendt i kontrollen og dokumentationen af vandløbsregulativers overholdelse. Det skal bidrage til at skabe nye standarder og udnytte den teknologiske udvikling, og derved forbedre den traditionelle opmåling. Dette er gjort ved at sammenligne den traditionelle opmålingsmetode med en nyere teknologisk opmålingsmetode samt vandløbsregulativets bestemmelser, for at besvare to konkrete spørgsmål:

- Vil en større datatæthed på en vandløbsopmåling, som nyere opmålingsteknologier tilbyder, bidrage med værdifuld viden og information (bl.a. mellem traditionelle tværsnitprofiler målt med 75 – 125 m mellemrum), som kan anvendes i kontrollen og dokumentationen af et vandløbsregulativs overholdelse?
- Opnås merværdi ved opmåling af vandløb med nye opmålingsteknologier?

Yderligere undersøges fordele og ulemper ved den udvalgte nyere teknologis opmålingsmetode samt økonomien i at anvende ny teknologi frem for en traditionel opmålingsmetode.

1.2 Baggrund

Andelen af dansk landbrugsjord der i dag er systematisk drænet, ligger på omkring 50% (Gertz *et al.*, 2012; Møller *et al.*, 2018), hvilket er en af de højeste andele af dræning i verden (Feick *et al.*, 2005). Den omfattende udbredelse af dræning i landbruget kom i høj grad i to perioder fra 1860-1900 (Gertz *et al.*, 2012) og senere fra 1930-1970 (Olesen, 2010). Samtidig med udbredelsen af dræen blev vandløb rettet ud, indtil over 90% af danske vandløb var kanaliserede, omlagt eller nyanlagte (Lindegaard-Petersen & Sand-Jensen, 2004). Vandløbene blev modificeret for at øge vandføringen og sænke vandspejlet (Wayne Skaggs, 1996). Dette blev gjort for at sikre, at drænenes udløb befandt sig over vandløbets vandspejl, og de dermed havde fuld funktionsdygtighed (Nijland *et al.*, 2005).

Fortidens ændringer af landskabet og tilpasning af vandløbene med afvandingsmæssige formål i fokus, danner konflikt med nutidens forhøjede fokus på natur og miljø. Dette kommer blandt andet til udtryk i EU's vandrammedirektiv (EU, 2000), men har været tilstede i dansk lovgivning siden 1983, hvor den nuværende vandlovslov trådte i kraft, og muliggjorde vandløbsrestaurering (Miljøministeriet, 1985). I dag er målet, at vandløb ikke kun

skal fungere som afvandingskanaler, men tjene et økologisk, æstetisk og rekreativt formål (Madsen *et al.*, 2006). Dette har betydet, at vedligeholdelsen i form af grødeskæring og oprensning er blevet ændret i mange vandløb for at afbalancere natur og miljøhensyn med afvandingsinteresserne. Grødeskæringen foregår via mere skånsomme grødeskæringsmetoder som bl.a. strømrødeskæring eller netværksskæring for at højne vandløbets faunaklasse og sikre bibeholdelse af essentielle habitater for invertebrater.

Ændringerne i vedligeholdelsen af vandløbene kommer samtidig med, at mængden af vand, der afledes i vandløbene, er stigende. Siden DMI begyndte at måle i 1874, er den årlige nedbørsmængde i gennemsnit steget med 100 mm (Cappelen, 2018). Dette har betydet, at der i mange danske vandløb er observeret en stigning i den årlige middelfastrømning (Larsen *et al.*, 2005), og flere og flere landmænd beretter om stigende udfordringer med at sikre dræning frit udløb og hyppigere oversvømmelser af vandløbsnære landbrugsjorder.

Den fremtidige udvikling i årsnedbøren prognosticerer til at forøge, med middelforudsigelser som forudsiger en stigning i årlig nedbør på 7% i årene 2071-2100 sammenlignet med den gennemsnitlige årlige nedbørsmængde i perioden 1981-2010 (Langen *et al.*, 2020). Derudover forudses, at sommeren generelt vil blive tørrere, og sommerregnen i højere grad vil falde som skybrud (Langen *et al.*, 2020).

1.2.1 Konsekvenser af utilstrækkelig afvandingssevne i vandløb

I landbruget er der en lang række konsekvenser forbundet med utilstrækkelig dræning og afledning af vand i vandløb. Dette er bl.a.:

- *Rettidigheden i markoperationer udfordres og længden af vækstsæsonen reduceres*
Vandlidende jord har en forringet bæreevne, og kan derfor blive ufarbar for tunge landbrugsmaskiner (Aslyng, 1970). At landmanden ikke kan udføre sine markoperationer rettidigt, medfører en række afledte konsekvenser. En ufarbar mark kan bl.a. forsinke såningen, hvilket forkorter afgrødens vækstperiode, og derved påvirker landmandens udbytte.
- *Risikoen for at jorden komprimeres øges*
Hvis landmanden vælger at foretage markoperationer på den vandlidende jord, er der en forhøjet risiko for at jorden komprimeres, og der opstår mere eller mindre permanente skader. Denne deformation af jorden skader den hydrauliske ledningsevne. Der opstår derfor en selvforstærkende proces hvor markarbejde på en vandlidende jord, øger raten af jordpakning under trykket fra landbrugsmaskiner, som resulterer i jord, der fremover har en ringere vandafledningsevne (Filsø *et al.*, 2019).
- *Ringere vækst, mindre roddebygge og begrænset rodudvikling*
En vandlidende jord påvirker også afgrøderne negativt i form af ringere vækst. En metadata analyse af Herzog *et al.* (2016) fandt, at udbyttet i hvede faldt til 57% (median) som en konsekvens af forhøjet vandniveau i jordsøjlen (vandstand ved terræn) i forhold til kontrolforsøg under drænede forhold. Selv i områder, hvor marken ikke er synligt vandlidende, kan højtstående grundvand resultere i et nedsat udbytte på 25% i hvede og vårbyg (Jensen, 2019). Nedsat udbytte skyldes flere faktorer. Blandt andet at en vandmættet jord vil danne anaerobiske forhold omkring afgrødernes rødder, hvilket vil lede til hypoxi i rodvævet (Herzog *et al.*, 2016). Derved drukner rødderne længere nede i jorden. Det betyder, at planten kun har rødder højere oppe i jordsøjlen, og derfor har et mindre rodnet. Et begrænset rodnet resulterer i et nedsat vækstpotentiale og mindre afgrøder. Rodnettet er således ikke stort nok til at forsyne den voksende plante med den nødvendige mængde næring for optimal vækst (Jakobsen, 1946). Yderligere bliver planten mere følsom over en eventuel tørke senere på sæsonen.

- *Lavere jordtemperatur og langsommere opvarmning*
Vand i jordsøjlen har også indflydelse på temperaturen i jorden. Jensen (2019) målte en signifikant højere jordtemperatur under veldrænede forhold på danske marker i foråret. Metabolismen i planter er positivt korreleret med omgivelsernes temperatur (Taiz *et al.*, 2015), og derfor vil en lavere jordtemperatur og langsommere opvarmning i løbet af foråret lede til lavere udbytte.
- *Faldende næringsstofoptag og øget udvaskning*
Dårligt drænet landbrugsjord har også miljømæssige konsekvenser, idet optaget af kvælstof fra gødning vil være forringet i vandlidende jord. Planterne har behov for, at kvælstof bliver tilgængeligt igennem N-fiksering og N-mineralisering, to processer der begge er aerobiske, og derfor vil blive reduceret under de iltfattige forhold, som forekommer i vandmættet jord. Idet kvælstof ikke vil blive optaget og omsat af afgrøderne, vil det under iltfrie forhold i stedet blive frigivet ved denitrifikation, en reaktion der afgiver kvælstoffet som kvælstof gas (N₂) og lattergas (N₂O) (Jensen, 2019). Derudover vil den direkte udvaskning af kvælstof også være forhøjet (Styczen *et al.*, 2020). Ligeledes kan der være et større forbrug af pesticider på vandlidende marker med afgrøder, der mistrives. Dette skyldes et større ukrudtstryk pga. mindre konkurrenceevne, hvilket øger behovet for ukrudtsbekæmpelse og risikoen for udvaskning (Laursen, 2020).

Dette medfører lavere udbytte og mindre fortjeneste for landmanden, samtidig med at det har en miljømæssig betydning. Landbruget er således afhængig af, at dræning og afvanding i vandløbene fungerer, således at vandløbsnære marker ikke oversvømmes eller er vandlidende (Aslyng, 1970; Belford *et al.*, 1985; Jensen, 2019).

1.2.2 Løsningsmuligheder

For at løse de periodevise udfordringer med for meget vand i vandløbene og oversvømmelser foreslås ofte, at løsningerne findes og planlægges på baggrund af en helhedsorienteret hydrologisk undersøgelse af hele vandløbsoplandet. Dette gør det muligt at optimere og skabe synergi mellem indsatsen, værdier og bindinger i forhold til både vandløb og vandløbsnære arealer (f.eks. §3-naturtyper og gældende lovgivning) samt interesser (landbrug, natur, miljø, rekreative interesser og landskabelige hensyn) (Klimatilpasning.dk, 2019). De helhedsorienterede løsninger er ressource- og tidskrævende og bidrager ikke til hurtige løsninger, som der ønskes af landmænd med udfordringer i form af vandlidende jorder, dårlig dræning og oversvømmelser.

Fundamentet for, at de helhedsorienterede løsninger får den ønskede effekt, er dog, at vandløbsregulativernes bestemmelser om bl.a. vandløbets fysiske tilstand i form af enten skikkelse eller vandføringsevne er overholdt. Da vandløb er dynamiske systemer i konstant, naturlig ændring - grødetilvækst og hendøen, dannelse af stryg og høl, træer m.v. der falder i og skaber en blokade - kan vandløbets skikkelse eller vandføringsevne afvige fra vandløbsregulativets bestemmelser og forringe de afvandingsmæssige forhold. Ved brug af den traditionelle opmålingsmetode, hvor en person med en GPS og/eller totalstation foretager opmåling af tværsnit pr. 75-125 meter, er der potentielt en risiko for, at vigtige forhold ift. afvandingen mellem tværsnittene overses. Konsekvensen kan være, at der ikke bliver indsamlet tilstrækkelige data til, at vandløbsmyndigheden har et stort nok datagrundlag til at vurdere, om et vandløbsregulativ overholder dets bestemmelser. Derfor er der et potentiale for, at nye opmålingsteknologier med en højere opløsning i dataindsamlingen kan bidrage til at løse denne udfordring. Den større datatæthed er vigtig i forbindelse med at sikre, at afvanding i vandløbene fungerer, som den skal. Yderligere kan det bidrage til, at grundlaget for den fremtidige planlægning af de helhedsorienterede løsninger er på plads. I de tilfælde, hvor vandløbene på nuværende tidspunkt ikke overholder vandløbsregulativets bestemmelser, og der er problemer med høj vandstand i vandløbene, vandlidende jorder og oversvømmelser, vil nye opmålingsteknologier og den højere datatæthed også kunne bidrage til en forbedret afvanding og reducere af problemerne.

2 Opmålingsmetoder

I de følgende afsnit beskrives nogle af de metoder, som er relevante i forbindelse med opmåling af vandløb. Dette inkluderer den traditionelle opmålingsmetode samt metoder, hvor der anvendes nyere teknologi, samt teknologi, som i øjeblikket er under udvikling til potentielt, at kunne anvendes til opmåling af vandløb. Metoderne kan anvendes til at opmåle tværsnitsprofiler, enten eller, og både og, over og under vandspejlet i et vandløb.

2.1 Opmåling af landmåler med GPS

En traditionel opmåling af et vandløb med GPS foregår ved, at en person med en "GPS-stage" går på tværs af et vandløb, og med GPS registrerer XYZ-kordinater for en række punkter langs bunden af vandløbet. Disse punkter benyttes til at lave et tværsnitsprofil for vandløbet på dette sted. Tværsnitsprofilen måles fra kronekant på den ene side af vandløbet til kronekant på den anden side af vandløbet. For hvert punkt angives det, om punktet er over eller under vandspejlet.

Denne metode er veletableret, og det nødvendige udstyr er forholdsvis billigt, lettilgængeligt og simpelt at bruge. Til metoden er der i 2013 udviklet et sæt retningslinjer i samarbejde mellem udvalgte kommuner, landbrugsrådgivere, interessenter og Orbicon (nuværende WSP). Dette afsnit er baseret på bestemmelserne i denne rapport, kaldet "Guidelines til opmåling af vandløb – På vej til en ny standard" af Anders *et al.*, 2013.

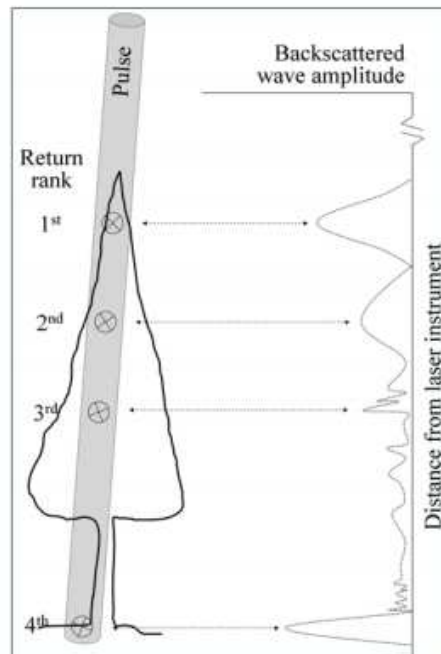
I retningslinjerne anbefales det, at opmåling foretages i DVR90 med et tværsnitsprofil hver ca. 75 - 125 meter, dog hyppigere ved strækninger der er "særligt mæandrerende", eller hvor erfaring viser, at der ofte er problemer. Det er i begge tilfælde op til personen, som foretager opmålingen, at vurdere/vide på forhånd, hvorvidt en strækning af et vandløb falder indenfor disse kategorier. Der tages ligeledes en opmåling før og efter alle bygværker eller tilløb til vandløbet. Kronekanten måles med et punkt i hver side, brinkerne opmåles med et punkt pr. løbende meter, vandspejlet registreres med et punkt i hver side, bunden måles med cirka tre punkter pr. løbende meter og dertil placeres punkter på større uregelmæssigheder. Retningslinjerne foreskriver ligeledes, at opmåling foretages med måleudstyr, der ikke overskrider en usikkerhed på mere end 2-3 cm for 95% af de målte punkter. Derudover skal en såkaldt "andefod" bruges (en fod til stokken der er asymmetrisk oval med spids og dimensioner på 10 x 6,5 cm). Denne fod skal helst være af en kraftig farve, så den kan ses på bunden.

Noget vurderingsarbejde for personen, som udfører opmålingen, er påkrævet. Retningslinjerne, som beskriver hvordan metoden bør implementeres, foreskriver, hvor hyppigt punkter skal tages, men nævner også, at punkterne skal tages, hvor der er størst ændringer i profilet. Den nøjagtige placering af målepunkter er således op til personen, der måler, og det kan være svært i et vandløb med lav sigtbarhed at vurdere, hvor disse bør placeres.

Anvendelse af denne målemetode er tidskrævende, og der er begrænset mulighed for at få en stor punktdækning af et vandløb. Tidsforbruget øges typisk med størrelsen på vandløbet og med manglende mulighed for at opnå god GPS-dækning. Hvis GPS-signalet ikke er tilstrækkeligt godt, kan en GPS-baseret opmåling ikke anvendes, og en totalstation bliver nødvendig. Typisk vil skovområder give udfordringer. Terrænet langs vandløbet kan ligeledes være svær farbart, og vandløbet kan have en sådan dybde, at det er nødvendigt at foretage opmålingen fra en båd, der trækkes på tværs af vandløbet.

2.2 Opmåling med LIDAR

LIDAR er en engelsk forkortelse for Light og Radar. Ved denne teknologi udsendes en laserpuls af en sensor, hvor tiden fra udsendelsen af lyset, til det reflekteres og returneres til sensoren, måles. De LIDAR-systemer, der anvendes til opmåling, kan på kort tid udsende mange pulser i mange retninger og kan på baggrund af tid og bølgelængde skabe en meget tæt sky af XYZ-punkter, der kan omdannes til 3D-topografi eller bathymetri. På baggrund af tolkning af retursignalernes bølgeform kan det afgøres, om det er træer eller fast bund, som laseren rammer, se Figur 1.



Figur 1. Eksempel på tolkning af LIDAR-data, hvor en filtrering af signalet fra LIDAR'en medfører at koten på jordoverfladen kan identificeres, selv hvor der er et træ, der skygger (Gatziolis et al, 2008).

Figur 1 illustrerer dataprocesseringen af LIDAR-data, hvor retursignalerne fra LIDAR'en tolkes. Det fremgår, at selv om der er træer i vejen, kan enkelte stråler trænge gennem til jordoverfladen. Det er de stråler, som bruges til at bestemme koten på jordoverfladen. Hvis vegetationen er 100% uigennemtrængelig vil LIDAR-data ikke kunne trænge igennem, hvorfor tidspunktet for en flyvning altid vil være bedst om vinteren, når dække af græs og blade er på et minimum.

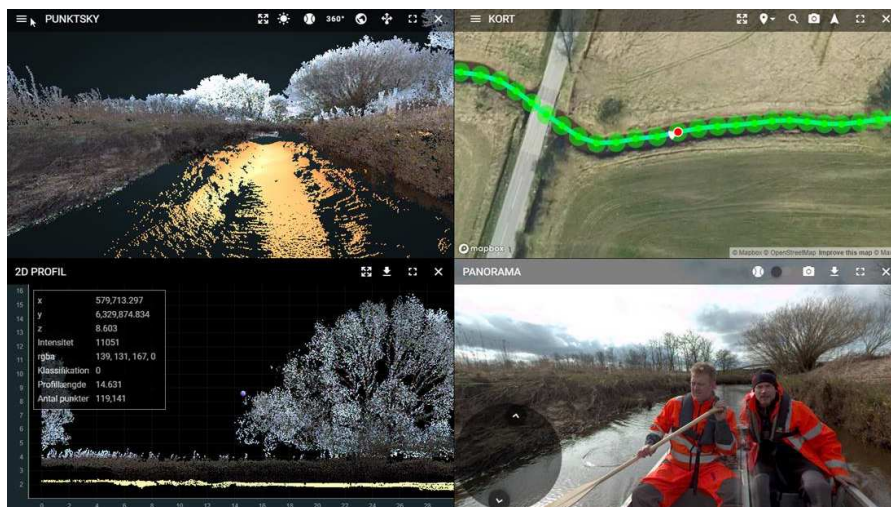
LIDAR kan måle med lys i flere farvespektre, hvor rød f.eks. er specielt god til opmåling af landbaseret topografi, og grøn udmærker sig ved at kunne trænge ned i vand.

2.2.1 Rød LIDAR

Rød LIDAR er grundlaget for den danske digitale højdemodel. LIDAR'en udmærker sig ved at sende så mange laserstråler ud, at der oftest er nogle af strålerne, der når ned gennem selv tæt vegetation. Ved hjælp af processering i form af avancerede filtermetoder kan der opnås en særdeles god terrænmodel. Det skal dog nævnes, at den danske digitale højdemodel også viser eksempler hvor tæt vegetation, udfordrer LIDAR'en.

Den røde LIDAR kan monteres på et fly, hvilket er metodegrundlag for generering af Den Danske Højdemodel. LIDAR'en kan også monteres under en drone. I dette tilfælde er fordelene, at opmålingen sker tættere på terræn og dermed forbedres nøjagtigheden, samtidig med at der opnås bedre fleksibilitet hvad angår valg af opmålingstidspunkt. LIDAR kan også monteres på en båd, der sejler i vandløbet. Udfordringerne er her, som med luftbåren LIDAR, at LIDAR'en skal kunne skyde gennem vegetationen. Fra båden er udfordringen større, da

der måles horisontalt gennem bevoksningen fremfor vertikalt ned fra en drone. Antal meter som Laserstrålen skal "rejse" er gennemsnitligt større. Figur 2 viser et eksempel, hvor LIDAR'en er monteret på en båd.



Figur 2. Eksempel på opmåling hvor Rød LIDAR er kombineret med opmåling med multibeam ekkolod. Eksemplet er fra Gerå, hvor LE34 i tidligt forår 2020 afprøvede metoden (LE34, 2020).

Er der tale om en vandløbsopmåling, hvor rød LIDAR-måling sker fra luften, er det bedste tidspunkt for måling af den tørre del, når vegetationsdækket er på det laveste, og når vandstanden samtidig er lav. På den måde dækkes mest muligt af den tørre del, og i bedste fald fås et overlap med opmåling af den våde del af vandløbet, der kan vælges gennemført ved højere vandstand. Sejles der med en rød LIDAR samtidig med anvendelse af et ekkolod, vil der normalt være en zone der ikke bliver målt, det skyldes, at ekkolodet ikke kan måle helt ind til overgangen mellem vand og land.

2.2.2 Grøn LIDAR

Grøn LIDAR bruges med succes i større og større udstrækning til bathymetrisk opmåling, herunder kystnært og til opmåling af søer og vandløb. Grøn LIDAR kræver god sigtbarhed, dvs. klart vand og ikke for tæt bundvegetation. Grøn LIDAR anvendes i dag kommercielt på droner til opmåling af eksempelvis råstofgrave og vandløb, men udstyret er dyrt. Derfor er det forbundet med stor økonomisk risiko at hænge det op under en drone.

Der findes en række firmaer, som både udfører målinger og fremstiller udstyr som Grøn LIDAR. Et eksempel er det US-baserede firma RIEGL (RIEGL, 2020). Det vurderes, at grøn LIDAR er en metode, som kan blive en del af de fremtidige opmålingsmetoder anvendt i Danmark.

2.3 Opmåling med ekkolod

Ekkolod udsender lyd i modsætning til LIDAR'en, som udsender lys. Ekkolod er i dag den mest gængse metode anvendt til opmåling af vanddybder. Ekkolod fås som single beam og multibeam, og frekvensen, som lyden udsendes med, er afgørende for hvor dybt, der kan måles, og dermed hvor langt ind til vandløbsbredden der kan måles. Høje frekvenser er typisk mere nøjagtige på lavt vand end de lave frekvenser, men modsat er den høje frekvens mere følsom over for grøde end den lave frekvens. Ekkolod der måler med flere frekvenser, og flere stråler er derfor at foretrække i danske vandløb, idet både den lave og den dybe del derved lettere kan dækkes.

Det gælder for et ekkolod "skud", at den dybde der returneres, ikke nødvendigvis er den dybde som et manuelt placeret stadie ville ramme, hvis denne, ud fra opmålingsstandarder, blev placeret på vandløbsbunden. Hård

bund og ingen vegetation giver de mest sammenlignelige resultater, mens blød bund eller "grødebund" giver anledning til fortolkning. Hvor langt stadiet skal trykkes ned gennem vegetation, og hvornår en given ekkolodfrekvens refleksion opfattes som værende den "rigtige" bund, giver anledning til en diskussion, som ligger uden for dette afsnit, men er særdeles relevant og vil blive behandlet i afsnit 6. Hvorvidt der er tale om ekkolod, tidligere omtalte LIDAR eller andre metoder, er fælles for dem alle, om de reproducerbart kan finde samme bund som den traditionelle opmålingsmetode, og hvorvidt bunden detekteres med de nyere metoder, i fremtiden kan accepteres som værende de facto.

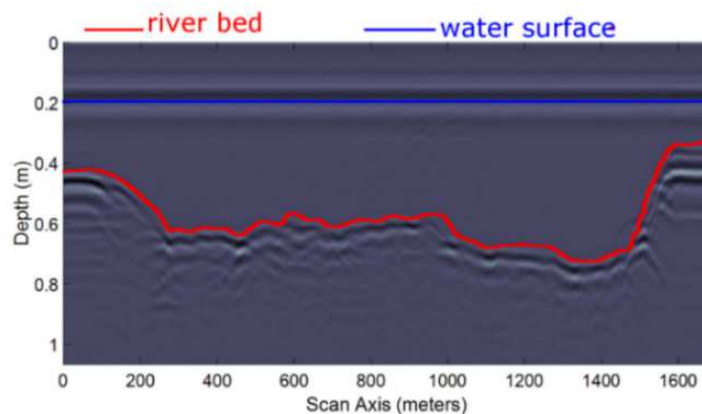
Et ekkolod kan enten være monteret på en båd, en lille autonom fjernstyret båd eller hænge under en luftbåren drone (UAV). Sidstnævnte testes i projektet Riverscapes (Riverscapes 2020), hvor en af udfordringerne bl.a. er, at sonarbolden, der hænger under dronen, kan hænge fast i vegetation.

I forhold til opmåling med ekkolod er erfaringen, at personen, der styrer måleenheden, helst skal have visuel kontakt. Dette giver anledning til udfordringer, da det er vanskeligt at gå langs vandløbsbredder, hvor der er sumpet og ofte sivbevoksning. I større vandløb er det derfor oftest nemmest at operere fra en båd, hvilket betyder, at noget af fordelene ved at anvende en drone forsvinder, da opmåleren alligevel er fysisk på stedet.

Anvendes et et-strålet ekkolod til opmålingen, vil det tage væsentlig længere tid at indsamle mange dybdepunkter sammenlignet med et flerstrålet eller en multibeam. Ved målinger i et dybt vandløb vil spredningen være større, og et større areal vil hurtigere dækkes, end tilfældet er i et lavvandet vandløb. I et smalt dybt vandløb, typisk en kanal, kan en enkelt sejlads med en multibeam i midten af vandløbet være dækkende. Til gengæld vil grøden formentlig volde større problemer for multibeam ekkolodet, som udsender meget skrå stråler, der skal vandre længere og mere på tværs af vegetationen.

2.4 Opmåling med GPR

GPR er en forkortelse for Ground Penetrating Radar. GPR anvendes oftest landbaseret. GPR kan ved hjælp af elektromagnetisk udsendt energi trænge ned i vandløbsbunden, hvor ændringer kan spores. Metoden har inden for de sidste par år været afprøvet på vandløb og søer, hvor bl.a. projektet "Riverscapes" (Riverscapes, 2020) er i gang med at påvise, at GPR kan være en fremtidig metode til tværsnitsopmåling i danske vandløb enten fra drone eller fra en båd. GPR'en kan med den rette frekvens trænge ned igennem vandet, detektere en bund og som ekstra gevinst også detektere tykkelse af eventuelle aflejringer. Resultaterne fra GPR'en kræver dog en del tolkning og så vidt informeret, foreligger der endnu ikke en automatisk rutine, der kan sikre reproducerbarhed og detektering af den "rigtige bund". En rutine er under udvikling, og vil formentlig være klar inden for de nærmeste par år. Eksempel på en tværsnitsopmåling foretaget i Riverscapes projektet fremgår af Figur 3.



Figur 3. Opmåling foretaget med en GPR (Geoscanners Gekko-80) af DTU i Egtved å. Eksemplet viser refleksioner fra bunden (Riverscapes, 2020).

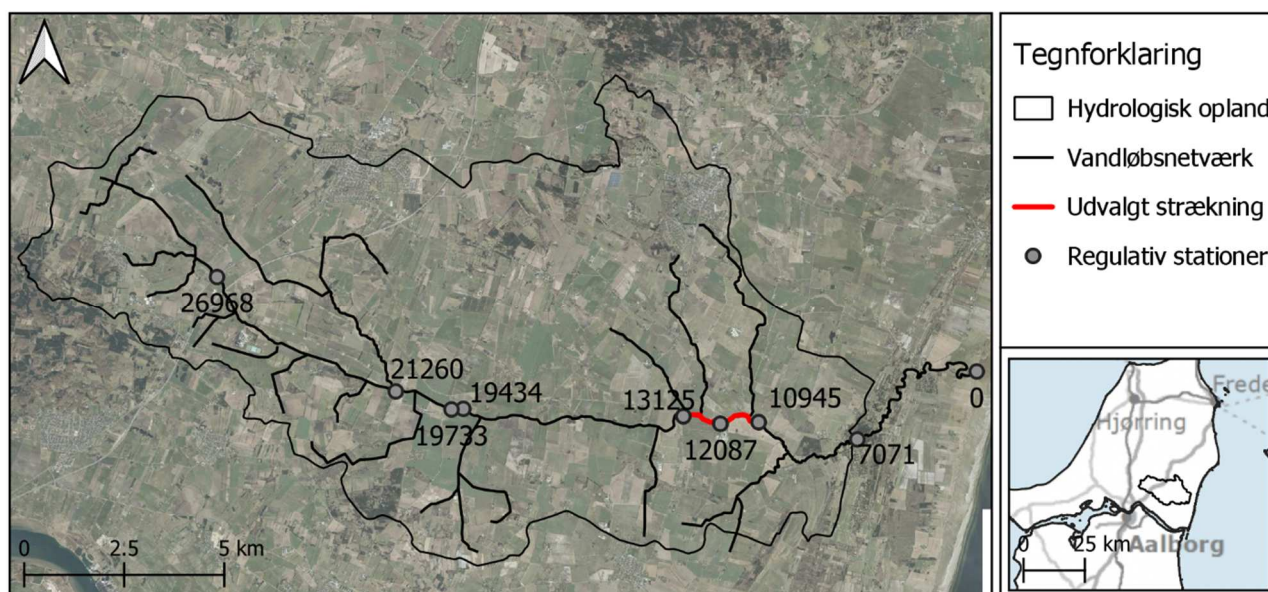
3 Metode

Med det formål, at undersøge nye opmålingsteknologiers potentiale for at blive anvendt i kontrollen og dokumentationen af vandløbsregulativers overholdelse, udvælges den af kapitel 2 beskrevne metode; Ekkolod. Opmåling med ekkolod sammenlignes med en traditionel opmåling med GPS, og opmålingsmetoderne sammenlignes med gældende vandløbsregulativ. Der tages udgangspunkt i en vandløbsstrækning i det nordjyske vandløb Gerå, som udgør caseområdet for undersøgelserne i denne rapport. I dette kapitel præsenteres caseområdet og de gennemførte undersøgelser.

3.1 Caseområde, Gerå

Gerå er et knap 27 kilometer langt nordjysk vandløb, som danner kommunegrænsen mellem Brønderslev Kommune mod nord og Aalborg Kommune mod syd. I vandløbssystemet tilhørende Gerå, findes i alt 26 forskellige mindre grøfte, bække og åer, som løber til Gerå og udmunder i Kattegat. Gerå er modstrøms stationeret, og starter derfor i st. 26968, og slutter i station 0. Der findes en vandstandsmålestation nederst i Gerå ved Melholt bro i st. 7071, tæt ved udmundingen, hvortil systemet i alt afvander et oplandsareal på 154 km². Ca. 75 % af arealanvendelsen i oplandet til Gerå består af landbrug, hvor landskabet er præget af at være fladt og lavtliggende med højt grundvandsspejl. Der opleves gentagende udfordringer med oversvømmelser og vandlidende marker i området. Gerå og dets opland har været anvendt som caseområde i flere projekter, for at undersøge hvordan udfordringerne med vand kan løses i et område med fladt terræn. Således er der også forud for denne rapport, udarbejdet en forundersøgelse af Gerå og dets hydrologiske opland, "Forundersøgelse af Gerå's hydrologiske opland, Landskabsanalyse og systembeskrivelse" hvori mere viden om området er tilgængeligt (Nørgaard, 2020).

I forbindelse med denne projektaktivitet er der udvalgt en strækning af Gerå, som er blevet opmålt, og dermed udgør grundlaget for undersøgelserne af nye opmålingsmetoders potentiale. Af Figur 4 fremgår placeringen af regulativmæssige stationer, Gerå og dets hydrologiske opland til vandstandsmålestation ved Melholt bro samt den udvalgte delstrækning.



Figur 4. Oversigt over Gerås hydrologiske opland til vandstandsmålestationen ved Melholt bro (station 7071) og vandløbsnetværk, samt placering af regulativ stationer og udvalgt strækning.

Den udvalgte strækning starter opstrøms ved Gettrup bro i st. 13125 og slutter i st. 10890, se Figur 5. Strækningen er 2253 meter lang og udvalgt på grund af, at der på denne strækning findes konkrete regulativtværnsnit, som skal danne sammenligningsgrundlag senere i undersøgelsen. Derudover blev der i 2017 foretaget en oprensning af den nedstrøms halvdel af strækningen, fra lige opstrøms træbroen midt på strækningen (jf. Figur 5) til målestationen i st. 7071 (jf. Figur 4), hvorfor resultater på tværs af formodentlig varierende forhold kan sammenlignes.



Figur 5. Overblik over udvalgt strækning. Regulativstationer, broer og tilløb på strækningen fremgår.

3.1.1 Gerå gældende regulativ

Det gældende vandløbsregulativ for Gerå er fra 1993 (Nordjyllands Amt, 1993), og beskriver vandløbet fra udløbet ved Kattegat i st. 0, til opstrøms st. 26968 hvor Gerå starter. Gerå er i regulativet dermed modstrøms stationeret. I den nedre del af vandløbet, st. 0 til st. 7071 ved Melholt bro, er vandløbets vandføringsevne defineret ud fra et krav om naturlige vandløbsdimensioner, og vedligeholdelsen skal begrænses til grødeskæring og fjernelse af lokale sandbanker efter behov. Fra st. 7071 ved Melholt bro til Gerås start i st. 26968 er regulativet af typen "teoretisk skikkelse", hvilket betyder, at der er fastlagt krav til vandløbets vandføringsevne ud fra en teoretisk skikkelse. Herved skal vandløbets vandføringsevne være tilsvarende de i regulativet angivne dimensioner, som fremgår af Tabel 1. Vandløbsregulativerne til Gerå netværkets sidegrene er af typen geometrisk skikkelse.

Tabel 1 Teoretiske dimensioner (bundkote, bundbredde, anlæg og fald) for udvalgt strækning i Gerå. Fra Gettrup Bro (start af udvalgt strækning, st. 13125) til slut af teoretisk skikkelsesregulativ ved Melholt bro (slut af udvalgt strækning, st. 7071), som de er angivet i regulativet. Efter Melholt bro til udløbet i Kattegat er Gerå defineret som et "Naturvandløb". Kolonne to angiver en medstrøms stationering med start ved Gettrup bro i st. 0. Medstrømsstationeringen vil blive benyttet i de efterfølgende angivelser af stationsnumre.

Regulativ station [m]	Ny station [m]	Bundkote m (DNN)	Bundbredde [m]	Anlæg	Fald [%]	Bemærkning
13125	0	3,43	x	x	x	Gettrup bro (udløb)
			4,5	1,5	0,70	
12087	1038	2,70	x	x	x	
			5,2		0,41	
10945	2180	2,23	x		x	
			5,6	1,25		
9224	3901		x		0,33	
			6,0			
7071	6054	0,96	x	x	x	Melholt bro

Regulativet foreskriver, at kontrol af vandføringsevne foregår ved at vandløbet opmåles med maksimalt 10 års mellemrum. Kontrolopmålingen omfatter registrering af tværprofiler med ca. 100 meters afstand. Endvidere opmåles væsentlige variationer imellem tværprofilerne.

Vandføringsevnen i vandløbet beregnes ud fra kontrolopmålingen, som sammenlignes med vandføringsevnen beregnet på baggrund af de angivne dimensioner i regulativet. De to skikkelses vandføringsevne skal sammenlignes ved tre forskellige afstrømningsscenarier:

Grundlaget for beregningerne er yderligere beskrevet i regulativets Bilag C. Det fremgår heraf, at der ved beregningerne skal anvendes et Manningtal på $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Vedligeholdelse skal ske med henblik på at sikre den vandføringsevne, der svarer til de teoretiske dimensioner. Der er en tolerance på 10 cm vandspejlsstigning fra det beregnede vandspejl for kontrolopmålingen til det regulativmæssige vandspejl, før oprensning iværksættes. Oprensningen må derudover ikke resultere i en forbedring af vandføringsevnen tilsvarende til mere end en 20 cm vandspejlsænkning.

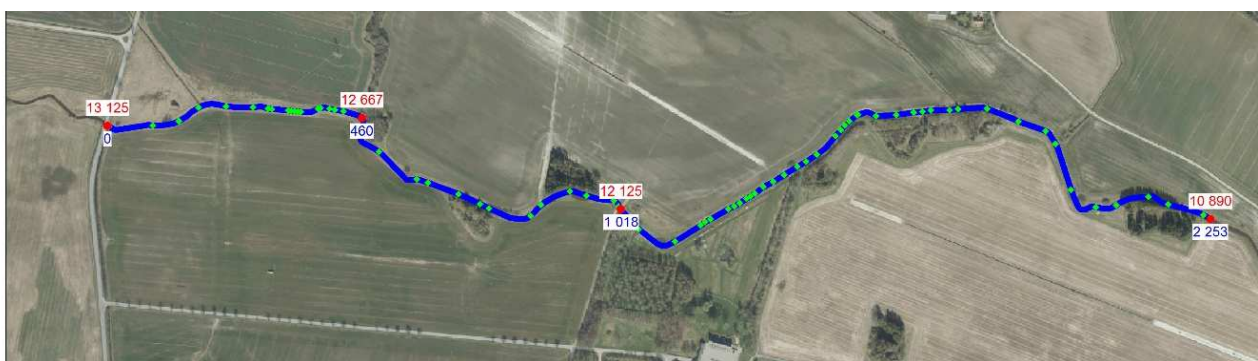
3.2 Dataindsamling langs udvalgt strækning i Gerå

I dette afsnit beskrives opmålingen af den udvalgte strækning af Gerå. Data fra disse opmålinger danner grundlag for de videre undersøgelser i rapporten.

3.2.1 Traditionel GPS opmåling

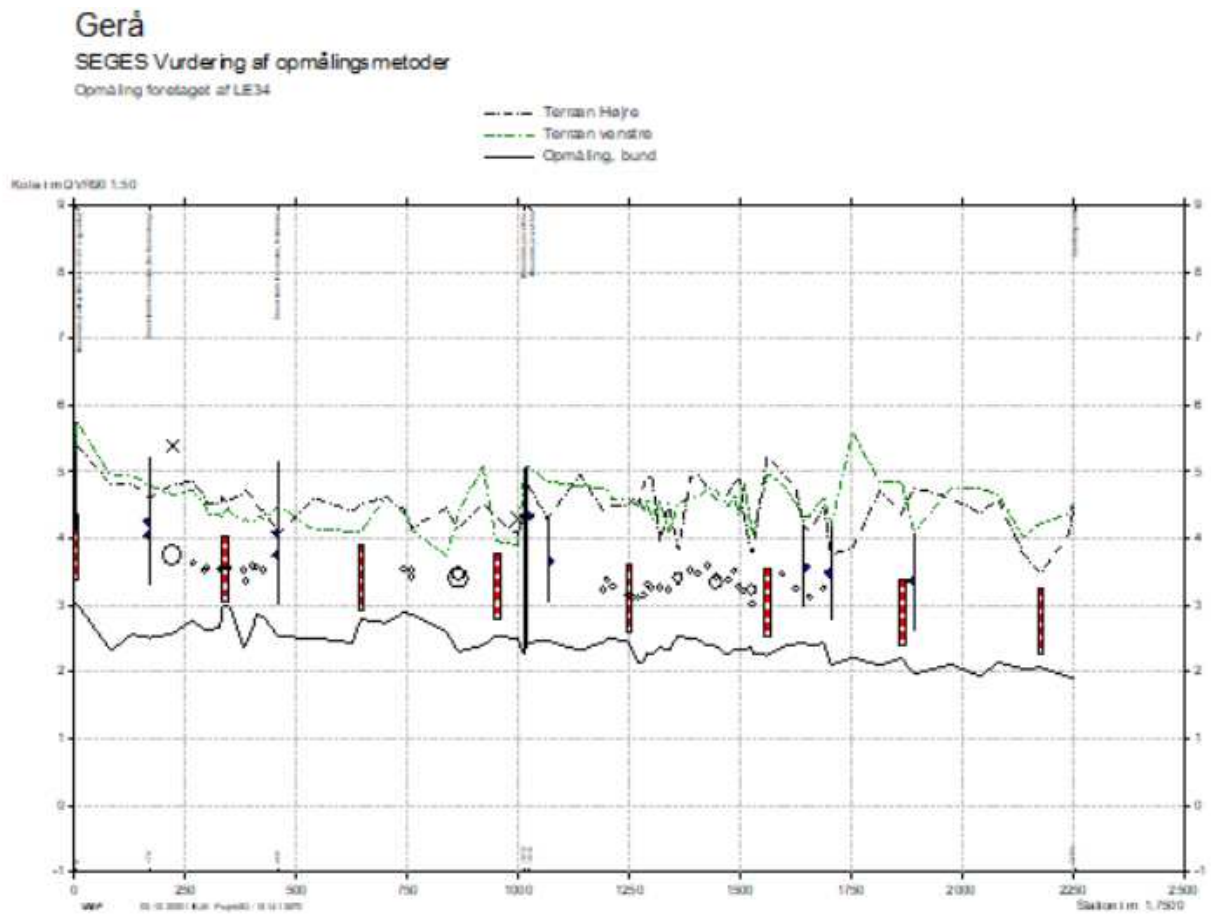
Den udvalgte strækning af Gerå blev den 16. og 17. april 2020 opmålt med GPS af landinspektørfirmaet LE34. Opmålingerne blev lavet i henhold til gældende retningslinjer (Andersen *et al.*, 2013). Som anbefalet i retningslinjerne blev opmålingen foretaget i DVR90 med minimum en opmåling pr. ca. 75 meter, da strækningen er af teoretisk skikkelse og med lav hældning. Derudover foretages en opmåling før og efter alle bygningsværker eller tilløb til vandløbet.

Opmålingen starter i st. 0 ved udløbet fra Gettrup bro. Dette punkt er i regulativet angivet som st. 13125. Opmålingen, der er medstrøms stationeret, er 2253 meter lang. Opmålingens st. 2253 svarer til ca. st. 10872 i regulativet, der er modstrøms stationeret jf. Tabel 1 og Figur 6. Den opmålte strækning og de opmålte tvær-snit, der er vist med grønne prikker, fremgår af Figur 6.



Figur 6. Opmålt delstrækning af Gerå med angivelse af medstrømsstationering (blå tal) sammenholdt med de regulativmæssige stationer (røde tal). Opmålingen starter med st. 0 ved udløbet fra Gettrup bro (reg. st. 13.125). Det sidste tværprofil er målt i st. 2.253 (reg. st. 10.890). St. 460 (reg. st. 12.667) angiver tilløbet fra Dronninglund Møllebæk, mens st. 1.018 (reg. st. 12.125) angiver broudløb. Grønne prikker angiver hvor LE34 har opmålt tværprofiler.

LE34 har i alt opmålt 75 tværprofiler, 1 bro, 46 rørtilløb, 8 åbne tilløb og 8 skalapæle på strækningen. Et længdeprofil af opmålingen fremgår af Figur 7, mens de opmålte tværprofiler fremgår af Bilag 1. Ved opmålingen af Gerå ses det, at der på nogle delstrækninger er målt væsentligt tættere end andre.



Figur 7. Længdeprofil af projektstrækning. Opmåling foretaget af LE34 den 16. og 17. april 2020.

3.2.2 Opmåling med Ekkolod

Ud fra betragtningen om at Gerå har relativt lidt grøde og rimelig stor vanddybde, blev det besluttet at anvende en sejlede drone til den længdebaseret og den tværsnitsbaserede opmåling af den våde del. Udstyret som blev anvendt, var en Sontek M9, som er vist på Figur 8.



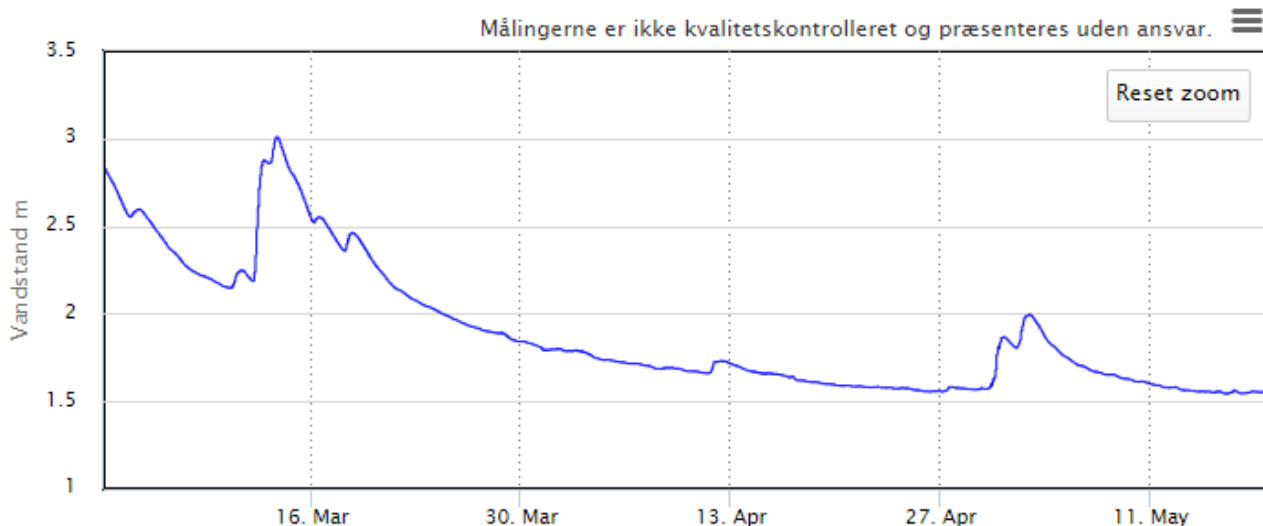
Figur 8. Opmåling med Sontek M9 i Gerå den 17. april 2020.

Den monterede sensor på den fjernstyrede opmålingsbåd er en akustisk doppler, der kan måle vandhastighed og dybder. Dybderne måles med et 9-strålet ekkolod, der anvender tre forskellige frekvenser, henholdsvis fire stk. 3 MHz stråler og fire stk. 1 MHz stråler, alle otte med en 25 graders vinkel fra lodret, og endelig en centerstråle med 0,5 MHz der peger lodret ned.

Opmålingsbåden udmærker sig ved at kunne kombinere tværsnitsopmålinger med vandføringsmålinger. Det vil sige, at der sejles på tværs af et vandløb for at måle både et profil og en vandføring. De relativt høje frekvenser sikrer, at der kan måles på vanddybder ned til 0,2 meter, og nøjagtigheden på dybdeangivelsen er så god som 1% af den dybde, der måles. Ulempen er derimod, at høje frekvenser giver en større følsomhed overfor grøde.

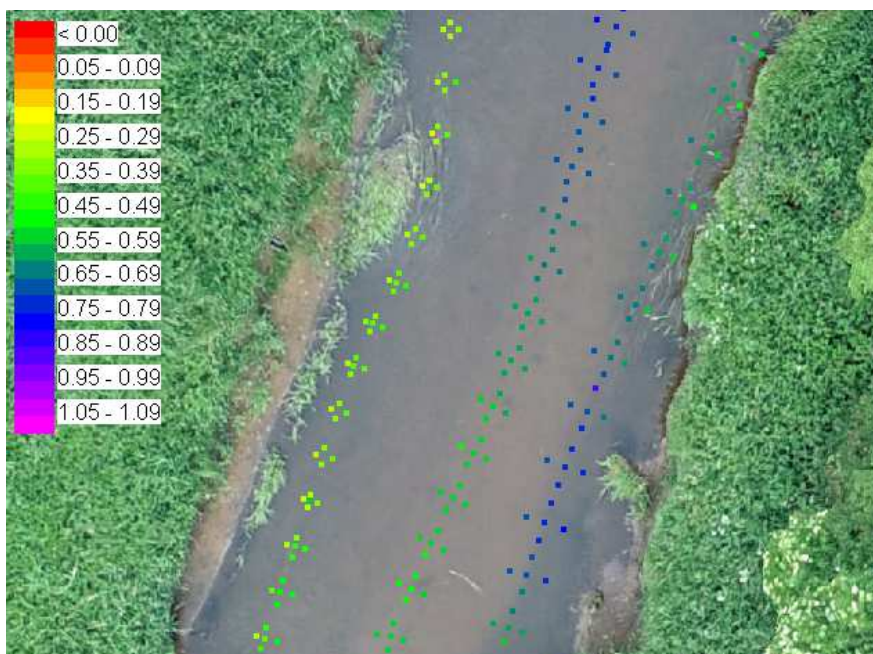
Ved sejlads i et vandløb kan der regnes med, at det fodspor der opmåles, svarer nogenlunde til vanddybden. Er vandstanden således 1 meter, tegnes der et spor gennem vandløbet på 1 meters bredde.

Med udgangspunkt i de af LE34 opmålte tværsnitsprofiler, har WSP den 17. april 2020 foretaget opmålinger med båddrone (M9) for at kunne sammenligne tværprofiler, der er opmålt med hhv. GPS og båddrone. Opmålingen af Gerå var oprindeligt planlagt gennemført ved en høj vandstand primo 2020, men grundet restriktioner relateret til COVID-19 situationen i Danmark i denne periode, var det ikke muligt at gennemføre opmålingen tidligere end den 17. april 2020. Af Figur 9 fremgår det, at vandstanden målt ved målestationen ved Melholt bro, nedstrøms den udvalgte strækning, faldt betydeligt de sidste fire uger op til målingen.



Figur 9. Vandstandsudviklingen i foråret 2020 ved målestation 08.02 "Gerå, Melholt Kirke". Opmålingen med bådronen blev foretaget den 17. april 2020. (hydrometri.dk, 2020)

Opmålingsarbejdet den 17. april 2020 omfattede grundlæggende otte vandføringsmålinger, 75 tværsnitsmålinger og længdebaseret opmåling af 2,3 km vandløb, hvilket viste sig umuligt at gennemføre på en arbejdsdag. Det blev derfor besluttet kun at måle tværsnit på første halvdel af strækningen og begrænse den længdebaseret sejlads til tre linjer. Vandspejlsfaldet og den lave vanddybde betød desværre, at fodsporet for sejladserne blev væsentlig smallere end håbet. I et vandløb som Gerå havde en 0,5 meter højere vandstand resulteret i en væsentlig bedre dækningsgrad, for de tre gennemførte længdebaserede sejlads. Eksemplet i Figur 10 fra Gerå viser, at med en vandløbsbredde på 6 meter og en dybde på ca. 0,5 meter er det enkelte spor kun 0,5 meter bredt.

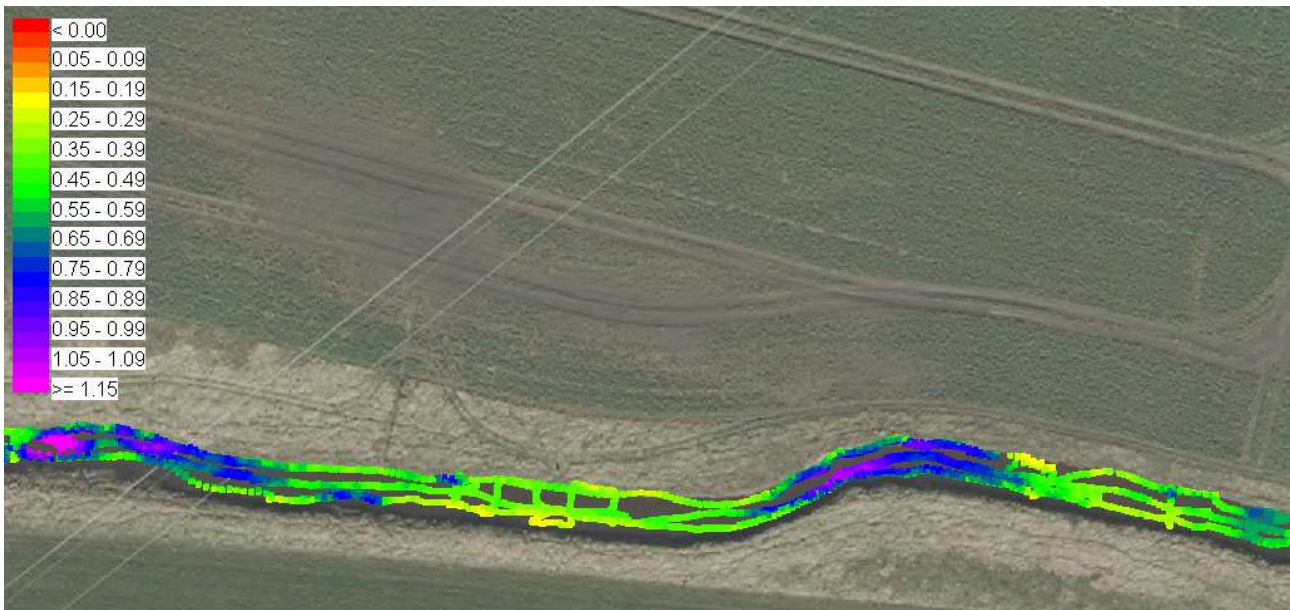


Figur 10. Enkelte dybder for de tre længdebaserede sejlads i Gerå. Hver "5-kløver" er et skud. Sejlsporet ses at være bredere hvor der er dybere, indikeret af de blå farver. Vær opmærksom på at baggrundsbilledet ikke stammer fra opmålingsdagen. Det er taget senere, hvor græsset er i vækst.

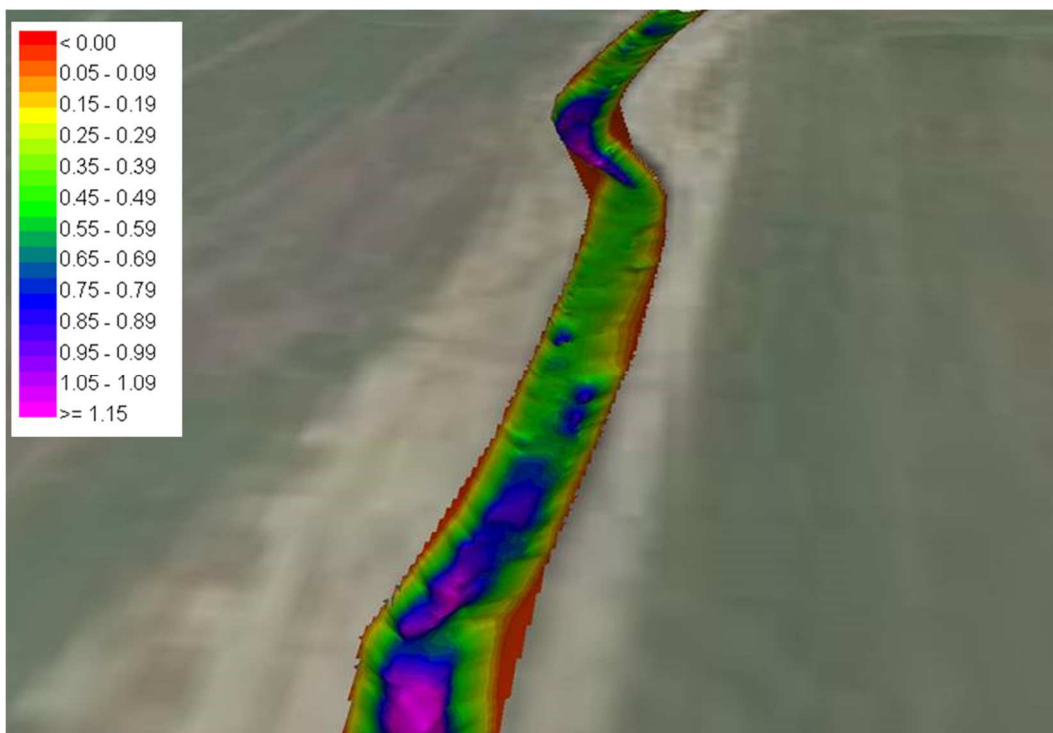
En fordel ved at benytte bådronen til opmåling, er visualiseringen af datasættet. Eksempler på udtræk af data fra bådronen fremgår af Figur 11, Figur 12 og Figur 13.



Figur 11. Dybdemålinger foretaget den 17.april 2020 med M9 båddronen. Skala er 0 til 1 meter. Lilla værdier angiver dybder på 1 meter og derover. I vandløbets vestlige del, første halvdel af strækningen, ses en del dybdevariation, der afløses af en mere plan bund på den næste fjerdedel for derefter at variere igen på den sidste del af strækningen.



Figur 12. Dybdemålinger foretaget med M9 båddronen. Skala er 0-1 meters dybde. Udsnittet viser den længdebaserede sejlads og de enkelte tværsnit der også er sejlet. Der ses områder med større vanddybde (blå og lilla) og mere lavvandede områder (lysegrøn og gul).

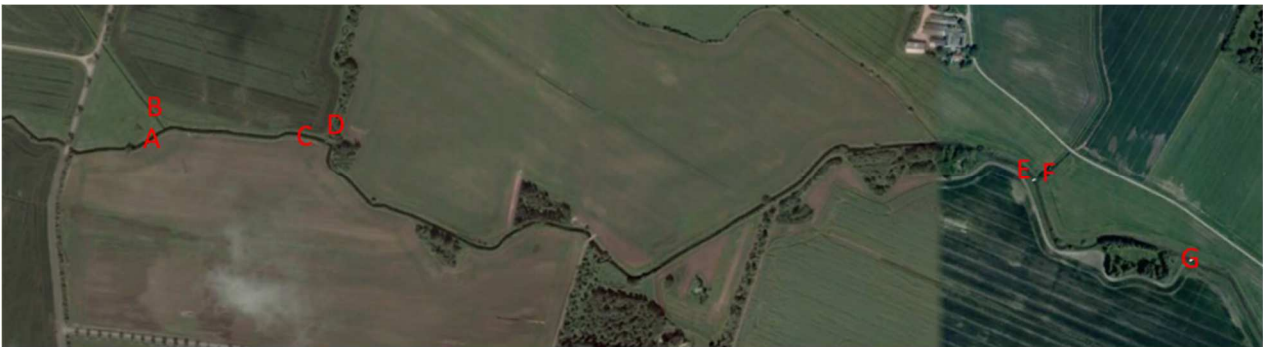


Figur 13. Interpoleret dybdekort for samme strækning af Gerå som vist på Figur 12. **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**, set fra vest mod øst i nedstrøms retning. Skalaen er 0-1 meters dybde. Rød angiver en dybde på 0 meter, mens lilla angiver 1 meters dybde eller derover.

3.2.3 Vandføringsmålinger

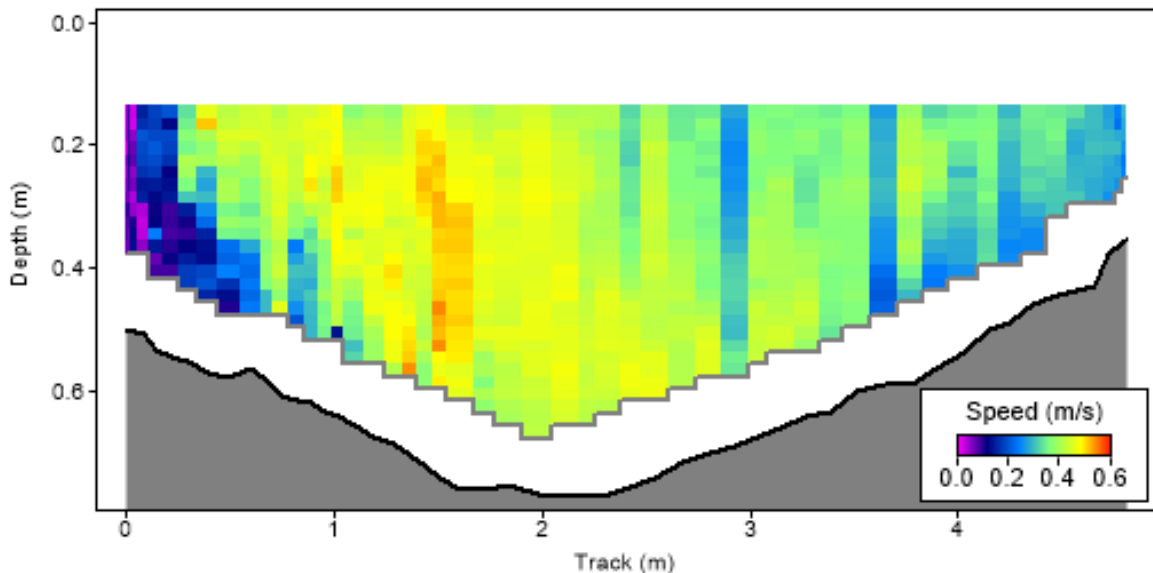
Som tidligere beskrevet er bådronen i stand til at måle hastigheder samtidig med tværsnitsopmåling, ved at sejle på tværs af et vandløb. Herudfra kan vandføringen beregnes, og det blev derfor i forbindelse med opgaven vedrørende vandløbsopmåling med ekkolod, besluttet også at måle vandføring. Vandføringen er en supplerende type data, der kan opnås ved at benytte en bådron til opmåling. Herved undersøges den merværdi, der kan opnås ved at benytte bådronen til opmåling af vandløb.

Måling af vandføring i Danmark foretages typisk enten ved vademåling med en hastighedsmåler (propel, ultralyd eller elektromagnetisk) eller i større og dybere vandløb med en akustisk doppler flowmåler. I Gerå er opmålingerne lavet med propelmåler i tilløbene og med M9 bådronen i hovedløbet. Målingerne er gennemført i henhold til de nationale standarder for opmåling TA_B03 og TA_B04 (Ovesen, 2019; Poulsen & Ovesen, 2011). Der er målt vandføring ved 7 lokaliteter A-G, se Figur 14. Tilløbene B, D og F er målt med propel, mens A, C, E og G i Gerå er målt med bådronen.



Figur 14. Lokalteterne A til G hvor der er målt vandføring. Tilløbene B, D og F er målt med propel, mens A, C, E og G er målt med M9 båddronen.

Eksempel på en måling af vandhastigheden foretaget med båddronen den 17. april 2020 er vist i Figur 15. Båddronen er sejlet på tværs af vandløbet 6 gange i hvert tværsnit, eksemplet viser et af trækkene. På baggrund af vandhastigheden samt viden om tværsnittet og vanddybde (arealet af den våde del af tværprofilet) bestemmes vandløbets vandføring på opmålingsdagen.



Figur 15. Vandhastigheden på tværs af et vandløb. Målingen er foretaget med M9 båddronen ved lokalitet E. X-aksen (Track) viser afstanden i den målte del af vandløbet. Y-aksen (Depth) viser dybden. De hvide områder i top og bund er områder, hvor båddronens doppler ikke måler, i fagsprog kaldet "blanking området". Farverne opdelt på celler viser de individuelle hastigheder, der returneres. Der ses vandhastigheder op mod 0,5 m/s i midten aftagende ud mod brinkerne.

3.3 Databehandling

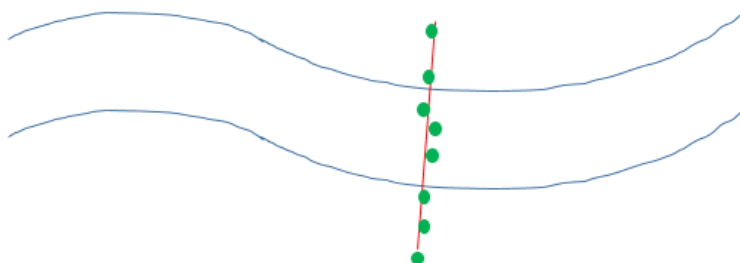
Når rådata bestående af XYZ-koordinater fra opmålingen er indsamlet, skal data bearbejdes. Dette gøres ved, at der ud fra rådata genereres tværprofiler m.v., som kan indlæses i VASP eller et andet softwareprogram. Softwareprogrammet muliggør sammenligning af de opmålte tværprofiler med den regulativmæssige skikkelse. Herudover skal der for regulativer, hvor der er sat krav til en vandføringsevne, endvidere udføres sammenlignende beregninger af vandspejl for kontrolopmåling og for den teoretiske regulativmæssige skikkelse. I dette afsnit vil den databearbejdning, som der er udført for at danne tværsnit ud fra rådata blive gennemgået for de anvendte opmålingsmetoder.

3.3.1 Databehandling for opmåling med GPS

Metoder til databehandlingen af GPS og totalstationsopmålinger af vandløb er rimelig standardiseret og udviklet gennem mange år. I denne undersøgelse er den traditionelle opmåling af Gerå udført med GPS, og databehandlingen er foretaget i VASP GPS, som er et program, der er udviklet til at bearbejde opmålingsdata, så de bliver anvendelige i vandløbsprogrammet VASP. Programmet har en kodeliste, der definerer, hvad det er, der måles. Eksempelvis om det er et tværprofil, en bro, et rørtilløb, en brønd etc.

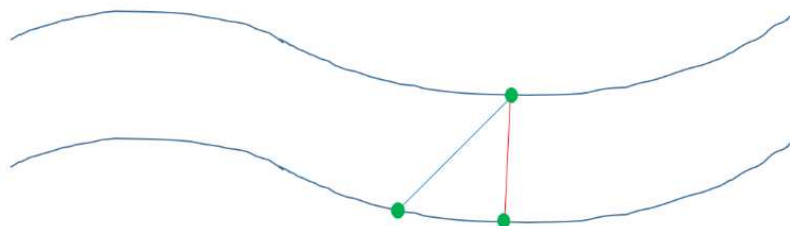
Det er praksis, at opmålte punkter i vandløb skal gives en stationering. I forbindelse med en regulativkontrol vil en opmåling af en vandløbsstrækning skulle stationeres. Denne stationering skal herefter tilpasses regulativets stationering for at gøre en sammenligning mulig. Ved selve opmålingen skal der, udover tværprofiler, således indmåles punkter, hver gang vandløbet skifter retning. Dermed bliver det muligt at beskrive vandløbets forløb og længde. Under tolkningen af data konstruerer VASP GPS derfor en GIS-linje, som repræsenterer vandløbets midterlinje, og det er ud fra denne, at vandløbets stationering beregnes. I denne rapport fokuseres på opmåling af tværprofiler, der efterfølgende skal anvendes til en regulativkontrol, og som ligeledes skal indgå i vandspejlsberegninger.

Ved opmåling af et givent tværprofil opmåles ofte et terrænpunkt, og et punkt der definerer vandløbets kant. Herefter måles punkter på brinkerne og vandløbsbunden, så tværsnittet bliver retvisende beskrevet, og der sluttes af med et kantpunkt og et terrænpunkt på den modsatte bred. Det er således opmåleren, der vælger, hvor de enkelte punkter skal tages, og hvor mange punkter der er nødvendige. I princippet bør alle opmålte punkter i tværprofilet ligge på en ret linje, der ligger vinkelret på vandløbets forløb. I praksis kan det være svært visuelt at se, hvor den rette linje bør være. VASP-GPS bearbejder derfor de enkelte XYZ-punkter, der er målt i det enkelte tværprofil, ved at skyde ind på en ret linje, se eksempel i Figur 16. Herved bliver bredden af vandløbet beskrevet mere korrekt. Hvis der blev tegnet en linje mellem de enkelte, opmålte punkter, ville vandløbet fremstå bredere, end det er i virkeligheden.



Figur 16. Databearbejdning i VASP-GPS: De grønne punkter er de opmålte XYZ-koodinator, der skydes ind på den linje, som er vinkelret på vandløbets forløb.

Det er vigtigt, at opmåleren måler kantmærkerne på vandløbet, så den tværgående streg bliver tegnet vinkelret på vandløbet. Er dette ikke tilfældet, vil opmålingen af vandløbet fremstå bredere, end det er i virkeligheden, se Figur 17. Det er let for opmåleren at vurdere dette i felten, men problemstillingen er vigtig, hvis data fremkommet på baggrund af nye opmålingsmetoder skal udtages hjemme på kontoret.



Figur 17. Databearbejdning i VASP-GPS: For at beskrive vandløbets bredde korrekt, er det vigtigt, at de opmålte kantmærker ligger vinkelret på vandløbets forløb. Det ses, at tværsnittet bliver beskrevet med den korrekte bredde i det røde eksempel, mens det blå eksempel vil medføre, at vandløbstværsnittet bliver opmålt bredere, end det er.

3.3.2 Databehandling for opmåling med båddrone

Når alle data registreret af båddronen har været gennem en filtreringsproces, skabes en datafil udgjort af en XYZ-fil, som indeholder længdegrad, breddegrad og koten på vandløbsbunden i det pågældende punkt. Opmålingen af de enkelte tværprofiler er foretaget ved dels at sejle båddronen på tværs af vandløbet, se eksempel på opmålte punkter ved to tværprofiler i Figur 18a, dels på langs af vandløbet, som tidligere vist på Figur 12.



Figur 18. a) Opmålte punkter for tværprofiler i st. 1191 og st. 1200. Bemærk at vandstanden på opmålingsdagen med båddronen var lavere, end vandstanden var på dagen, hvor luftfotoet er taget. Derfor dækker de opmålte punkter ikke hele det vanddækkede profil. Det er således nødvendigt med en tilstrækkelig vanddybde, for at de lavvandede områder langs kanten bliver beskrevet ved båddronens opmåling. b) Generering af tværprofil ud fra de opmålte punkter.

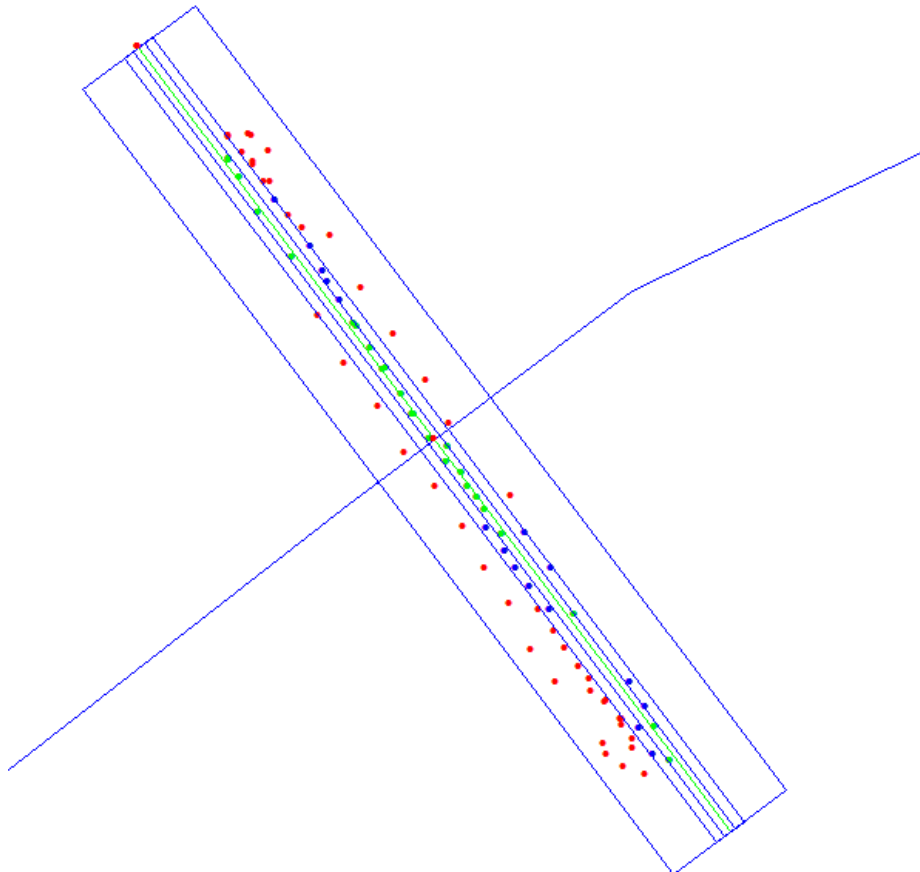
For at kunne generere tværprofiler i VASP, skal data fra de enkelte XYZ-punkter bearbejdes. I dette tilfælde er der først genereret en gislinje, som angiver vandløbsmidten (vist med grøn farve på Figur 18b). Linjen skal definere vandløbets forløb og længde, og skal således ramme vinkelret på de opmålte punkter. Herefter dannes en hjælpelinje (angivet med gul farve på Figur 18b), hvor de enkelte punkter skydes vinkelret ind på. Herved vil alle punkterne blive opfattet som ét tværprofil.

Princippet for databehandlingsprocessen for båddronen er den samme, som den proces der gennemføres ved den traditionelle opmåling med GPS. Forskellen er antallet af punkter i tværprofilet, idet der ved en GPS opmåling forekommer et enkelt punkt et givent sted i tværprofilet, hvorimod der ved en droneopmåling kan være mange punkter på det samme sted i tværsnittet. Herved bliver profilet mere detaljeret beskrevet ved droneopmålingen, men samtidig skal der ske en udvælgelse af hvilke punkter, der skal danne tværsnittet, således at det bliver sammenligneligt, med det tværsnit opmåleren med GPS ville foretage.

Ved databearbejdningen af båddroneopmålingen fra Gerå er der i første omgang dannet et råprofil ud fra de indskudte XYZ-punkter, hvor koterne varierer på tværs af tværprofilet. Ved sejladser på tværs vil de målte punkter ligge op til 0,5 - 1 meter fra hinanden i vandløbets længderetning. Vandløbets bund kan på nogle strækninger variere i højde på meget korte strækninger, hvis der eksempelvis er et højt, stryg eller en anden forhøjning såsom en sten i vandløbet. Således vil nogle målepunkter ramme de høje punkter på vandløbsbunden, mens andre punkter vil ramme de dybere liggende punkter. En del af databearbejdningen

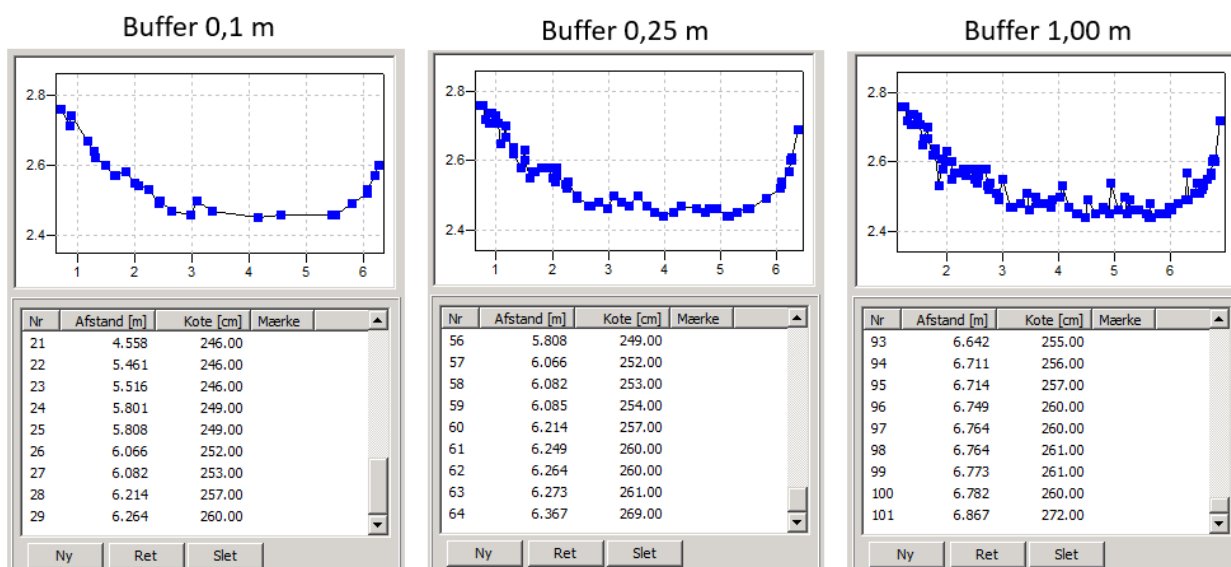
vil derfor bestå i at udtage et passende udsnit af punkter til dannelsen af de enkelte tværprofiler, for at kunne sammenligne disse med de tværprofiler, der er opmålt på traditionel vis.

Som et forsøg er der i et tværsnit i Gerå valgt tre forskellige bufferzoner, for at undersøge hvad antallet af punkter betyder for dannelsen af det enkelte tværprofil, se Figur 19. I det ene scenarie vælges en bufferzone med en samlet bredde på 0,1 meter omkring den tværgående linje, hvorved de grønne punkter kommer til at indgå i tværprofilet. Udvides bredden af bufferzonen til 0,25 meter omkring den tværgående linje, vil også de blå punkter indgå i tværprofilet, mens alle de grønne, blå og røde punkter vil indgå i et tværprofil ved en bufferzone med en bredde på 1 meter fordelt omkring den tværgående linje.



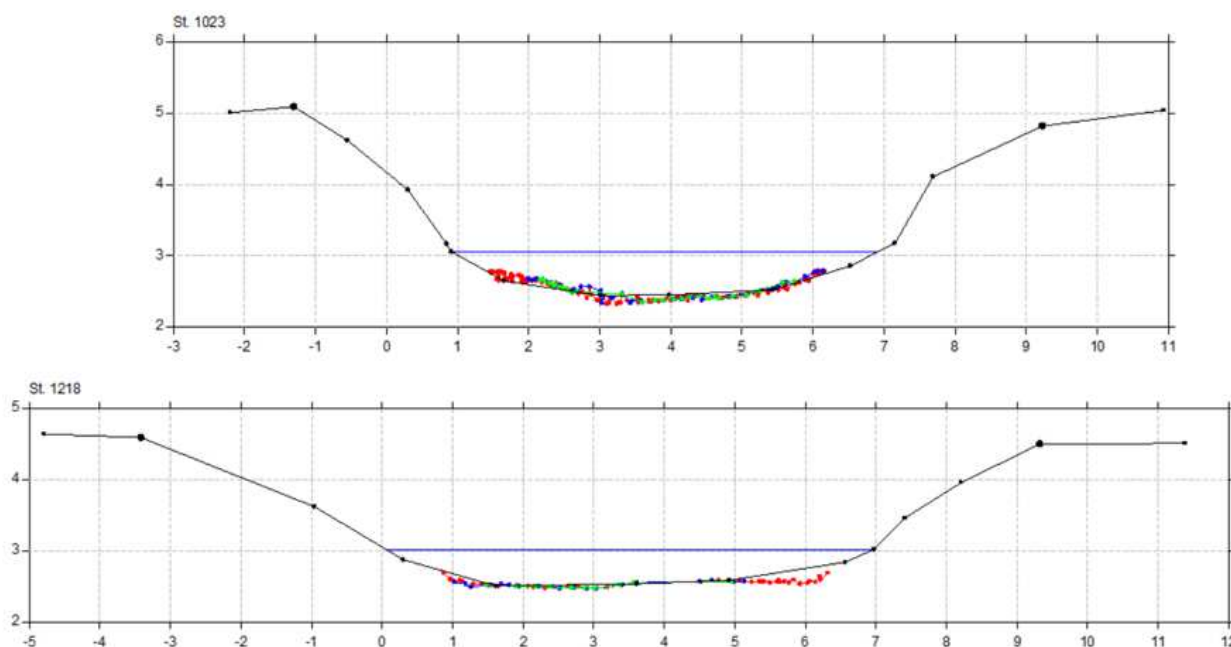
Figur 19. Eksempel på udtynding af punkter alt efter hvor bred en bufferzone der vælges til at udtage punkter. I eksemplet er alle de målte punkter med i tværsnittet, hvor bredden af bufferzonen er 1 m omkring den tværgående grønne linje. Vælges en bufferzone med en bredde på 0,25 m omkring den tværgående grønne linje, vil tværsnittet udgøres af de grønne og blå punkter. Hvis bufferzonens bredde kun er 0,1 m omkring den tværgående grønne linje, vil kun de grønne punkter udgøre tværsnittet.

Som det fremgår af Figur 20, har det stor betydning, hvor mange punkter der vælges til at danne et tværprofil. I det første tværsnit er valgt punkter indenfor en buffer på 0,1 meter omkring den tværgående linje, og det kan konstateres, at antallet af punkter i den højre side af tværprofilet er begrænset. I modsætning til dette ses tværprofilet til højre (buffer på 1,0 meter omkring den tværgående linje) der medtager alle XYZ punkterne i tværprofilet, at rumme forskellige højder indenfor det samme område i tværprofilet. Dette skyldes, at der i praksis kan være op til 0,7 meter mellem punkterne i længderetningen. I dette tværprofil vil en bufferzone med en samlet bredde på 0,25 meter omkring den tværgående linje umiddelbart være det profil, der bedst beskriver vandløbets tværsnit i den aktuelle station.



Figur 20. Eksempel der viser betydningen af hvor mange punkter, der vælges til at danne et tværprofil.

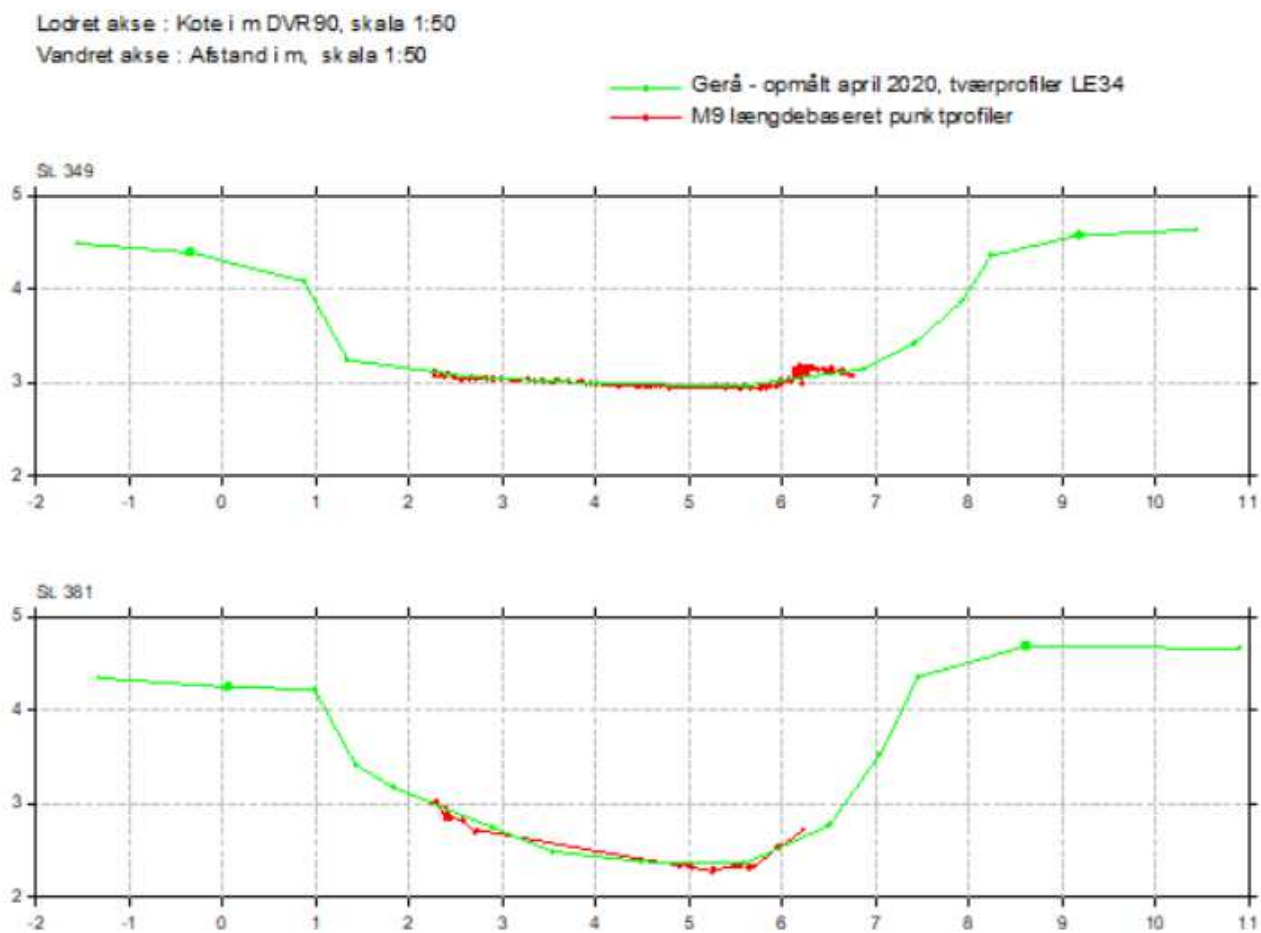
I andre tværnsnit kan det være en fordel at bruge en bredere buffer, for at få beskrevet så stor en del af vandløbet som muligt. Det skyldes, at der skal være en tilstrækkelig vanddybde for, at båddronen kan måle data i tværnittet. Bliver vanddybden under 0,2 - 0,25 meter, vil det være vanskeligt at måle vandløbets bund, hvis M9 båddronen benyttes. Dette er illustreret på Figur 21, hvor det fremgår, at der med en bufferbredde på 1 meter (alle målepunkter er medtaget) opnås mere data ud mod siderne af vandløbstværsnittet i forhold til de tværnsnit, der er dannet på baggrund af færre punkter. De røde punkter viser også, at der er både højere og lavere punkter indenfor det enkelte tværnsnit, fordi det dækker en større del af vandløbsbunden i længderetningen.



Figur 21. Eksempler på to tværprofiler med forskellige bufferbredder. De sorte tværnsnit er målt med GPS af LE34. De grønne punkter viser det tværnsnit, der dannes, hvis bufferafstanden er sat til 0,1 meter. Blå og grønne punkter viser det tværnsnit der dannes ved en bufferbredde på 0,25 m, mens de grønne, blå og røde punkter er det tværnsnit der dannes, hvis alle punkterne vælges. Værdierne på x-aksen har enheden meter, værdierne på y-aksen angiver koten i meter DVR90.

Det er også en mulighed at vælge en større bufferbredde og herefter vælge eksempelvis middelværdierne af punkterne i de tilfælde, hvor der er flere punkter med forskellig kote i det samme punkt. For at få det bredest mulige tværsnit fra M9 båddrone sejladsen, som kan sammenholdes med den traditionelle opmåling, er det denne fremgangsmåde der er valgt i det videre arbejde med de data, der er opnået ved at sejle på tværs af vandløbet.

Den samme metode er benyttet for den længdebaserede sejlads, men som det fremgår af Figur 22, kan der være færre punkter at genere de enkelte tværprofiler ud fra, hvis der ikke er en tilstrækkelig vanddybde. Ved det øverste tværprofil (st. 349), ses punkttætheden at være stor og tværprofilet er meget sammenligneligt med tværprofilet opmålt med GPS af LE34. I det nederste tværprofil (st. 381) ses det, at der ikke er dannet nogle målepunkter midt i profilet (fra afstanden 2,7-4,8 m i tværprofilet). I dette tilfælde er tværprofilet ikke væsentligt forskelligt fra det opmålte, men det kunne have været tilfældet, såfremt der eksempelvis havde været en bundhævning i midten af vandløbet. I det viste tilfælde er der udtaget tværprofiler fra den længdebaseret sejlads i de stationer, hvor der også er foretaget GPS-opmåling. Mulighederne i den længdebaseret sejlads er netop, at der i princippet kan udtages tværprofiler med meget stor tæthed, såfremt vandløbet har en tilstrækkelig vanddybde.



Figur 22. Eksempel på to tværprofiler, som er udtaget på baggrund af længdebaseret sejlads med M9 båddronen. Tværprofilerne er sammenholdt med opmåling foretaget med GPS. På det øverste tværprofil (st. 349) ses det, at der er mange punkter at danne tværprofilet ud fra, mens der på det nedre profil (st. 381) ikke er udtaget punkter mellem afstanden på 2,7 meter og 4,8 meter i tværprofilet.

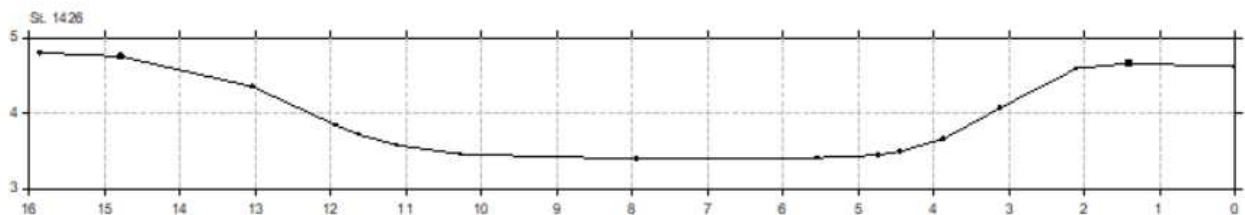
3.3.3 Danmarks højdemodel til beskrivelse af profil over vandspejl

Data fra M9 båddronen benyttes til at beskrive den del af profilet, der ligger under vandspejl. For at beskrive den del af vandløbsprofilet der findes over vandspejl, er der i dette projekt anvendt Danmarks højdemodel (DHM), der beskriver terrænet. Grundlaget for højdemodellen er en LIDAR fløjet punktsky. Som udgangspunkt ville punktskyen kunne anvendes til at genere tværprofiler på samme måde som beskrevet med data fra båddronen. I dette tilfælde er det dog besluttet at benytte selve terrænmodellen. Dette er mindre tidskrævende, og WSP har fra tidligere undersøgelser erfaret, at terrænmodellen er et godt udgangspunkt til at beskrive vandløb af Gerås størrelse. Til beskrivelse af meget små vandløb med en bundbredde på under 1 meter kan det være en fordel at benytte selve punktskyen.

I princippet kunne man ligesom tilfældet med bådopmålingen tage udgangspunkt i den stationeringslinje der er dannet ved GPS-opmålingen, og herefter lave en fiktiv tværlinje på tværs af vandløbsforløbet og herefter udtrukket tværprofiler af terrænmodellen i de stationer, hvor der er målt tværprofiler med GPS.

Det er imidlertid vurderet, at den bedste sammenligning af højdemodellen med GPS-opmålingen vil være at udtage z-koter fra højdemodellen for alle de xy koordinater, der er målt med GPS. Denne z kote erstatter således den GPS opmålte z kote. Opmålingen er herefter indlæst i VASP igen for at kunne sammenligne de opmålte koter fra højdemodellen med de z-koter, der er målt med GPS.

Et eksempel på et tværprofil hvor de målte z-koter er erstattet med højdemodellen er vist på Figur 23. Da den røde LIDAR der benyttes til at genere højdemodellen ikke kan måle gennem vand, vil det, der fremstår som "vandløbsbund" i de dannede tværprofiler, i virkeligheden være vandspejlet på overflyvningsdagen. Data fra højdemodellen beskriver altså den tørre del af tværprofilet, der på overflyvningsdagen ligger over vandspejlet.



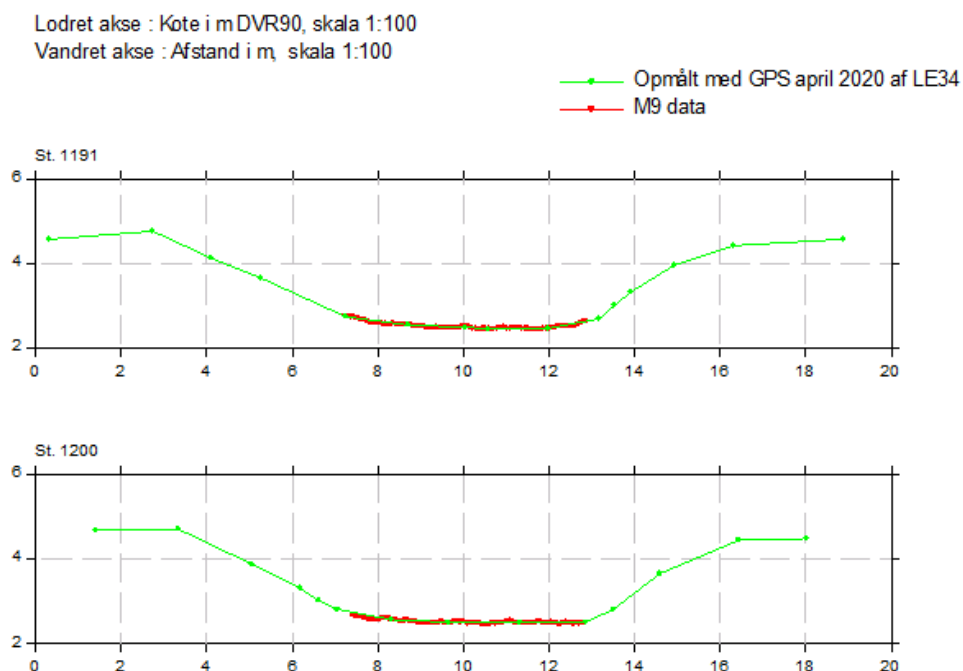
Figur 23. Tværprofil dannet ved hjælp af koter fra Danmarks højdemodel (DHM). Den røde LIDAR vil opfatte vandoverfladen som terræn, derfor er det der fremstår som vandløbsbund i virkeligheden vandoverflade.

4 Resultater

I det følgende kapitel sammenholdes data opmålt med GPS, med de data der er målt med M9 båddronen. Dette dels for at se hvorvidt de enkelte tværsnit stemmer overens, dels for at se om en længdebaseret opmåling kan give flere oplysninger omkring vandløbets skikkelse end den mere stikprøvevise traditionelle opmåling. Derudover undersøges hvilken merværdi den ny opmålingsteknik bidrager med, i form af ortofotos ved droneflyvning samt vandførings- og Manningtalsbestemmelse ud fra M9-båddronesejladsen i Gerå.

4.1 Sammenligning af tværsnit, tværsnitbaseret opmåling med båddrone

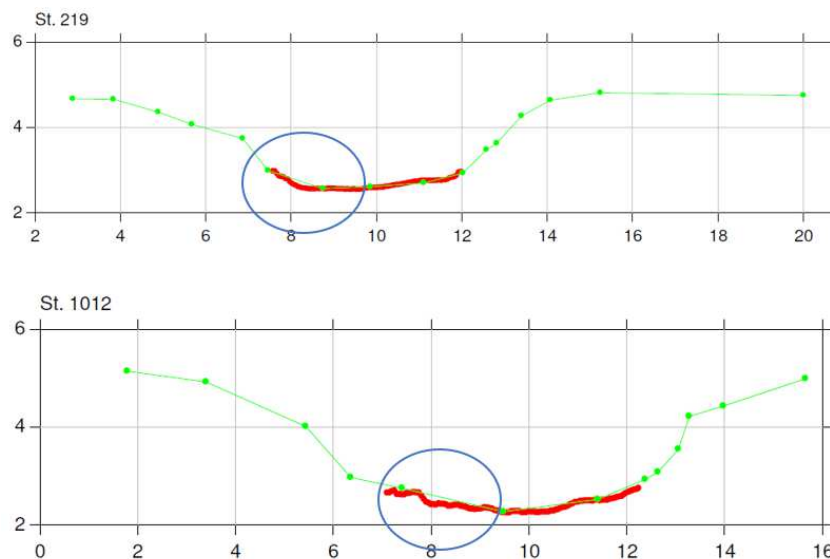
Generelt viser undersøgelsen, at der er relativ god overensstemmelse mellem tværsnit opmålt via den traditionelle opmålingsmetode med GPS og tværsnit genereret på baggrund af data indsamlet med båddronen sejlet på tværs af vandløbet (jf. Figur 24).



Figur 24. Sammenligning af tværsnit opmålt med GPS (vist med grøn) og M9 båddronen (vist med rød).

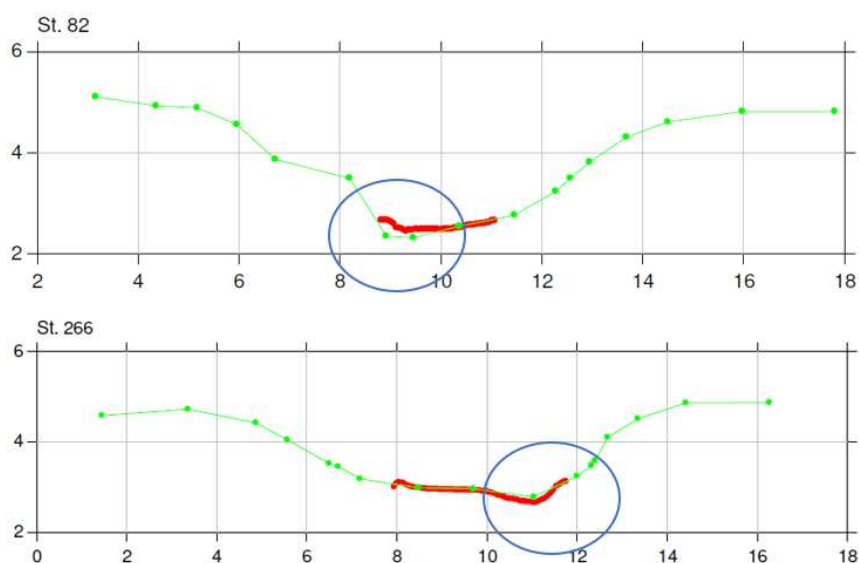
Af Bilag 2 fremgår alle de tværprofiler, hvor båddronen er sejlet på tværs af vandløbet, sammenholdt med tværsnit opmålt med GPS. Som det fremgår af Bilag 2, er langt hovedparten af tværnittene opmålt med båddronen sammenlignelige med de tværprofiler, der er genereret ved GPS-opmålingen. I enkelte tværsnit er der mindre forskelle på resultaterne af de to opmålingsmetoder.

I nogle tilfælde beskriver båddronens data det enkelte tværprofil mere detaljeret. Dette kan blandt andet skyldes, at der ved GPS-opmålingen er opmålt relativt få punkter under vandspejlet i forhold til båddronens data (se station 219 og 1012 i Figur 25).



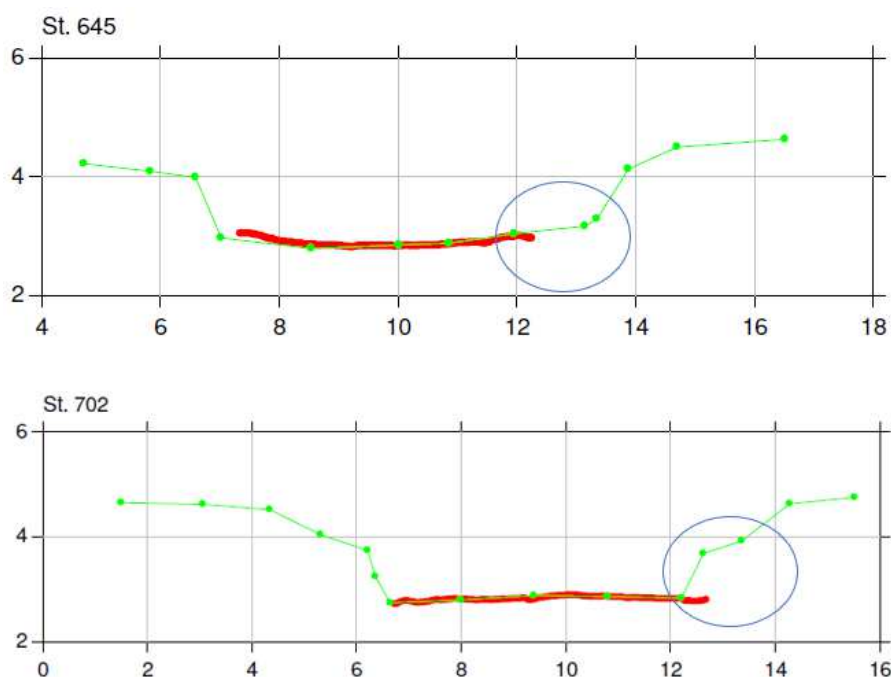
Figur 25. Eksempler der viser, at flere opmålte punkter i et tværprofil kan give en mere detaljeret beskrivelse.

Nogle båddrone-tværsnit er mere detaljeret beskrevet, men har en højere eller lavere bundkote, end den bundkote GPS-opmålingen viser. I Figur 26 er vist eksempler, hvor bundkoten i de to opmålingsmetoder afviger fra hinanden. I st. 82 er den opmålte bundkote med båddronen højere i den ene side end tilfældet er ved GPS-opmålingen, mens eksemplet i st. 266 viser et tværprofil, hvor bundkoten ved båddroneopmålingen ligger lavere end den bundkote, som GPS-opmålingen viser. Det er sandsynligt, at årsagen til disse uoverensstemmelser skal findes i, at de to tværprofiler ikke er opmålt nøjagtigt det samme sted i vandløbet. Ved forsøget blev GPS-opmålingen foretaget først, og der blev placeret et flag på de lokaliteter, hvor der var målt tværprofiler. Ved den efterfølgende båddroneopmåling var det i praksis vanskeligt at vurdere den eksakte placering af GPS opmålingens tværsnit. Ved høller og stryg kan en afstand på eksempelvis 20 cm give en forskel i vandløbets profil. Eksemplerne i Figur 26 skal derfor ikke nødvendigvis ses som et udtryk for, at der er usikkerhed på opmålingen af de to metoder. Selv en lille afstand i op- eller nedstrøms retning kan betyde at vandløbsprofilen ser anderledes ud. Hertil kommer, at der i databearbejdningen som tidligere beskrevet er udtaget punkter over 1 meter i længderetningen, for at få et tilstrækkeligt antal punkter til at beskrive tværsnittet ved båddroneopmålingen.



Figur 26. Eksempler på tværsnit hvor båddroneopmålingens bundkote ligger højere (st. 82) og lavere (st. 266) end den bundkote, der er fremkommet ved GPS-opmålingen.

Endelig er der eksempler på tværprofiler, hvor vandløbets bredde ikke er beskrevet ens ved de to opmålingsmetoder, se Figur 27. Tværprofilet i st. 645 fremstår bredere ved GPS-opmålingen, end det gør ved båddroneopmålingen. Dette kan skyldes, at der ikke har været tilstrækkelig vanddybde til at måle helt ud til kanterne. For tværprofilet i st. 702 (Figur 27) fremstår det tværsnit, der er fremkommet ved båddroneopmålingen bredere, end det tværsnit der er GPS opmålt. Når den opmålte sejlrende i forhold til vandløbets forløb betragtes, kunne det tyde på, at der i dette profil ikke er sejlet nøjagtig vinkelret på vandløbets forløb, hvorfor det opmålte tværsnit fra båddroneopmålingen fremstår bredere, end det er i virkeligheden.



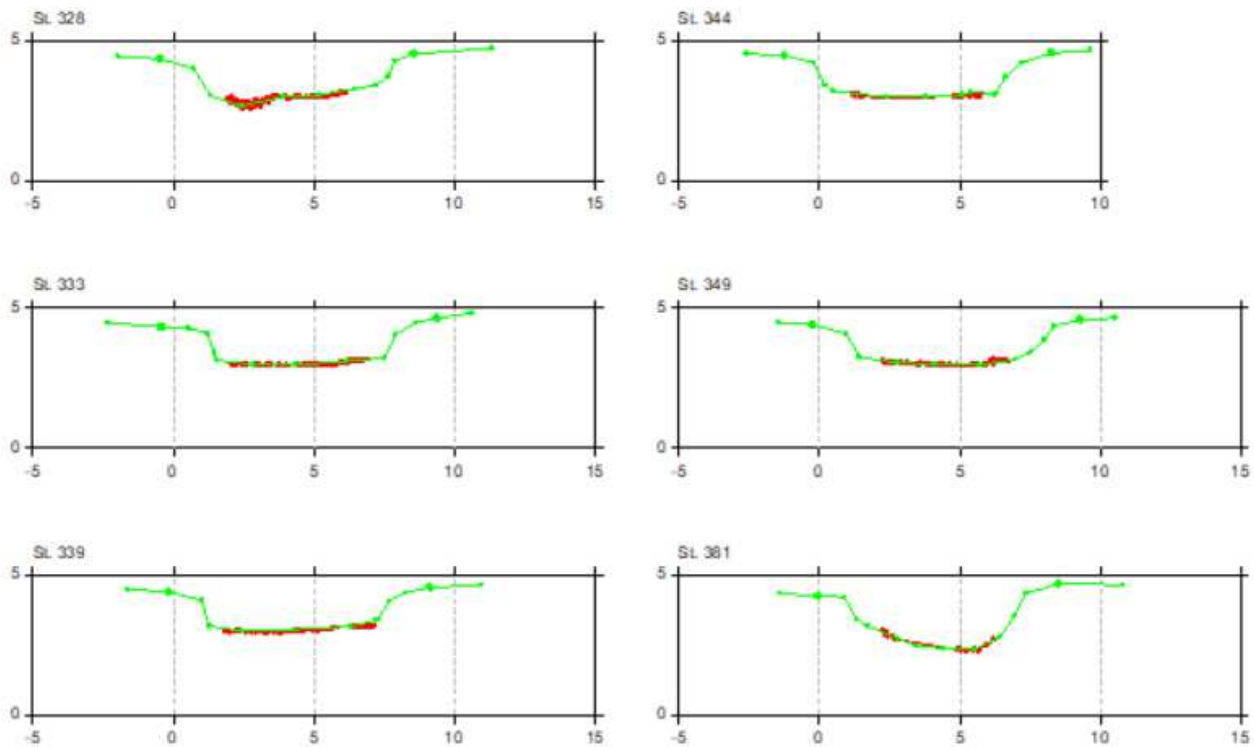
Figur 27. Tværprofiler opmålt med hhv. båddrone (rød) og GPS (grøn), hvor vandløbsbredden ikke er identisk

Når alt tages i betragtning, er resultatet af de to opmålingsmetoder meget sammenlignelige. De forskelle, der forekommer mellem tværprofilerne, skyldes fortrinsvis, at tværprofilerne er opmålt lidt forskudt i forhold til hinanden. En anden årsag til forskellige resultater kan være, at der ved en af opmålingsmetoderne, ikke er målt vinkelret på vandløbet.

Disse forskelle har ikke noget med selve opmålingsmetoden at gøre. Resultatet viser således, at resultaterne af vandløbsopmåling med båddrone er pålidelige i dette tilfælde, hvor vandløbet ikke var grødepåvirket. Det enkelte tværsnit bliver beskrevet mere detaljeret ved bådopmålingen under forudsætning af, at der er tilstrækkelig vanddybde på måledagen. Det kan være en udfordring med lavvandede områder eksempelvis langs vandløbsbrinken.

4.2 Sammenligning af tværsnit, længdebaseret opmåling med båddrone

Som det er beskrevet tidligere, blev opmålingen med M9 båddronen foretaget på et tidspunkt, hvor vanddybden i Gerå var faldet meget, og derfor ikke var optimal i forhold til at beskrive vandløbet ved båddroneopmåling. Den lave vanddybde resulterer i, at der i forsøget fra Gerå er flere strækninger med for få punkter i den længdebaserede båddroneopmåling til at beskrive vandløbets tværsnit fyldestgørende. På den baggrund er der udvalgt en delstrækning fra st. 300 - 400, hvor der både er målt tæt med GPS, og hvor den længdebaserede sejlads resulterer i rimeligt velbeskrevne tværsnit, se Figur 28.

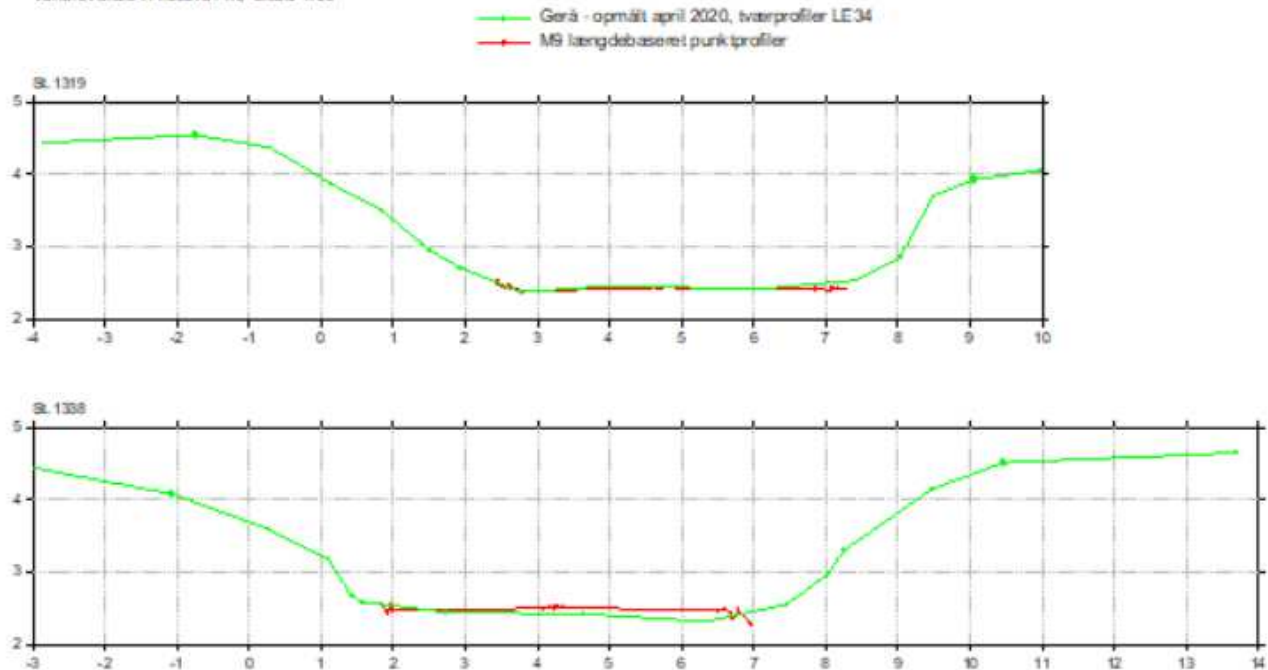


Figur 28. Tværnsnit genereret på baggrund af den længdebaseret båddroneopmåling (rød) sammenholdt med GPS opmålte tværnsnit (grøn).

Som det var tilfældet med den tværgående sejlads, giver opmålingen af tværprofiler med den længdebaserede sejlads, tværnsnit der ligger meget tæt på de tværnsnit, der er opmålt med GPS. Fordelen ved den længdebaserede sejlads er således, at det er muligt at udtrække tværprofiler med meget stor detaljeringsgrad. Det vil være muligt at udtrække tværprofiler, med den afstand der ønskes, og dermed vil opmålingen blive meget mere detaljeret, end hvad tilfældet er i dag, hvor der ofte er mellem 75-125 meter mellem de opmålte tværprofiler.

Som for den tværgående båddroneopmåling er en stor vanddybde en fordel, både fordi datasikkerheden bliver større, men også fordi en større del af vandløbsprofilen kan opmåles, hvilket vil spare tid i felten. Et eksempel på tværprofiler hvor vanddybden ikke har været tilstrækkelig på måledagen i Gerå, er vist på Figur 29.

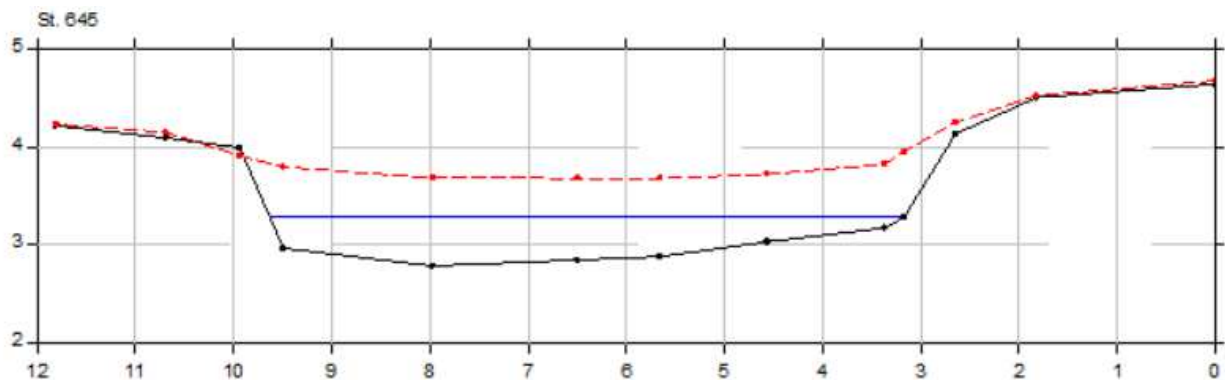
Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50
Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50



Figur 29. Eksempler hvor den længdebaserede opmåling med båddrone ikke har registreret tilstrækkelig mange punkter i tværprofilen (rød). Det ses således, at der i store dele af tværsnittet er trukket en streg mellem de opmålte punkter.

4.3 Sammenligning af tværsnit, Danmarks højdemodel

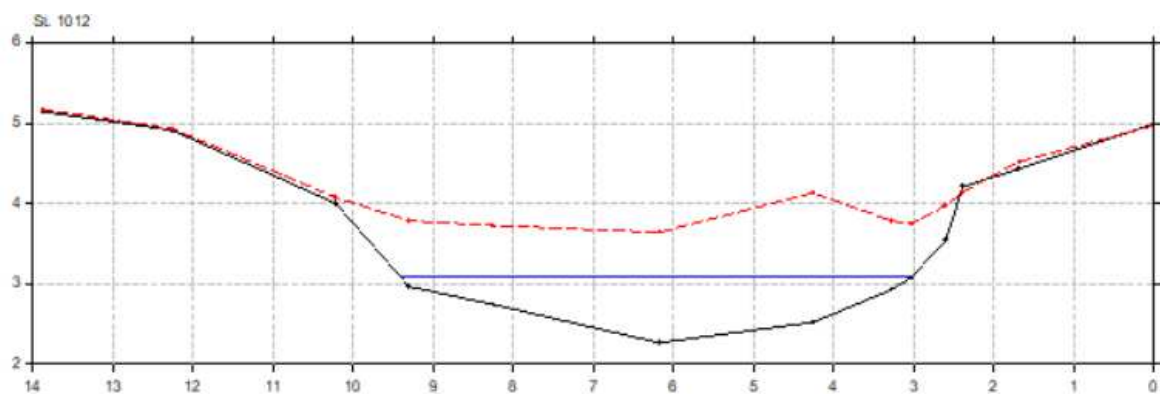
I dette afsnit er de GPS opmålte tværsnit sammenholdt med tværsnit, hvor den opmålte z-kote er erstattet af en z-kote udtrukket fra Danmarks højdemodel (DHM), se Figur 30. Der er udtrukket z-værdier fra højdemodel- len i alle de stationer, hvor der med GPS er opmålt tværprofiler. De sammenlignende tværprofiler fremgår af Bilag 3.



Figur 30. Tværsnit opmålt med GPS (sort streg) sammenholdt med tværsnit hvor z-værdi er udtaget på baggrund af Danmarks Højdemodel (rød stiplede streg). Terrænmodellens nedre profil svarer til vandspejlet på overflyvningsdagen.

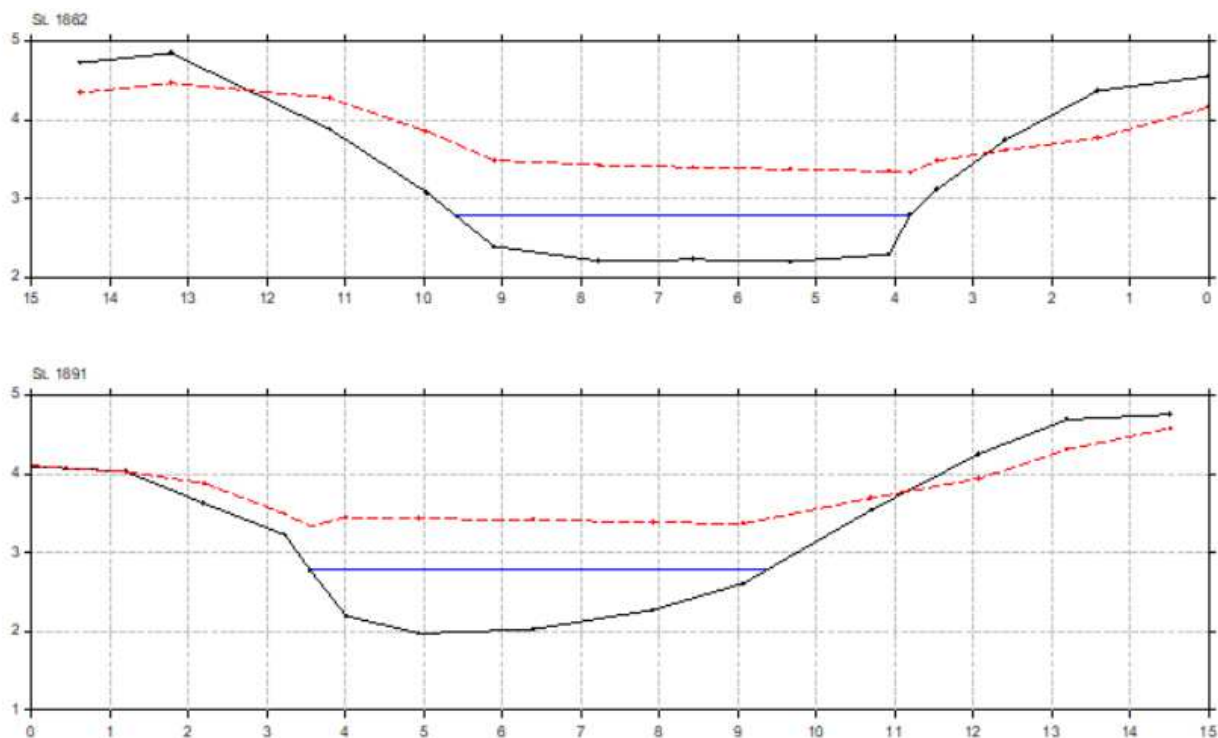
Som det fremgår af Figur 30 og Bilag 3, er vandspejlet på opmålingsdagen med GPS, noget lavere end vandspejlet var den dag, hvor overflyvningen der ligger til grund for Danmarks højdemodel, blev foretaget.

Generelt passer terrænmodellen godt med de GPS opmålte punkter. Enkelte steder ser tværsnittene med z-punkter fra terrænmodellen en anelse anderledes ud, hvilket med stor sandsynlighed skyldes at terrænmodellens data ikke er rensset tilstrækkeligt, således at det der beskrives, eksempelvis kan være en busk eller et træ, se eksempel på Figur 31.



Figur 31. Tværsnit af GPS-opmåling (sort strek). Det røde tværsnit er udtaget på baggrund af z koter fra Danmarks Højdemodel. Terrænmodellen har en top i højre side, som kan være forårsaget af et træ eller en busk.

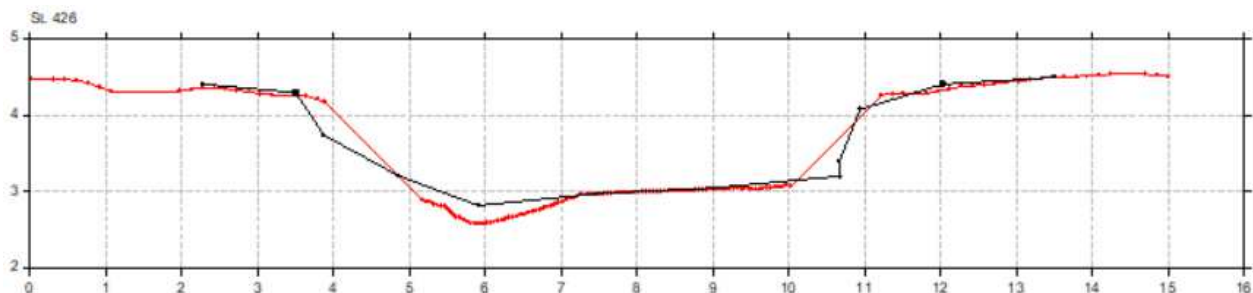
Andre steder er koterne fra højdemodellen markant højere eller lavere end de GPS opmålte koter, hvilket ligeledes sandsynligvis er fejl, der er opstået i forbindelse med at rensning af data for vegetation, se Figur 32.



Figur 32. Eksempler hvor z-værdier fra højdemodellen er højere eller lavere end de GPS opmålte z-værdier.

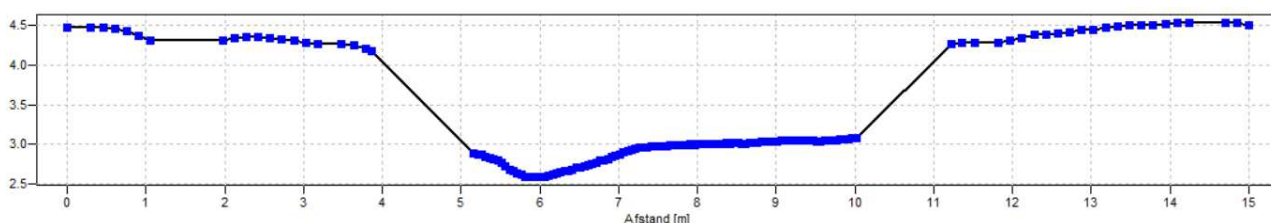
Terrænmodellen kan bruges til at beskrive den tørre del af tværsnittet, såfremt det er en mere generel analyse af vandløbets skikkelse og/eller vandføringsevne. Hvis opgaven er en regulativkontrol, er terrænmodellen mindre egnet, da den er et øjeblikbillede af vandløbets skikkelse over vandspejlet, den dag hvor terrænmodellen er fløjet.

Bådopmålingen viser vandløbets skikkelse under vandspejlet, mens terrænmodellen viser vandløbsprofilen over det vandspejl, der var på overflyvningsdagen. Det er muligt at sammensætte bådopmålingens tværsnit med tværsnittet fra terrænmodellen, som vist på Figur 33.



Figur 33. Tværsnit sammensat af data fra terrænmodel og båddroneopmåling (rødt profil) sammenlignet med tværprofil opmålt med GPS (sort profil).

Terrænmodellen er fløjet en dag, hvor vandspejlet lå noget højere end det gjorde på opmålingsdagen med båddronen. Det betyder, at der er noget af brinkerne, der ikke fremgår af opmålingen, hvilket også er illustreret på Figur 34.



Figur 34. Tværsnit sammensat af bådommåling og terrænmodel. Da vandstanden ikke er ens på de to opmålingsdage, mangler der data for brinkerne. Nederste punkter angiver vandløbsbunden opmålt med båddrone, øverste punkter angiver brinkerne genereret ud fra data fra DHM.

For at kunne benytte en metode hvor tværprofilerne sammensættes af profiler over og under vandspejl, er det derfor vigtigt, at opmålingerne er foretaget samme dag. Det ville kunne lade sig gøre, hvis den tørre del af profilet bliver fløjet med LIDAR på samme dag, som båddroneopmålingen foretages, eller alternativt en dag hvor vandspejlet er i niveau eller lavere, end den dag hvor der foretages bådommåling. I dette tilfælde har det af praktiske årsager ikke været muligt at få data, der dækker hele vandløbsprofilet på grund af den lave vandstand ved bådommålingen. Det vil derfor ikke give mening at foretage en egentlig regulativkontrol på disse data, hvilket ellers ville have været det optimale scenarie.

4.4 Orto-fotos

I forbindelse med en luftbåren og dronebaseret LIDAR-opmåling af den tørre del af et vandløb, er det oplagt at tilføje flyvningen merværdi, ved samtidigt at montere et kamera under dronen. Forsøgsstrækning i Gerå er overfløjet med kamera til at tage ortofotos d. 17/6-2020. Grundet COVID-19 situationen i Danmark blev overflyvningen foretaget noget senere på året, end hvor opmålingen af vandløbets skikkelse blev foretaget. På tidspunktet for overflyvning var grødevæksten derfor for alvor i gang. Ortofoto-serien for hele vandløbsstrækningen er således ikke fuldstændig sammenlignelig med opmålingen af strækningens skikkelse. Ortofoto-serien er dog stadig værdifuld og illustrerer værdien af høj kvalitetsbilleder. Af Figur 35 fremgår den fløjne forsøgsstrækning samt lokaliteterne 1 til 5, hvoraf der er udtaget detaljeudsnit fra flyvningen, hvilket fremgår af Figur 36 - Figur 40.



Figur 35. Ortofoto er taget for hele forsøgsstrækningen, hvor lokaliteterne 1 til 5 på figuren er vist på de efterfølgende figurer.



Figur 36. Lokalitet 1. Billedet viser et udsnit af den øvre del af forsøgsstrækningen, hvor grøden i højre side af billedet ses som øer på sandbunden.



Figur 37. Lokalitet 2 taget i svinget hvor et andet større tilløb fra nord kommer til. Grøden ses i venstre side af billedet, og vanddybden anes at øges nedstrøms med størst uddybning i ydersiden af svinget, hvor tilløbet med tydelig sandbund strømmer ud i hovedløbet.



Figur 38. Lokalitet 3. I venstre side af billedet ses en del grødeøer, som også fremgik på opstrøms strækning. Til gengæld begynder sandbunden at dominere nedstrøms. Dette tyder på, at der i 2017 blev oprenset til dette punkt som omtalt i Afsnit 3.1.



Figur 39. Lokalitet 4. Meget dominerende og jævn sandbund hvor både små vindgenererede bølger kan ses, men også sandripler på bunden måske kan anes. Billedkvaliteten er så god, at yderligere zoom vil give endnu mere information.



Figur 40. Lokaltet 5. Sandvanding og bunddynamik ses i et sving, hvor en sandtunge skyder frem i det ellers uddybede profil. Til højre i billedet kan svagt anes sporadisk grødevækst, som kan have overlevet opgravningen, eller er opstået som genvækst.

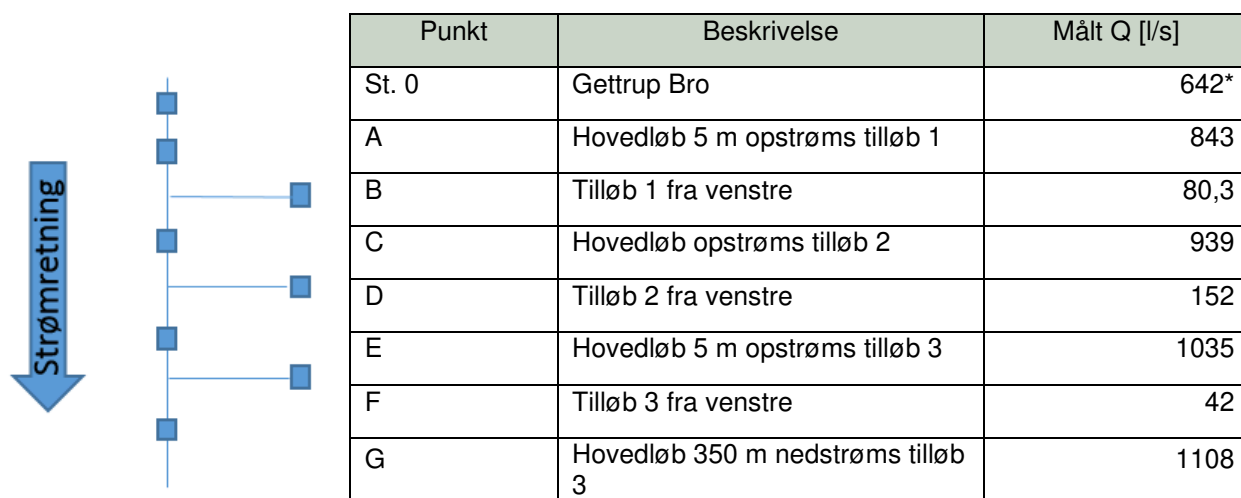
Ortofotoflyvningen viser, hvordan den øvre del af strækningen har en noget større grødevækst end den nedre strækning. Dette kan skyldes, at den nedre strækning har været oprenset inden for de senere år. Gennemgang af fotos viser den markante sandvanding, der er i Gerå, men også grødeøer, hvor sand akkumuleres og medfører store forskelle i vanddybderne inden for meget få meter.

I opmålingsammenhæng kunne en ortofoto-serie derfor være til stor hjælp i planlægningen af eksempelvis en GPS baseret tværsnitsopmåling, idet det kan være svært at få det samme overblik fra jorden. Hvis opmålingen viser lokale bundhævninger, kan ortofoto være med til at forklare, om bundhævningerne skyldes sandaflejringer, grøde eller udlagte sten mv.

En serie af ortofoto kan yderligere give nyttig viden om grødeudvikling i vandløbet, ligesom kantbevoksningens betydning for vandføringsevnen kan vurderes.

4.5 Vandførings- og vandstandsmålinger

Som tidligere beskrevet blev båddronen også benyttet til at måle vandføring, da supplerende dataindsamling kan give værdi i flere sammenhænge. Resultatet af vandføringsmålingerne fremgår af Figur 41.



Figur 41. Resultat af vandføringsmålinger den 17. april 2020. *Vandføringsmålingen ved st. 0 (Ved Gettrup Bro) er behæftet med stor usikkerhed pga. praktiske problemer ved feltarbejdet.

Vandføringsmålingerne er stationeret i henhold til opmålingen, og vandføringer målt i tilløb er lagt til vandføringer umiddelbart opstrøms tilløb for at beskrive vandføringen i Gerå, se Tabel 2. Oplysninger om oplande bestemt i forbindelse med udarbejdelse af regulativet for Gerå er anvendt til at omregne de målte vandføringer til afstrømningsværdier.

*Tabel 2: Vandføringer målt den 17. april 2020 er stationeret i henhold til opmålingen. Vandføringer målt i tilløb er lagt til vandføringer opstrøms tilløb for at beskrive vandføringen i Gerå efter tilløb. Oplande fra regulativet (Nordjyllands Amt) er anvendt til at omregne vandføringer til afstrømningsværdier i Gerå og tilløb. * Vandføringsmålingen ved st. 0 er behæftet med stor usikkerhed pga. praktiske problemer ved feltarbejdet.*

Stationering [m]	Målt Q [l/s]	Oplande [km ²]	Afstrømning [l/s/km ²]
0	642*	100,0	6,42
165	843	100,4	8,40
169	(80,3 i tilløb) 923	109,4	(8,92 i tilløb) 8,44
455	939	110,0	8,54
460	(152 målt i tilløb) 1091	125,0	(10,13 i tilløb) 8,73
1890	1035	127,7	8,10
1891	(42 målt i tilløb) 1077	135,2	(5,6 i tilløb) 7,97
2253	1108	136,0	8,15

Udover vandføringer er der på måledagen målt vandstande, med henblik på at kunne bestemme Manningtal for vandløbet på opmålingsdagen den 17. april 2020. De målte vandstande fremgår af Tabel 3.

Tabel 3: Vandstande målt på opmålingsdagen 17. april 2020.

Station, [m]	Vandspejl, DVR90 [cm]
3	352,9
80	349,4
128	347,2
218	345,7
267	343,4
457	337,5
538	331,4
628	326,5
645	328,3
702	322,4
717	323,9
761	320,5
915	311,5
1012	303,6
1020	304,8
1137	300,6
1200	300,3
1212	298,8
1249	297,4
1426	292,5
1863	279,2
2253	265,9

Såfremt der måles vandføringer samtidig med en traditionel vandløbsopmåling inklusive måling af vandspejl, giver det flere oplysninger om vandløbet. Dels bliver viden om vandføringer i vandløbet mere detaljeret, men det er også muligt eksempelvis at beregne de enkelte delstrækningers Manningtal på opmålingsdagen.

Forøget viden om vandføring og Manningtal kan anvendes i fremadrettede opgaver såsom restaureringsager eller klimarelaterede projekter.

4.6 Manningtalsbestemmelse

På baggrund af opmålingen med GPS, de målte vandføringer og vandstande er der beregnet Manningtal for projektstrækningens enkelte delstrækninger. Manningtallene er beregnet i VASP både med anvendelse af modstandsradius og hydraulisk radius. Manningtallene fremgår af Tabel 4. Manningtallene bestemt ved hydraulisk radius er forventeligt lidt større end Manningtallene bestemt ved modstandsradius (Schlünsen *et al.*, 2017).

Tabel 4. Manningtal bestemt på baggrund af opmåling med GPS samt data for vandføringer og vandstand målt den 17. april 2020. Manningtal er bestemt ved at benytte modstandsradius og hydraulisk radius. De målte vandspejl i st. 628, 702 og 1012 indgår ikke i beregningen af Manningtal, da der er målt et lille bagfald på vandspejlet i disse stationer, hvilket betragtes som almindelig måleusikkerhed.

Strækning [m]	Manningtal (modstandsradius) [$m^{1/3}/s$]	Manningtal (hydraulisk radius) [$m^{1/3}/s$]
3-80	17,4	20,0
80-128	15,7	19,0
128-219	23,7	27,2
219-266	23,9	26,7
266-457	32,7	36,2
457-538	15,4	17,3
538-645	28,3	31,8
645-717	33,8	36,5
717-761	43,6	45,9
761-915	33,8	37,8
915-1019	28,7	31,2
1019-1137	36,5	40,0
1137-1200	65,0	70,0
1200-1211	22,0	23,9
1211-1249	40,0	45,0
1249-1426	39,3	42,6
1426-1862	39,2	43,1
1862-2253	29,0	32,3

Manningtallene varierer meget ned gennem vandløbet, hvilket er forventeligt. Manningtallene er relativt høje, hvilket stemmer godt overens med, at der på bådopmålingsdagen ikke var meget grøde i vandløbet.

Manningtallet på de enkelte delstrækninger varierer hen over året, ligesom der kan være forskel på Manningtallene fra år til år. De beregnede Manningtal er derfor et øjebliksbillede fra den dag, hvor vandføring og vandstand blev målt.

Vandstanden var relativ lav på måledagen, hvorved der vil være en relativ stor modstand fra vandløbsbunden, i forhold til hvis Manningtalsbestemmelsen var blevet udført på en dag med højere vandføring og vandstand. Dermed kan de bestemte Manningtal også afhænge af vandføringen og vandstanden på selve måledagen,

hvor der vil være en tendens til, at Manningtallene vil være højere ved større vandstand, hvis der ikke er meget udhængende kantvegetation.

På strækningen fra st. 1137-1200 er Manningtallet bestemt til henholdsvis 65 ved modstandsradius og 70 ved hydraulisk radius, hvilket er meget højt. De tre tværsnit der indgår i denne beregning (st. 1138, 1191 og 1200) er relativt forskellige, hvor særligt st. 1138 afviger fra de nedstrøms profiler. Hvis opmålingen ikke beskriver vandløbet tilstrækkelig detaljeret, vil usikkerheden på skikkelsen afspejle sig i bestemmelsen af Manningtallet. Såfremt den nye teknologi fremover kan give en meget detaljeret opmåling, vil det samtidig medføre en mindre usikkerhed på Manningtalsbestemmelsen.

Som det er beskrevet ovenfor, vil Manningtalsbestemmelsen være et øjebliksbillede, der ikke i sig selv giver stor nytteværdi. Men hvis der foretages en systematisk indsamling af data vedrørende vandføringer og Manningtal, vil det på sigt bidrage til større viden om det enkelte vandløb, der kan vise sig at være nyttig i andre sammenhænge.

5 Nye opmålingsmetoder og regulativkontrol

Oprindeligt var det hensigten at sammenligne resultatet af hhv. den traditionelle GPS-opmåling og den nyere, mere detaljerede opmålingsmetode med vandløbsregulativets krav til vandføringsevne for at vurdere, hvorvidt en mere detaljeret opmåling ville give et andet resultat ifm. regulativkontrol.

Dette har desværre ikke være muligt at gennemføre. Det skyldes dels, at vanddybden på tidspunktet for båddroneopmålingen ikke var tilstrækkelig til at genere pålidelige data på hele forsøgsstrækningen. Hertil kommer, at den tørre del af tværprofilen er taget fra Danmarks højdemodel, som er blevet fløjet på et tidspunkt, hvor vandstanden var højere end på tidspunktet for båddroneopmålingen. På denne baggrund mangler der i dette forsøg, som beskrevet i afsnit 4.1 - 4.3, opmåling af en del af vandløbsbrinkerne. Af denne årsag vil det ikke give mening at lave vandspejlsberegninger på de sammensatte tværsnit, der ikke beskriver vandløbet detaljeret nok i de enkelte tværsnit.

Da GPS-opmålingen er meget mere detaljeret i forhold til normal praksis, blev det derfor besluttet at undersøge, om den relativt store tæthed af tværprofiler giver et andet resultat, end hvis GPS-opmålingen havde været foretaget med en afstand på 100 meters mellemrum, som en kontrolopmåling ofte er. På denne baggrund sammenlignes indledningsvist den detaljerede opmåling med regulativet. Til sammenligning gennemføres der herefter et scenarie, hvor der i den detaljerede GPS-opmåling slettes tværprofiler, således at der er ca. 100 meter mellem de målte tværsnit.

5.1 Vurdering af betydningen af opmålingens detaljeringsgrad i forhold til regulativkontrol

Med udgangspunkt i casestrækningen i Gerå foretages der en vurdering af, hvorvidt en meget detaljeret opmåling vil give en nytteværdi i forhold til en mindre detaljeret opmåling. For at foretage denne vurdering sammenholdes indledningsvist den detaljerede opmåling med vandløbsregulativet.

Regulativet for Gerå beskriver på forsøgsstrækningen krav til vandløbets vandføringsevne jf. afsnit 3.1.1. Ved kontrollen af hvorvidt regulativet er overholdt, skal kontrolopmålingens vandføringsevne sammenlignes med den regulativmæssige teoretiske skikkelses vandføringsevne. Dette foregår ved at sammenligne de to skikkelses vandføringsevne ved tre forskellige scenarier, hvor der for alle scenarier anvendes et Manningtal på $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, som beskrevet i regulativet.

1. $2 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ svarende til en lille afstrømning.
2. $10 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ svarende til en gennemsnitlig årsafstrømning
3. $50 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ svarende til en stor afstrømning

For begge skikkelser (den detaljerede kontrolopmåling og regulativmæssige teoretisk skikkelse) gennemføres de tre scenarieberegninger, og de beregnede vandspejl sammenlignes.

Såfremt de beregnede vandspejl for kontrolopmålingen ligger under de respektive beregnede vandspejl for den teoretiske skikkelse + 10 cm, er regulativet overholdt. Ligger de beregnede vandspejl for kontrolopmålingen over de respektive kravvandspejl, skal vandløbets vandføringsevne genoprettes.

Mange regulativer med teoretisk skikkelse beskriver, at der til de beregnede vandspejl for den teoretiske skikkelse er en tolerance på 10 cm vandspejlsstigning, som skulle modsvare de tidligere regulativets bestemmelser om, at oprensning først skulle foretages, når der var over 10 cm aflejringer i vandløbet.

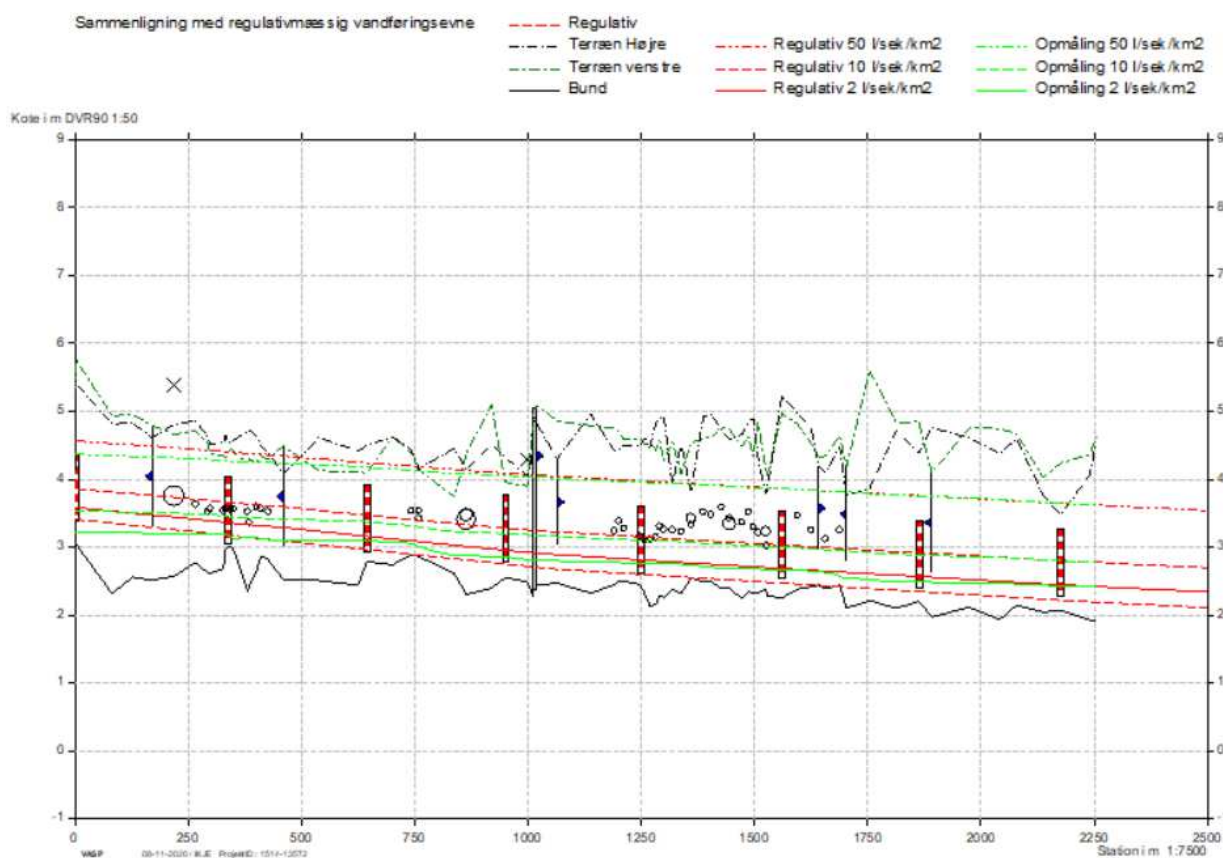
Opmålingen er 2253 meter lang. St. 2253 svarer til ca. st. 10872 i regulativet, inden der foretages "elastik", som er en metode, der benyttes til at give to vandløbsskikkelser sammenlignelig stationering. Årsagen til, at der i forbindelse med en regulativkontrol kan være behov for at lave "elastik" er, at opmålingslængden på vandløbet ikke altid stemmer nøjagtig overens, med den vandløbslængde regulativet angiver. Dette skyldes ofte små unøjagtigheder i den opmåling, som ligger til grund for regulativet, eksempelvis fordi stationering før i tiden ofte blev foretaget med favnmål, hvorimod vandløbets stationering med moderne opmålingsmetoder kan kvalitetssikres op mod et luftfoto.

I dette tilfælde er det valgt at lave "elastik" på regulativet i stedet for på GPS-opmålingen, da GPS-opmålingen, udover at skulle bruges til regulativkontrol, endvidere bruges til sammenligning af opmåling med båddrone. Sammenligningen med regulativet vil ikke ændres væsentligt ved denne ændrede procedure.

Elastikken på regulativet er lavet ved at tage udgangspunkt i en række genkendelige punkter, som både er beskrevet i opmålingen og regulativet. Punkterne er som følger:

- Broudløb ved Gettrup Bro
- Tilløb fra Dronninglund Møllebæk
- Træbro i st. 12125

Forskellen på DNN og DVR90 er på projektstrækningen 2,1 cm. Opmålingen er foretaget i DVR90, så regulativets dimensioner er efterfølgende konverteret fra DNN til DVR90 ved at fratække 2,1 cm fra de angivne koter. Tværprofiler af de opmålte tværnsnit sammenholdt med de teoretiske dimensioner fremgår af Bilag 4, mens de beregnede vandspejlsforløb for henholdsvis opmåling og regulativ fremgår af Figur 42.



Figur 42. Regulativkontrol hvor de tre beregnede vandspejl for henholdsvis GPS-opmåling og regulativmæssige teoretisk skikkelser fremgår.

Som det ses af tværprofilerne i Bilag 4, ligger den opmålte bundkote på strækningen opstrøms træbroen i st. 1013-1018 generelt en del under den regulativmæssige bundkote, ligesom vandløbsbredden generelt er i overensstemmelse med den teoretiske vandløbsbredde. Nedstrøms træbroen i st. 1013-10189 ligger den opmålte bundkote på mange tværprofiler tættere på den regulativmæssige bundkote, og vandløbets bundbredde er ikke i alle tilfælde i overensstemmelse med den teoretiske bundbredde (se eksempler i st. 1138, 2078, 2137, 2239 og 2253 i Bilag 4).

Som det fremgår af længdeprofilen i Figur 42, ligger de tre beregnede vandspejl for opmålingen noget under de beregnede vandspejl for regulativet opstrøms træbroen. Forskellen er op til 34 cm ved den mindste afstrømning på 2 l/s*km² og mindst ved den største afstrømning på 50 l/s*km² (op til 17 cm). Forskellen skyldes, at vandløbets opmålte bundkote ligger lavere end den regulativmæssige bundkote, og at nogle af de opmålte tværnit er bredere end den teoretiske regulativmæssige bundbredde.

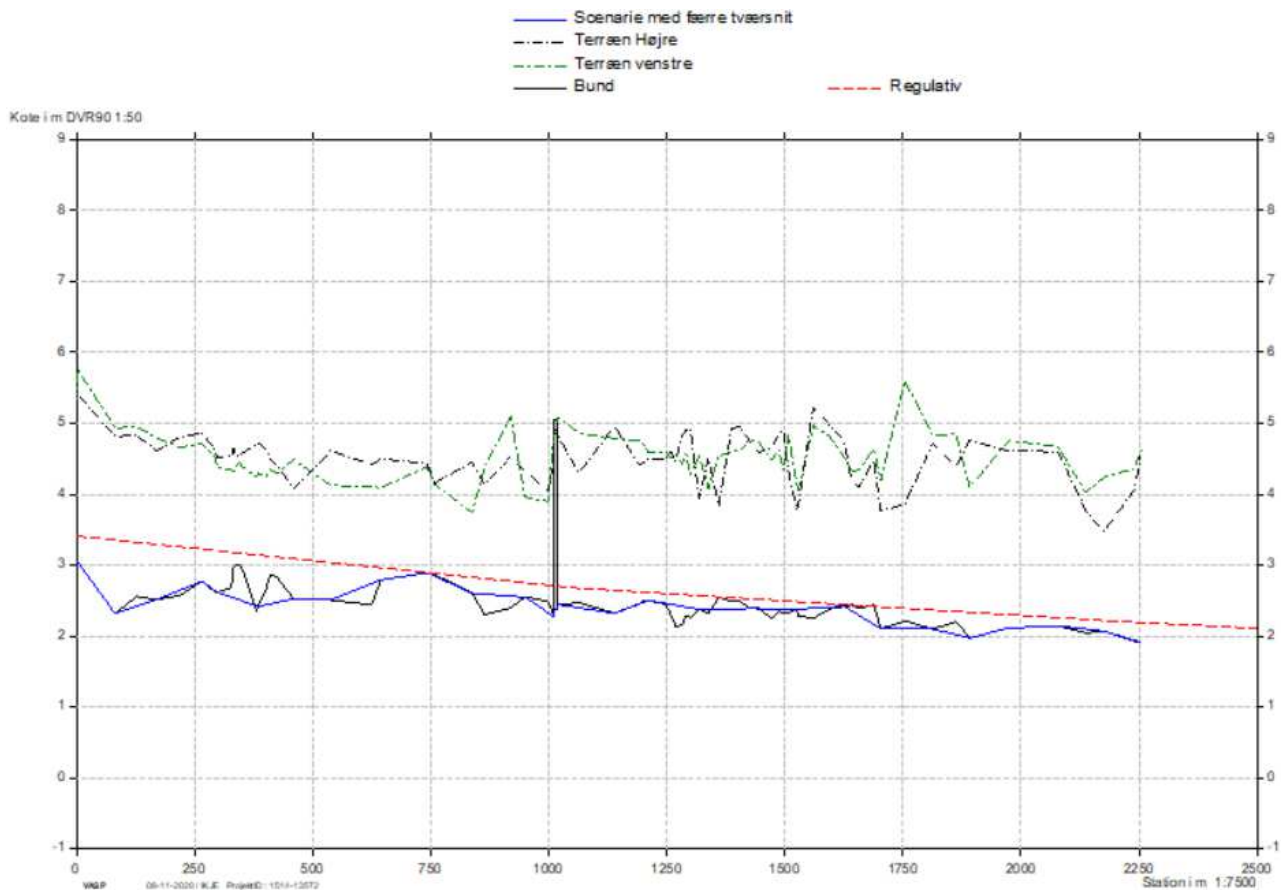
På strækningen nedstrøms træbroen ses det, at de beregnede vandspejl for opmålingen ligger tæt på de tilsvarende beregnede vandspejl for regulativet. Opmålingens vandføringsevne for denne strækning er derfor stort set identisk med den regulativmæssige vandføringsevne, og regulativet er også overholdt på denne strækning.

5.2 Følsomhedsanalyse af datatæthed for GPS-opmålingen

For at vurdere hvor følsom regulativkontrollen vil være, såfremt opmålingen af Gerå var foretaget med en afstand på 100 meter mellem de enkelte tværnit, er der opstillet et scenarie, hvor antallet af opmålte tværnit er reduceret. I dette scenarie er der stadig tværprofiler før og efter broer, men herudover er afstanden mellem tværnittene ca. 100 meter. For at opnå dette er følgende tværnit fjernet fra den oprindelig GPS-opmåling: st. 128, 219, 293, 328, 333, 339, 344, 349, 381, 401, 411, 426, 625, 759, 864, 920, 998, 1065, 1191, 1200, 1247, 1258, 1269, 1283, 1291, 1300, 1338, 1360, 1387, 1404, 1445, 1473, 1487, 1497, 1508, 1527, 1560, 1595, 1641, 1656, 1688, 1753, 1862, 2137 og 2239.

Når tværnittene er fjernet, vil den nye "scenarieopmåling" få et andet bundlineforløb end den detaljerede opmåling havde. Forskellen er vist på Figur 43. Den nye scenariebundkote vil således komme til at ligge både over og under den detaljerede opmålingsbundkote.

Den nye scenarieopmåling med færre tværnit har væsentligt lavere bundkote end den detaljerede opmåling omkring st. 340 og 420. Det modsatte gør sig gældende omkring st. 1380 og 1690, hvor scenariebundkoten som følge af de færre tværnit kommer til at ligge lidt højere end den detaljerede opmålingsbundkote.



Figur 43. Længdeprofil af den detaljerede opmålings bundkote (sort streg) sammenholdt med en scenarieopmåling (blå streg) hvor der er ca. 100 meter mellem tværsnit. Den røde stiplede linje er den regulativmæssige bundkote.

For at vurdere hvorvidt den mindre detaljerede opmåling vil have en anderledes vandføringsevne end den mere detaljerede opmåling, er der udført vandspejlsberegninger på den nye scenarieopmåling med færre tværsnit.

Som det fremgår af Figur 44, hvor de beregnede vandspejl for de to scenarieopmålinger er sammenholdt, er der stort set ikke nogen forskel på de beregnede vandspejlsforløb ved 10 og 50 l/s/km². Dog er de beregnede vandspejl for den mindre detaljerede opmåling en anelse højere på strækningen fra st. 300-800, end tilfældet er for de beregnede vandspejl med den meget detaljerede opmåling.

Opmålinger med forskellig detaljeringsgrad

Sammenligning af vandføringsevne

Blå beregnede vandspejl: Scenarie med færre tværsnit

Grønne beregnede vandspejl: Detaljeret opmåling

----- Bundkote, scenarie

----- Terræn Højre

----- Terræn venstre

----- Bund, detaljeret opmåling

----- Scenarie 50 l/sek/km²

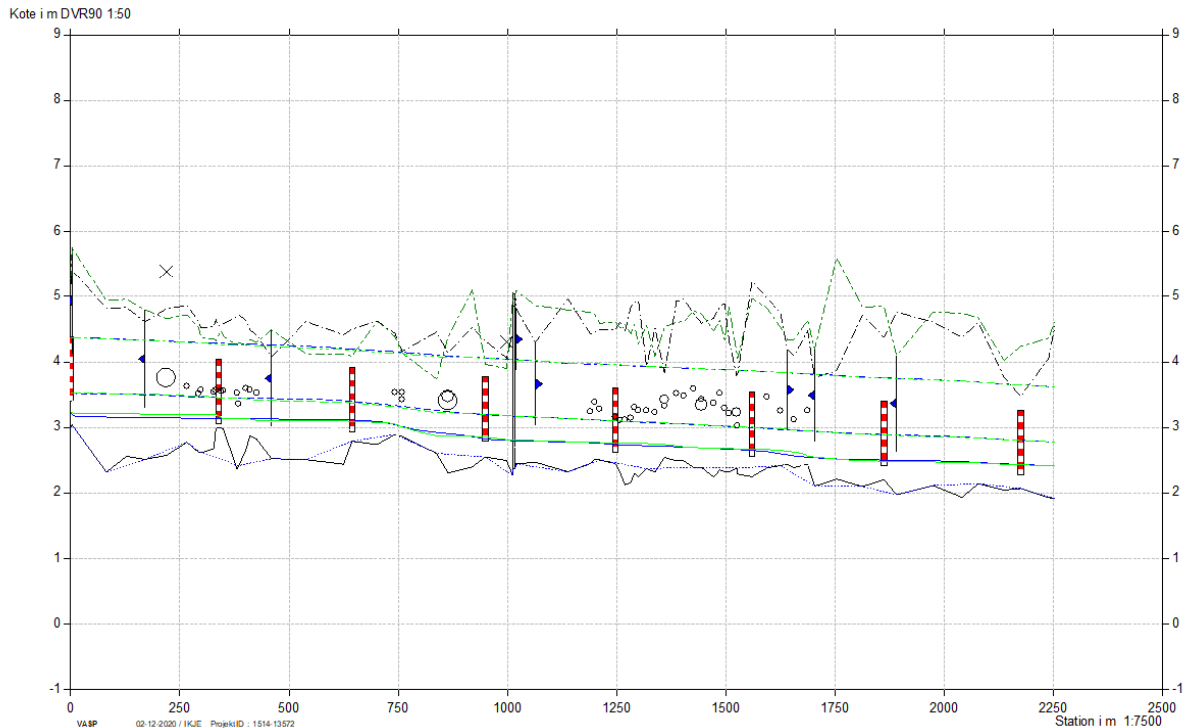
----- Scenarie 10 l/sek/km²

----- Scenarie: 2 l/sek/km²

----- Opmåling 50 l/sek/km²

----- Opmåling 10 l/sek/km²

----- Opmåling 2 l/sek/km²



Figur 44: Sammenligning af vandføringsevne for to opmålingsscenarier med forskellig detaljeringsgrad.

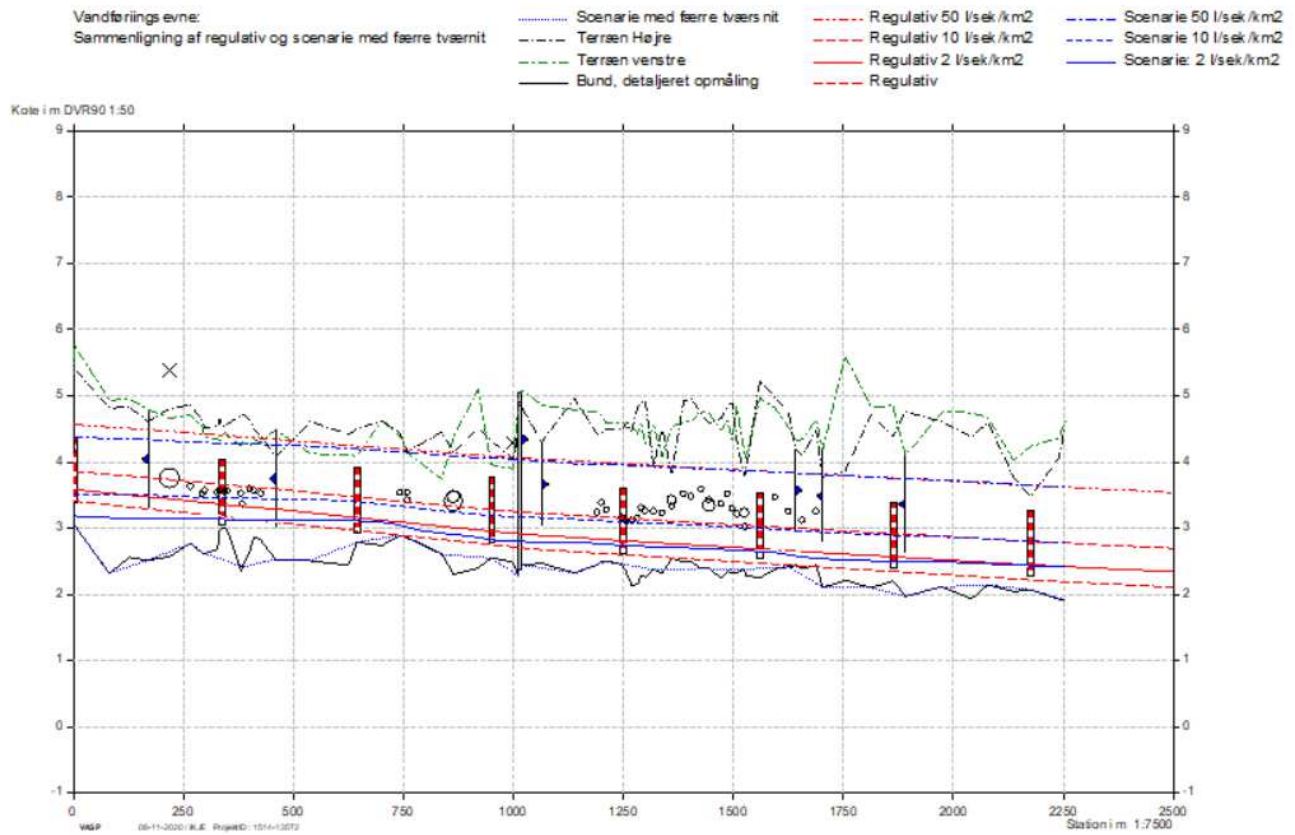
Ved den lave afstrømning på 2 l/s/km² er der lidt større forskel i de beregnede vandspejlsforløb på de to opmålinger. Således ligger den detaljerede opmålings beregnede vandspejl ca. 4 cm højere end den mindre detaljerede opmåling på strækningen fra st. 0-400. Det samme gør sig gældende på strækningerne fra st. ca. 950-1070, 1150-1370 samt 1500-1700, hvor de beregnede vandspejl for den detaljerede opmåling ligger fra 0-5 cm højere end den mindre detaljerede opmåling.

Derimod viser beregningerne, at vandspejlet for den detaljerede opmåling på strækningen fra st. 400-950, ligger ca. 2 cm lavere end beregningerne ved den mindre detaljerede opmåling. Forskellene i dette tilfælde ses fortrinsvis ved den lille afstrømning på 2 l/s/km².

At opmålingerne i dag typisk bliver foretaget med en gennemsnitlig afstand mellem tværprofilerne på ca. 100 meter tager udgangspunkt i en forsøgsrapport, der har undersøgt profiltæthedens betydning for vandspejlsberegninger (Andersen & Houmøller, 1989). Undersøgelsen konkluderer blandt andet, at profiltætheden bør være maksimalt 100-150 meter i større vandløb og i mindre meget varierede vandløb mindre end dette. Resultatet af forsøget fra Gerå er således sammenligneligt med tidligere undersøgelser på dette område.

For at vurdere om den mindre detaljerede opmåling i dette tilfælde vil give et anderledes oprensingsbehov i forhold til det regulativmæssige krav til vandføringsevne, er scenarieberegningerne for opmålingen med færre tværsnit sammenholdt med vandspejlsberegningerne for den regulativmæssige teoretiske skikkelse i Figur 45.

Som det fremgår af figuren, er kravet til den regulativmæssige vandføringsevne i dette tilfælde også overholdt ved den mindre detaljerede opmåling.



Figur 45. Regulativkontrol hvor de tre beregnede vandspejl for GPS-opmåling med færre tværnit og regulativmæssige teoretisk skikkelse fremgår.

5.3 Sammenligning af metoder for udvalgt delstrækning

Bådronneopmålingens data sammenholdt med terrænmodellen gav, som tidligere beskrevet, ikke tilstrækkeligt detaljeret data til at beskrive alle tværsnittene fyldestgørende. Til gengæld viste de længdebaserede bådronneopmålings tværsnit på den øvre del af strækningen, at bundkoten var sammenlignelig med GPS-opmålingen fra st. 0 – 460 (Figur 46).



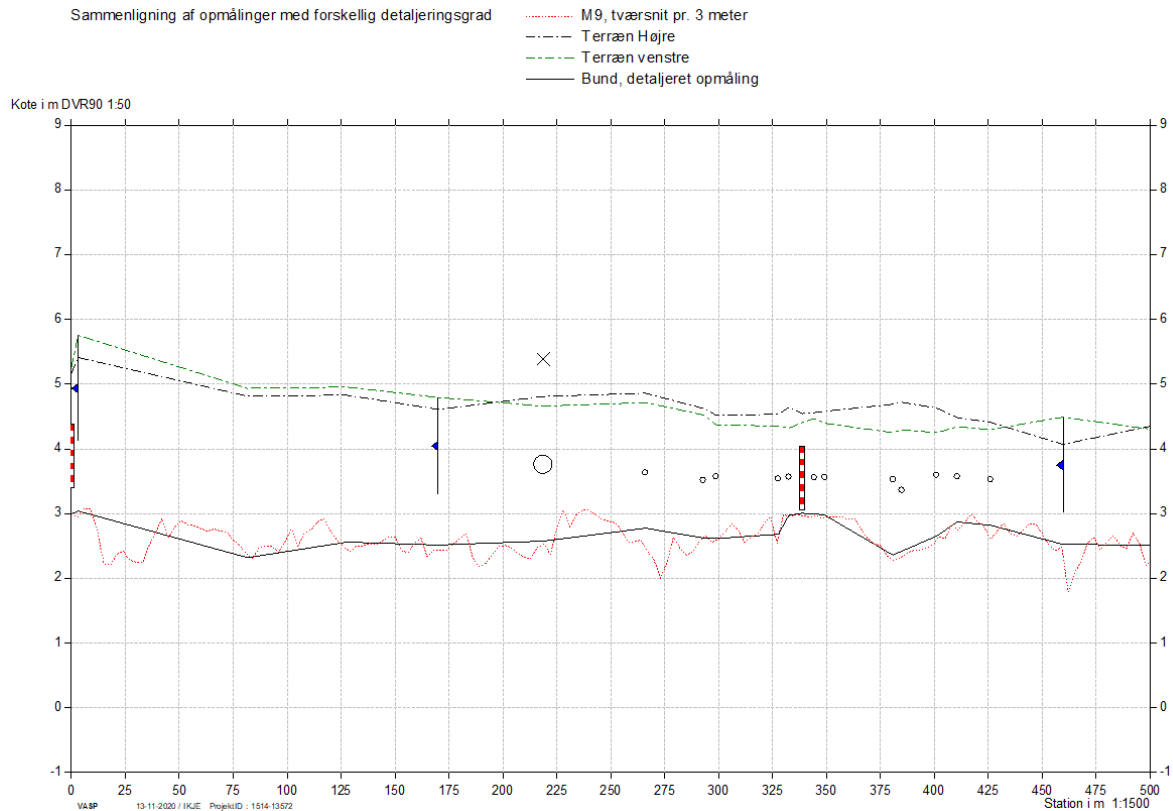
Figur 46. Øvre del af Gerå (st. 0-460) hvor tværprofilene (markeret med grønt) fra GPS-opmålingen ligger med nogen afstand på de første 200 meter.

Den manuelle GPS-opmåling er ikke så detaljeret på de første 200 meter som de efterfølgende ca. 200 meter, se Figur 46. Som det fremgår af data fra den længdebaserede bådronneopmåling, er denne strækning bundkote meget varierende, se Figur 47.



Figur 47. Bådronneopmåling af st. 0-460. På denne strækning er der udtaget bundkoter fra opmålingen for hver 3 meter.

For at illustrere, at en meget detaljeret opmåling vil give et andet bundforløb end en mindre detaljeret opmåling, er der på baggrund af data fra den længdebaserede bådronneopmåling udtaget det dybeste punkt i tværprofilene for hver tredje meter. Bundkoten fra disse tværsnit er sammenholdt med den manuelle GPS opmålings bundkote i Figur 48. Ligesom det var tilfældet i Figur 44, viser denne sammenligning, at når detaljeringsgraden på opmålingen forøges, vil der være bundkoter, der ligger både over og under den mindre detaljerede opmålings bundkoter.



Figur 48. Bundkoter i den øvre del af Gerå (st. 0 – 500). Den sorte streg viser bundkoter fra den manuelle opmåling med GPS. Den røde streg viser bundkoter udtaget på baggrund af den længdebaserede båd-droneopmåling for hver tredje meter.

Hvorvidt en mere detaljeret opmåling vil påvirke den beregnede vandføring, vandspejlet og oprensingsbehovet, kan der ikke entydigt siges noget om. Det vil i høj grad afhænge af, hvilke tværsnit der måles eller ikke måles. En mere detaljeret opmåling vil dog bedre kunne fange meget lokale aflejringer, ligesom en detaljeret opmåling vil kunne beskrive det reelle oprensingsbehov mere korrekt.

6 Diskussion

Det er velkendt, at der er mange stridigheder i forbindelse med vandløbsforvaltningen i Danmark. En af årsagerne til dette er bl.a., at der ved brug af den traditionelle opmålingsmetode, hvor vandløbstværsnit måles for hver ca. 75 - 125 m, opstår en diskussion om, hvad der overses mellem tværsnittene, og hvilken betydning det har for afvandingen. Ved at benytte ny teknologi, hvor detaljeringsgraden for opmålingen er langt højere end ved den traditionelle opmålingsmetode, vil denne diskussion ikke opstå. Yderligere vil de vurderingsbetingede valg, som f.eks. "har åen en stejl hældning", "er der problemområder" og er vandløbet "særligt mæandrerende", der fremgår af vejledningen for den traditionelle opmålingsmetode (Andersen *et al.*, 2013), og afgør hvor tæt tværsnit skal opmåles, undgås. Ved brug af ny teknologi vil kvaliteten af opmålingen således ikke afhænge af opmålerens grundighed og tolkning af vandløbet. Ligeledes vil lav sigtbarhed ikke medføre, at opmåleren overser eventuelle problemer i forhold til vandløbets vandføringsevne.

I nærværende rapport er potentialet for at benytte ny opmålingsteknologi i kontrollen og dokumentationen af vandløbsregulativers overholdelse undersøgt. Udgangspunktet for undersøgelsen har været, at en ny opmålingsteknologi skal være i stand til at generere tværsnit, ligesom tilfældet er med de traditionelle metoder. Årsagen til dette er, at vandløbsforvaltningen i praksis er baseret på tværsnit, ligesom de eksisterende hydrauliske beregningsmodeller i dag anvender tværsnit som grundlag for at beregne vandspejl.

En ny teknologi skal derfor kunne generere tværsnit med en tilstrækkelig nøjagtighed, for relativt let at kunne blive implementeret både i forvaltningsmæssig sammenhæng såvel som input til de eksisterende beregningsmodeller. Den nye teknologi består af flere forskellige metoder, og det er vigtigt, at der bliver skabt dokumentation for at resultaterne af de enkelte metoder er pålidelige, således at både vandløbsmyndigheder og bredere er trygge ved at anvende de nye data i vandløbsadministrationen.

Pilotprojektet fra Gerå er således et bidrag til at undersøge pålideligheden af data fremkommet ved andre metoder end de traditionelle opmålingsmetoder.

Resultaterne fra analysen i Gerå viser, at de tværsnit der bliver genereret på baggrund af data fra båddronen med ekkolod, generelt er sammenlignelige med de tværsnit, der er opmålt med GPS. Dette forsøg understøtter således, at denne teknologi generelt har en god nøjagtighed sammenlignet med den traditionelle opmåling.

De forskelle der forekommer mellem tværprofilerne, skyldes fortrinsvis, at tværprofilerne var opmålt lidt forskudt i forhold til hinanden. Forholdene på opmålingsdagen var gode set i lys af, at der ikke var særlig meget grøde i vandløbet. Til gengæld gav den lave vanddybde på opmålingsdagen udfordringer. Det er vigtigt, at hele profilet bliver målt, og derfor vil lavvandede områder eksempelvis langs brinken være en udfordring. I forsøget var den manglende vanddybde også et problem i forhold til, at få vandløbet beskrevet tilstrækkelig detaljeret ved den længdebaserede sejlads. Det er således vigtigt ved anvendelsen af denne metode at sikre, at vanddybden er tilstrækkelig. Det vil løse de udfordringer, der viste sig ved den længdebaserede sejlads, men det løser ikke nødvendigvis den problematik, der kan være omkring lavvandede områder langs brinken.

Udfordringen med tilstrækkelig vanddybde har ikke noget med selve opmålingsmetodens nøjagtighed at gøre. Resultatet viste, at tværsnit fra båddroneopmålingen er fuldt pålidelige i de tilfælde, hvor vandløbet ikke var grødepåvirket. Yderligere var det enkelte tværsnit beskrevet mere detaljeret ved båddroneopmålingen, hvor der var tilstrækkelig vanddybde til at udføre en optimal opmåling.

Ud over vigtigheden af opmålingens nøjagtighed, har det været et fokuspunkt i undersøgelsen, at ny opmålingsteknologi skulle kunne generere tværsnit med en tilstrækkelig tæthed for mere præcist at kunne beskrive

afvandingssevnen og oprensingsbehovet. Betydningen af datatætheden blev allerede i 1989 undersøgt af Hedeselskabet. Her kunne det konkluderes, at en afstand der var større end 100-150 meter mellem de opmålte tværsnit, gav en større usikkerhed i vandstandsberegningen. Datatætheden har især betydning i små vandløb, hvor der ikke bør være mere end 50 meter mellem tværsnitsopmålingerne (Andersen & Houmøller, 1989). Undersøgelserne i Gerå har vist, at en større datatæthed på tværsnit (tættere end 100 meter) i dette tilfælde ikke har betydning for oprensingsbehovet på den udvalgte strækning, men variationen af bundprofilerne fremgår langt tydeligere af den mere detaljerede opmåling. En større tæthed af tværsnit giver således en mindre risiko for, at ændringer i profilet bliver overset, og dermed opnås der samtidig en mere præcis beskrivelse af oprensingsbehovet.

Der er således et godt grundlag og potentiale for, at opmålingsdata indsamlet med bådronen på sigt vil kunne anvendes i kontrollen og dokumentationen af vandløbsregulativers overholdelse. Resultaterne fra undersøgelserne i Gerå viste, at under optimale opmålingsforhold kan der på baggrund af bådronedata udtrækkes tværsnit med meget lille afstand, og samtidig kan de enkelte tværsnit være mere detaljerede end tværsnit opmålt med GPS.

Resultatet fra tværsnit generet på baggrund af højdemodellen viser en generel god overensstemmelse, men nogle tværsnit bliver beskrevet enten højere eller lavere end GPS-opmålingen, som vist i Figur 32. Dette forhold kan skyldes usikkerheder, som resultatet af den databearbejdning der skal korrigere de opmålte data for vegetation. Højdemodellen kan således bruges som en god screening, men hvorvidt den på nuværende tidspunkt kan bruges, som dokumentation i en kontrolopmåling er tvivlsomt.

Forsøget i Gerå tydeliggør, at et vigtigt opmærksomhedspunkt er, at den nye teknologi (eller kombinationer af teknologi) skal kunne opmåle hele tværnittet (dvs. både over og under vandspejlet). I undersøgelserne fra Gerå hvor bådronen målte den våde del af profilet, og Danmarks højdemodel blev brugt til at beskrive den tørre del af profilet, manglede der således måledata på brinkerne, fordi der ikke var overlap mellem data. Dette skyldtes, at den tørre del af tværprofilet var opmålt ved relativ høj vandstand i Gerå, mens den våde del var opmålt ved lavere vandstand i Gerå. Disse uhensigtsmæssigheder kan til dels undgås ved at opmåle den tørre og våde del af tværnittet samtidig. Dette kan kræve, at der anvendes en kombination af flere teknologier.

Et andet opmærksomhedspunkt er databearbejdningen af opmålingsdata ved nye metoder. Som beskrevet i casen fra Gerå har man ved de traditionelle metoder et sæt data til at danne hvert tværsnit, hvor man ved de nye metoder har mange data til at danne tværsnit ud fra. Tværnittene i Figur 20 viser et eksempel på betydningen af, hvor mange punkter der vælges til at danne et tværprofil. Det er vigtigt, at databearbejdningen bliver videreudviklet og standardiseret, ligesom der bør udvikles metoder til at kontrollere de indsamlede måledata for at sikre, at hele profilet bliver beskrevet. Hvis vanddybden eksempelvis ikke er tilstrækkelig, vil der være risiko for, at det ikke er hele profilet, der bliver opmålt. Derfor bør der udarbejdes nogle retningslinjer, der skal være med til at sikre, at data er indsamlet på forsvarlig vis, før de enkelte teknologier kan anvendes i kontrollen og dokumentationen af vandløbsregulativers overholdelse.

En kontrolopmåling består ofte af en opmåling af tværsnit. Når der skal udarbejdes et revideret regulativ, bliver der ofte foretaget en regulativopmåling, hvor der udover tværsnit også måles broer, drænudløb, rørlagte strækninger og forskellige bygværker, der måtte have betydning for vandføringsevnen. Nyere teknologi som eksempelvis bådronen vil have udfordringer ved opmåling af broer, rørlagte strækninger, dræn m.v. Ved en regulativopmåling vil der sandsynligvis derfor blive behov for en supplerende opmåling af forhold, som er vanskelige at opmåle med de nye metoder. Hvis nye metoder medfører, at det fremover ikke vil være nødvendigt at være

fysisk til stede ved opmålingen, eksempelvis ved anvendelse af en flyvende drone, kan de informationer og vurderinger opmåleren foretager i felten gøre, at værdifuld information ikke bliver indsamlet.

Derfor vil en kombination af teknologier, formentlig skulle ses som en del af den fremtidige arbejdsproces i forbindelse med regulativopmåling og kontrol.

Det er således vigtigt at kende mulighederne og begrænsningerne for de enkelte metoder. Der findes som beskrevet i Kapitel 0 flere nyere opmålingsteknologier og metoder, der er under udvikling til at kunne benyttes til opmåling af vandløb. Heraf er nogle baseret på at vandløbet sejles, og andre kobles på luftbårne droner. Ved valg af opmålingsmetode til opmåling af et vandløb, er der en række overvejelser om, hvor den enkelte teknologi og metode er mest nyttig. I Danmark findes i alt ca. 64.000 km vandløb, hvoraf 75% og dermed langt størstedelen, består af små vandløb med en vandløbsbredde på under 2,5 meter. De resterende vandløb består af ca. 22% mellemstore vandløb på op til 8 meters bredde og ca. 3% store vandløb, som er over 8 meter brede (Ovesen *et al.*, 2000). I denne undersøgelse af Gerå blev anvendt en båddrone med et ekkolod, men langt de fleste vandløb i Danmark er for små til, at det er muligt at foretage en længdebaseret båddroneopmåling.

Et bud på fremtidige opmålingsscenarier, opstillet på baggrund af vandløbets karakteristika, kunne være som følger:

1. **I store og mellemstore vandløb hvor sigtbarheden er god**, og hvor der ikke er stor grødevækst, vil en flyvning med Grøn LIDAR, kunne dække den tørre og den våde del. Der vil formentlig være strækninger med skovdækning, som ikke kan måles, såvel som en opmåling omkring eller under broer vil være umulig. På disse strækninger er det stadig nødvendigt med fysisk tilstedeværelse og manuel opmåling, hvilket kan udføres med de opmålingsmetoder, som traditionelt anvendes i dag, eller med en ny scanningsmetode hvor et tværsnit måles, mens opmåleren står på stedet. Da de store vandløb er omkostningstunge, forudses det, at der vil være, ikke kun en besparelse hvis lange strækninger kan opmåles med LIDAR, men også en værdifuld merværdi idet datatætheden øges.
2. **I store og mellemstore vandløb hvor sigtbarheden er mindre god**, og hvor der dermed er begrænset grødevækst, kan et ekkolod på en båddrone eller anden flydende enhed, ses som en løsning til opmåling af den våde del. Flyvning med rød LIDAR på den ideelle årstid kan bidrage med opmåling af den tørre del. Det samme kan en Rød LIDAR monteret på en båd, hvis denne kan "se" hele profilet. Som det var tilfældet ovenfor (punkt 1), forudses det nødvendigt med manuel traditionel opmåling omkring broerne. Det forudses også, at faste kontrolrutiner for metoden skal indbygges samtidig med, at der skal være "ground truth" kontrolpunkter, som den "kontaktløse" opmåling skal holdes op imod. Med kontaktløs menes, at hverken en sonar, LIDAR eller GPR rører ved målepunktet, som det er tilfældet med en GPS med stativ og fod.
3. **I store eller mellemstore vandløb hvor der er betydelig grødevækst**, kan ovennævnte metoder (1 og 2) muligvis anvendes om vinteren, når grøden er henfaldet. I vandløb med overvintrende grøde forudses, at den eneste alternative metode til den traditionelle opmåling er anvendelse af GPR. En GPR virker bedst, når den flyves på tværs af vandløbet, og opmålingsscenariet vil derfor bestå af en række autonome flyvninger som tværsnit. Hvis ikke det er muligt at flyve med GPR'en kan den monteres på en båddrone, men så måles kun den våde del, og den tørre del skal måles som beskrevet ovenfor med LIDAR.

4. **I vandløb med blød bund** er det for nuværende vanskeligt at se hvilken ny teknologi, der kan beskrive overgangen mellem vandfasen og den bløde bund, og samtidig bestemme den faste bund. Opmåling med GPR er en løsningsmulighed, men kan medføre så meget tolkning af resultaterne, at det ikke er økonomisk rentabelt.
5. **I små vandløb** er en traditionel opmålingsmetode på nuværende tidspunkt mindst omkostningstung, til gengæld er det her, at LIDAR'en kan have sin største berettigelse. I vandløb med lav vanddybde vil sigtbarhed helt til vandløbsbund være mere sandsynlig end i store. Hvis samtidig det lille vandløb ikke har for meget brinkvegetation (opnås bedst ved vinterflyvning), bør en LIDAR af typen rød og/eller grøn være en mulighed. Som det er tilfældet med de øvrige scenarier, undgås fysisk tilstedeværelse på udvalgte lokaliteter næppe.

Ovenstående opmålingsscenarier baseret på vandløbets karakteristika viser således, at der på nuværende tidspunkt ikke er én teknologi, der alene vil kunne erstatte den traditionelle opmåling af vandløb. Ligesom den fysiske tilstedeværelse ved opmåling og besigtigelse af vandløb stadig vil være nødvendig. Herunder er det vigtigt at overveje økonomien i at anvende ny teknologi til opmåling af vandløb frem for den traditionelle metode. Formålet med at skabe nye opmålingsstandarder og udnytte den teknologiske udvikling er, at dette skulle kunne medføre væsentlig merværdi i form af mere detaljerede data og eventuelt andre typer data, der kan anvendes i flere sammenhænge. Et andet formål er, at det på sigt vil være muligt at opnå besparelser i form af tidsforbrug og/eller penge, som kan udnyttes til at opmåle flere kilometer vandløb. På nuværende tidspunkt er der dog usikkerhed omkring økonomien ved at anvende ny teknologi. Dataindsamlingen i felten vil sandsynligvis foregå hurtigere, men det må forventes, at der til gengæld vil være et forøget tidsforbrug i forhold til den efterfølgende databearbejdning. Økonomien forventes også at være forskellig afhængig af vandløbsstørrelsen m.m. Økonomisk forventes det dog, at efterhånden som de nye teknologier udvikles, og standardprocedurer fremkommer, så vil prisen falde.

Resultaterne fra Gerå viste, at nye opmålingsteknologier udover at bidrage til en større datatæthed også vil kunne bidrage med yderligere merværdi i form af anden viden. I dette tilfælde var det bl.a. vandhastighed og højtopløselige ortofotos. På baggrund af vandhastigheden og viden om vanddybde (arealet af den våde del af tværprofilet) kan vandløbets vandføring på opmålingsdagen bestemmes. Det indsamlede data kan også anvendes til at bestemme delstrækningers Manningtal på opmålingsdagen. Forøget viden om vandføring og Manningtal kan anvendes i fremadrettede opgaver såsom restaureringssager eller klimarelaterede projekter. Specielt hvis der foretages en systematisk indsamling af data vedrørende vandføringer og Manningtal, vil det på sigt bidrage til større viden om det enkelte vandløb. Ligeledes vil en højtopløselig ortofoto-serie af en vandløbsstrækning kunne bruges i planlægningsmæssige sammenhænge og målretning af f.eks. en oprensning. Hvis opmålingen viser lokale bundhævninger, kan ortofoto være med til at forklare, om bundhævningerne skyldes sandaflejringer og eventuelt om disse kommer fra dræn eller tilløb, eller om bundhævningerne skyldes grøde eller udlagte sten m.v. En serie af ortofoto kan yderligere give nyttig viden om grødeudvikling i vandløbet, ligesom kantbevoksningens betydning for vandføringsevnen kan vurderes.

Til trods for de nye teknologiers potentiale i forhold til at blive anvendt i kontrollen og dokumentationen af vandløbsregulativets overholdelse er der et godt stykke vej endnu før en fuld implementering og accept af disse metoders anvendelse. Et vigtigt skridt på vejen er, at der er sikkerhed for pålidelige resultater. På baggrund af erfaringerne fra undersøgelsen i Gerå anbefales det således, at de nye teknologier i en overgangsfase dokumenteres op imod kontrolpunkter opmålt med den traditionelle opmålingsmetode. Dermed opbygges erfaringer og fortrolighed med de nye teknologiers sikkerhed for pålidelige resultater. Til at understøtte implementeringen skal der yderligere udarbejdes en guide for opmålingspraksis med de nye teknologier, så

metoderne standardiseres og kan sammenlignes med regulativerne, uanset hvilket firma eller med hvilken teknologi opmålingen er foretaget. Ligeledes skal der udvikles standarder for databehandlingen før en implementering og anvendelse af nye teknologier i vandløbsforvaltningen.

7 Sammenfatning og konklusion

I nærværende rapport er potentialet for ny teknologi til opmåling af vandløb samt regulativkontrol blevet undersøgt. Der er redegjort for en række nye teknologier, som benyttes i dag, samt er under udvikling, og hvordan disse kan anvendes ifm. opmåling af vandløb.

Der er foretaget feltarbejde langs en udvalgt strækning i det nordjyske vandløb Gerå i form af traditionel opmåling af vandløbstværsnit med GPS samt længdebaseret og tværsnitsbaseret opmåling af vandløbsprofil med ekkolod påmonteret en båd drone. Der er ligeledes udført vandføringsmålinger med båd drone ved hjælp af akustisk doppler i hovedløb og vingeinstrument i tilløb.

De båd droneopmålte tværsnit, målt både ved længdebaseret og tværsnitsbaseret opmåling, er sammenholdt med de GPS-opmålte tværsnit. Ved den tværsnitsbaserede sejlads er der generelt god overensstemmelse mellem de GPS- og båd droneopmålte tværsnit. Ligeledes for den længdebaserede sejlads, er båd dronen i stand til at fange de samme dybe punkter i vandløbet, som ved GPS-opmåling. Det kan herudfra konkluderes, at resultaterne af vandløbsopmåling med båd drone er pålidelige, samtidig med at det enkelte tværsnit bliver beskrevet mere detaljeret. En forudsætning for at benytte metoden er dog, at der er tilstrækkelig vanddybde i vandløbet ved tidspunktet for opmålingen. Dette har været en udfordring ved undersøgelserne i denne rapport, hvorved det ikke har været muligt at måle det fulde vandløbsprofil med båd dronen. Herudover skal det også bemærkes, at opmåling af vandløb med båd drone, såvel som med anden ny teknologi, som ikke måler koter ved direkte kontakt til vandløbsbunden, kan være udfordret af vegetation og blød bund, som kan medføre, at det ikke er den "rigtige" bund, der måles.

Det har ikke været muligt i denne undersøgelse at benytte båd dronedata til regulativkontrol, grundet utilstrækkelige data pga. den lave vandstand på opmålingsdagen. Men i og med at båd dronedata er bevist pålidelige for den våde del af tværsnittet, forventes det ved et højere vandspejl muligt at benytte båd dronen til dette formål, hvilket kan kombineres med DHM eller opmåling med LIDAR af brinkerne, for at få det fulde tværsnit.

Idet der med GPS-opmålingen i Gerå er opmålt en del flere tværsnit, end der normalt vil gøres i praksis, har det været muligt at foretage en følsomhedsanalyse af datatætheden på baggrund af disse data. Således er den oprindelige opmåling blevet sammenlignet med en scenarieopmåling, hvor der er fjernet tværsnit, således at der er omtrent 100 meter mellem de opmålte tværsnit. Denne undersøgelse viste, at den mere detaljerede opmåling af den udvalgte strækning i Gerå i dette tilfælde ingen betydning har for det aktuelle oprensingsbehov. Generelt vil den større datatæthed dog bedre kunne fange meget lokale aflejringer og give en mere reel beskrivelse af oprensingsbehovet.

Ved brug af ny teknologi opnås en merværdi ift. den traditionelle opmålingsmetode med GPS. Ved opmåling af vandløbet med båd dronen kan en ny detaljegråd opnås. Diskussionen, om hvad der bliver overset mellem tværsnittene ved den traditionelle GPS-opmåling, kan dermed elimineres, idet der foretages objektiv opmåling med båd dronen. Ved at kombinere tværsnitsopmålinger med vandføringsmålinger muliggøres bestemmelse af variationen af Manningtallet på en vandløbsstrækning. Dette giver fornyet forståelse for det enkelte vandløb. Anvendes luftbårne droner til opmåling af et vandløb vil det yderligere være muligt at få en højtopløselig ortofoto-serie af en vandløbsstrækning, som kan bidrage med nyttig viden bl.a. i forhold til opmålingen og tolkningen af data, hvilket muligvis vil kunne medføre en mere målrettet vandløbsvedligeholdelse.

Undersøgelserne i Gerå har således vist, at der er et potentiale for at anvende ny teknologi i opmålingen og kontrollen af vandløbsregulativer. De tilgængelige teknologier har hver deres forcer og kan på forskellig vis bidrage med merværdi i form af vandføringsmålinger, ortofotos m.v. De har dog alle også deres

begrænsninger og for de fleste teknologier er yderligere udvikling nødvendig. På nuværende tidspunkt findes der ikke én teknologi, som kan opmåle både små, mellem og store vandløb. Det er dog essentielt at matche vandløbstypen med metodevalget, og i mange tilfælde forventes teknologierne at skulle kombineres. Ligesom den fysiske tilstedeværelse ved opmåling og besigtigelse af vandløb stadig vil være nødvendig. I forhold til en fuld implementering og anvendelse af ny teknologi til vandløbsopmåling er der et godt stykke vej endnu, og det anbefales, at de nye teknologier i en overgangsfase dokumenteres op imod kontrolpunkter opmålt med den traditionelle opmålingsmetode. Dette for at opbygge erfaringer og fortrolighed med de nye teknologiers sikkerhed for pålidelige resultater. Yderligere kræves der standarder for opmålingen med ny teknologi samt databehandlingen før end en fuld implementering i vandløbsforvaltningen er mulig.

8 Litteratur

- Andersen, M. M., Blegmand, E.H., Cole, J., Hansen, O., Høhne, J. S., Jensen, I.K., Kahr, J., Kragh, C., Kaalund, L., Myssen, P. P., Palle, L., Pedersen, N.E., Roed, S. (2013), *Guidelines til opmåling af vandløb – På vej mod en ny standard*. Bo Rasmussen & Carsten Kragh I/S, Dansk Landbrug Sydhavsørerne, Danske Vandløb, Gefion, Orbicon, Holbæk Kommune, Næstved Kommune, Slagelse Kommune, Sorø Kommune, Stevns Kommune og Østdansk landbrugsrådgivning
- Andersen, V. A., Houmøller, O. (1989). *Profilopmålingens betydning for vandspejlsberegninger med den hydrauliske vandløbsmodel VASP*. Hedeselskabet. Forskningsvirksomhed. Beretning nr. 40.
- Aslyng, H. (1970). *Afvanding i jordbruget*. DSR forlag.
- Belford, R. K., Cannell, R. Q., & Thomson, R. J. (1985). *Effects of single and multiple waterloggings on the growth and yield of winter wheat on a clay soil*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 36(3), 142–156.
- Cappelen, J. (2018). *DMI Rapport 18-06 Ekstrem nedbør i Danmark - opgørelser og analyser til og med 2017*. DMI
- EU; Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2000/60/EF. (2000). *om fastlæggelse af en ramme for Fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger*. OJ L327/1
- Feick, S., Siebert, S., & Döll, P. (2005). *A digital global map of artificially drained agricultural areas*. Frankfurt Hydrology Papers, 04, 60.
- Filsø, S. S., Laursen, R. K., Gertz, F., & Hvid, S. K. (2018). *Kortlægning og undersøgelse af årsager til dårlig dræning og afvanding samt mulige løsninger*. SEGES
- Gatziolis D., H. E. Andersen (2008). *A guide to LIDAR data acquisition and processing for the forrest of the Pacific Northwest*. U.S. Forrest Service
- Gertz, F., Hvid, S. K., & Nielsen, J. A. (2012). *Landbrugets behov for afvanding og markvanding*. Vand & Jord, 19(2), 49–52.
- Herzog, M., Striker, G. G., Colmer, T. D., & Pedersen, O. (2016). *Mechanisms of waterlogging tolerance in wheat - a review of root and shoot physiology*. Plant Cell and Environment, 39(5), 1068–1086.
- Hydrometri.dk (2020). *Vandløbssiden, Hydrometri i Danmark*. WSP
- Jakobsen, J. M. (1946). *Vejledning i dræning (1. udgave)*. Det KGL Danske Landbrugshusholdningselskab.
- Jensen, C. R. (2010). *Dræning i jordbruget*. Samfundslitteratur.
- Jensen, K. J. S. (2019). *Drainage and Plant Production*. København universitet.
- Klimatilpasning.dk (2019). *Mulige løsninger i det åbne land*. <https://www.klimatilpasning.dk/sektoerer/natur/mulige-loesninger/>. Hjemmesiden er besøgt november 2020.
- Langen, P. L., Boberg, F., Pedersen, R. A., Christensen, O. B., Sørensen, A., Madsen, M. S., Olesen, M., & Darholt, M. (2020). *Klimaatlas -Nedbør for hele året i Danmark*. DMI
- Larsen, S. E., Krongvang, B., Ovesen N. B., Christensen, O. B. (2005). *Afstrømningens udvikling i Danmark*. Vand & Jord. 12. årgang nr. 1, s 8 – 13.

- Laursen, R. K. (2020). *Klimaforandringer – Påvirkning og tilpasning i landbruget. Teknik & Miljø*. Februar 2020, s 32 – 33.
- LE34. (2020). *Samtale og e-mailkorrespondance med Knud E. Klausen om opmålingsmetoder*.
- Lindegaard-Petersen, Claus; Sand-Jensen, K. (2004). *Ferskvandsøkologi*. Gyldendal.
- Madsen, S., Debois, P., Jensen, P. S., Hyldegaard, P., Helgren, O., Bygballe, T., Jensen, A. R., Kristensen, A.-M. G., Madsen, O. S., Mogensen, B. L., Karlog, T., Kaan, O., Bangsgaard, L., & Ottesen, O. (2006). *Vandløbsrestaurering i Danmark*.
- Miljøministeriet. (1985). *Vandløbsloven, Bekendtgørelse af lov om vandløb*. LBK nr 1217 af 25/11/2019
- Møller, A. B., Beucher, A., Iversen, B. V., & Greve, M. H. (2018). *Predicting artificially drained areas by means of a selective model ensemble*. *Geoderma*, 320(January), 30–42.
- Nijland, B. H. J., Croon, F. W., & Ritzema, H. P. (2005). *Subsurface Drainage Practices Guidelines for the implementation , operation and maintenance of subsurface pipe drainage systems*. 607 p.
- Nordjyllands Amt. (1993). *Regulativ for Gerå, Amtsvandløb nr. 106*. Forvaltning for teknik og miljø
- Olesen, S. E. (2010). *Intern rapport*. 1–254.
- Ovesen, N. B. (2019). *Vandføringsmåling med vingeinstrument*. TA. Nr.: B03. Aarhus Universitet, DCE.
- Ovesen, N. B., Iversen, H.L., Larsen, S.E., Müller-Wohlfeil, D.-I. & Svendsen, L.M., Blicher, A.S. og Jensen, Per M. (2000): *Afstrømningsforhold i danske vandløb*. Danmarks Miljøundersøgelser. 238 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 340.
- Poulsen, J. B., Ovesen, N. B. (2011). *Vandføringsmåling med akustisk Doppler instrument (ADCP)*. TA. Nr.: B04. Aarhus Universitet, DCE.
- RIEGL. (2020). Hjemmeside: RIEGL.com, *Laser Measurement Systems*. <http://riegl.com/>
- Riverscapes. (2020). *Project by Innovationsfonden DK Grand Solutions*. File number 7048-00001B). Project website <https://www.riverscapes.env.dtu.dk/>
- Schlüsen, K., Jensen, I.K., Moeslund, B. (2017). *Forudsætninger og data ved vandspejlsberegninger i vandløb*. Hedeselskabet
- Styczen, M. E., Hansen, S., Petersen, C. T., & Abrahamsen, P. (2020). *Samspil mellem vandstand i vandløb og de omliggende dyrkede arealer*. Københavns universitet.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development - ULg Library (Sixth Edit)*. Sinauer.
- Wayne Skaggs, R. (1996). *Drainage principles and applications*. *Agricultural Water Management*, 31(3), 307–309.

9 Bilagsoversigt

- 1) Opmålte tværprofiler foretaget med GPS
- 2) Sammenligning af opmålte tværprofiler med hhv. GPS og båddrone
- 3) Sammenligning af tværsnit opmålt med GPS og z koter udtrukket fra DHM
- 4) Sammenligning af regulativmæssig skikkelse og tværsnit opmålt med GPS

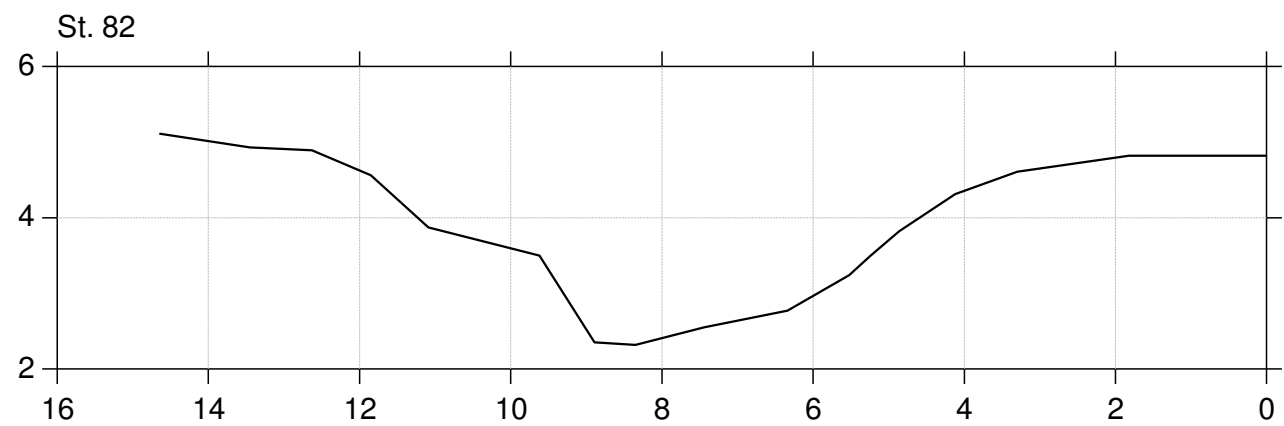
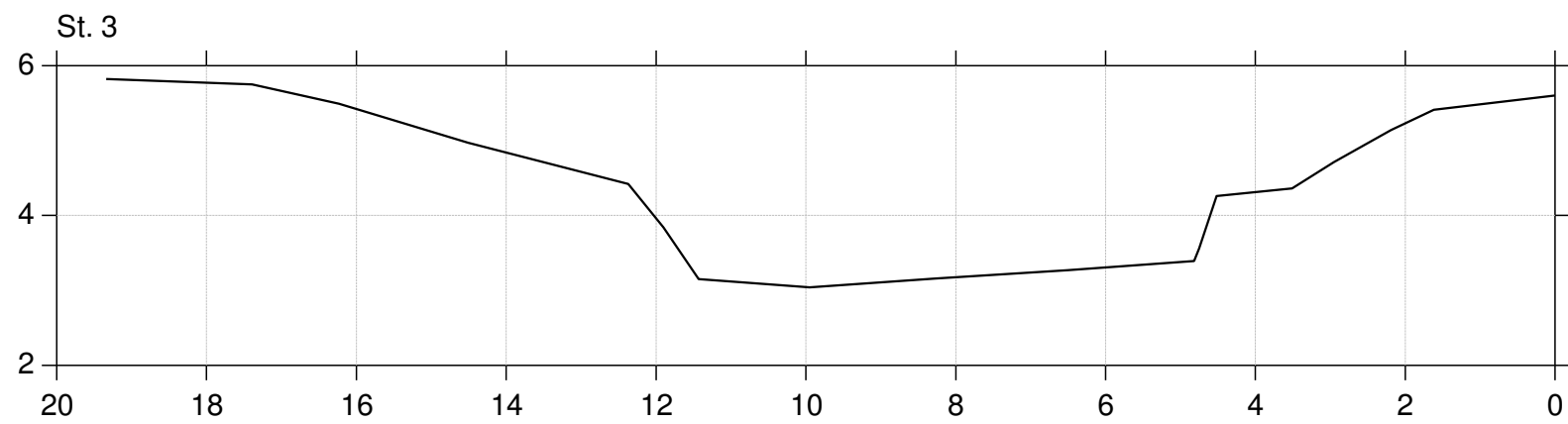
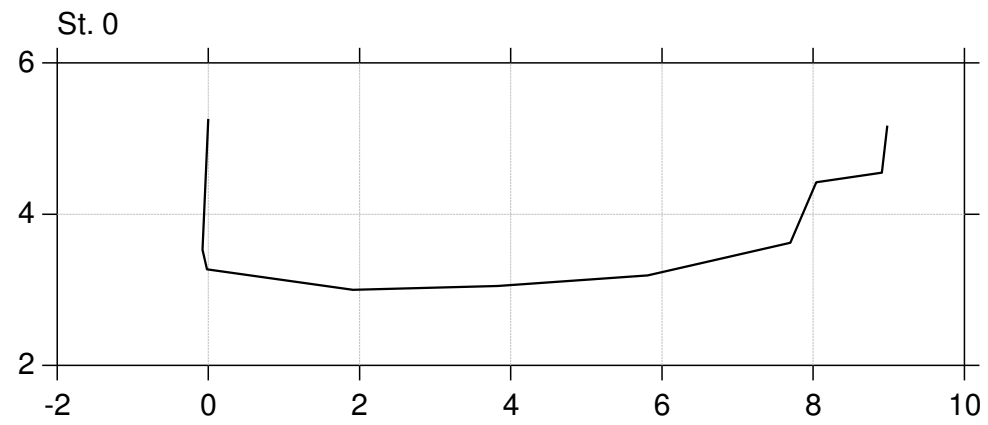


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020

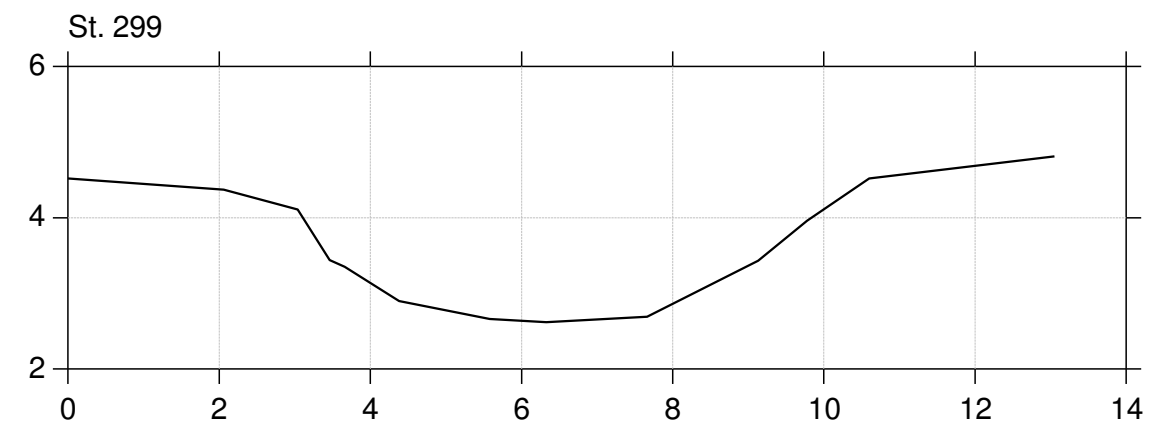
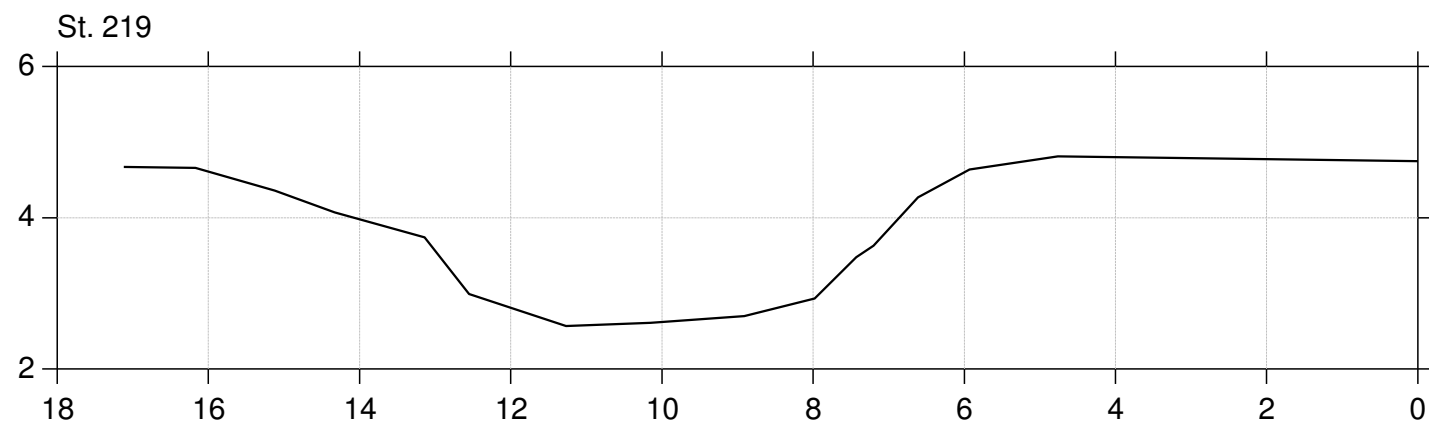
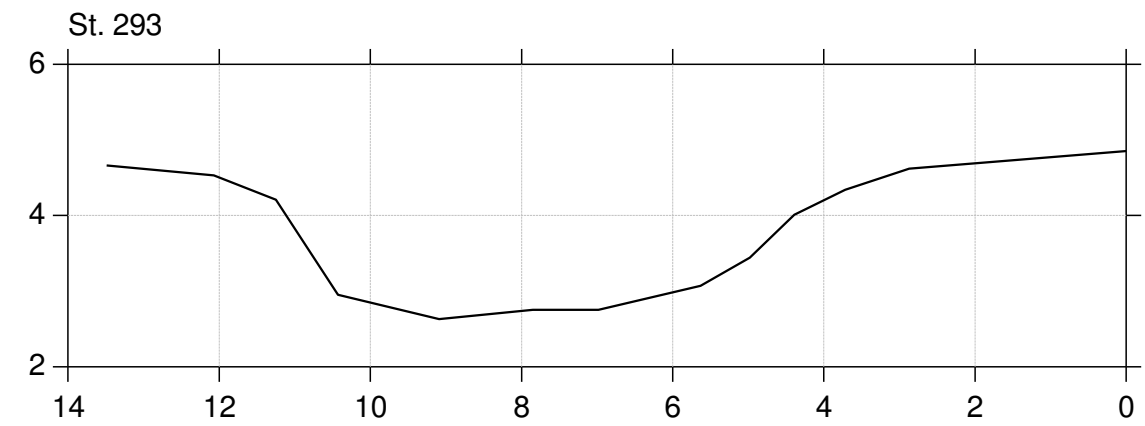
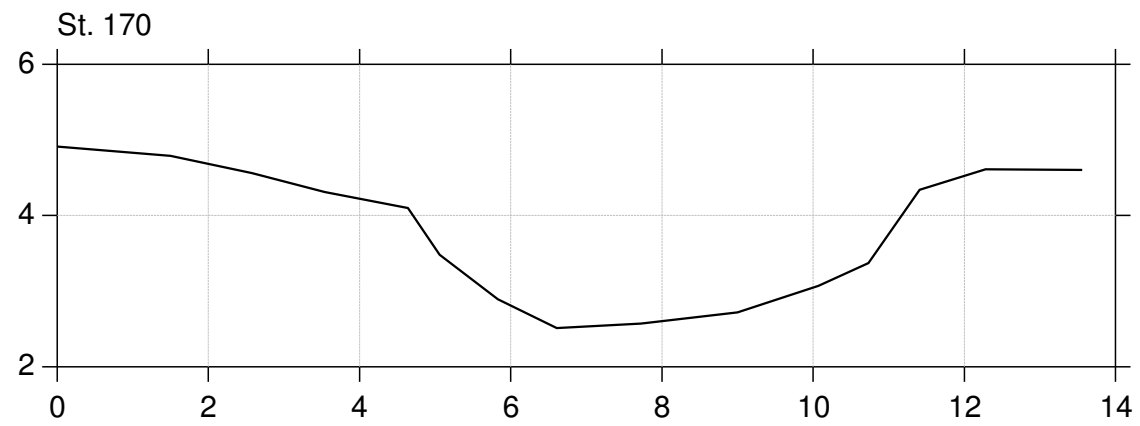
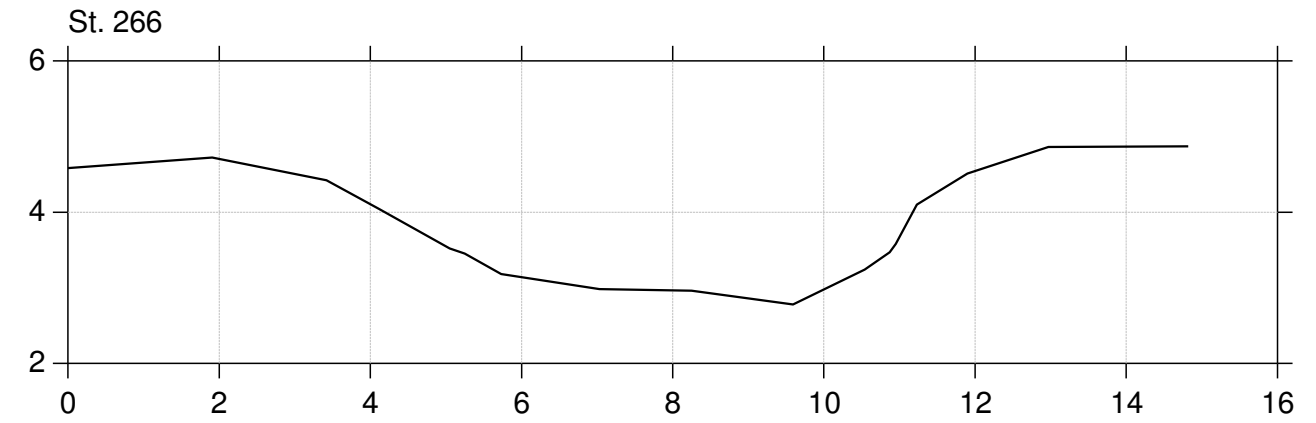
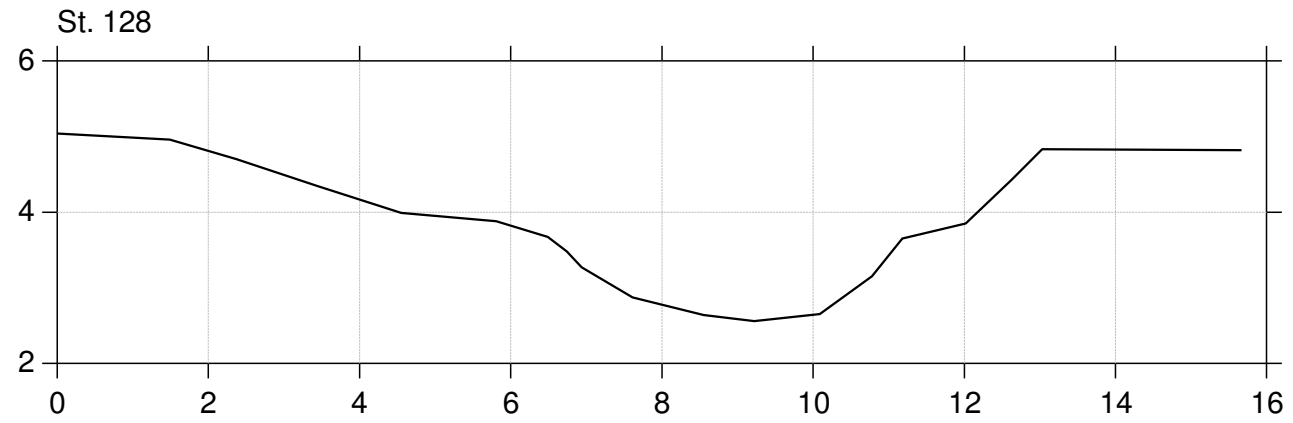


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020

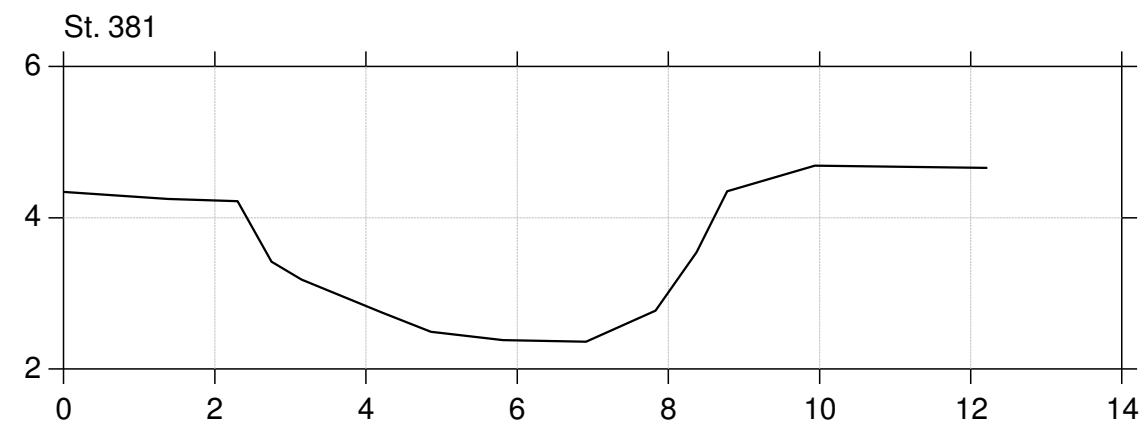
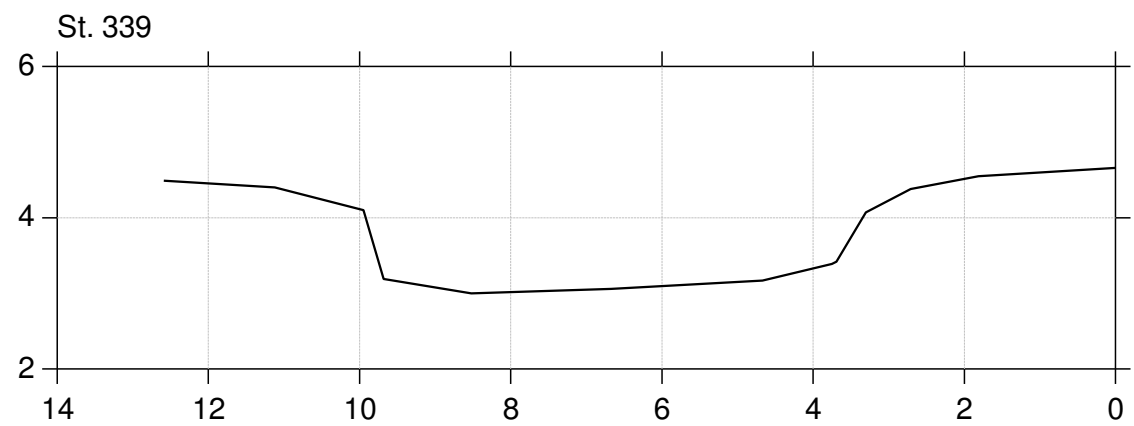
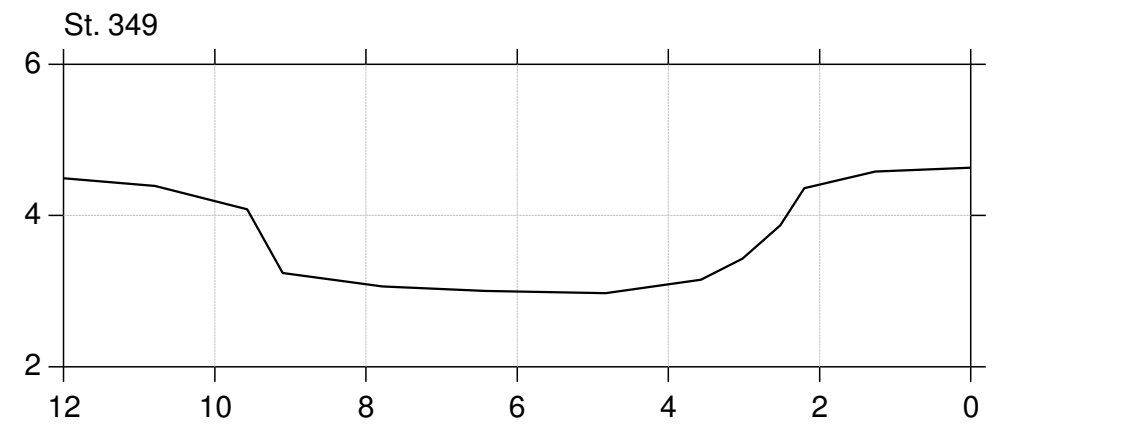
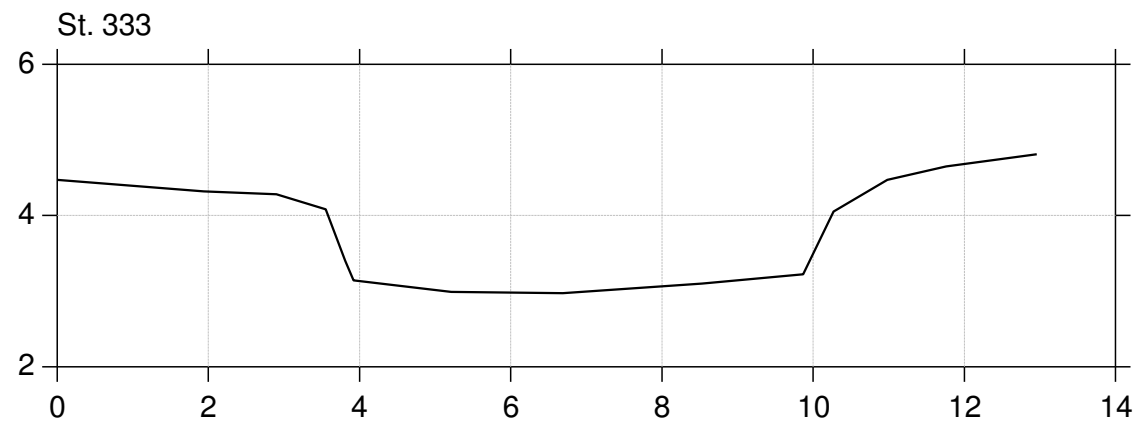
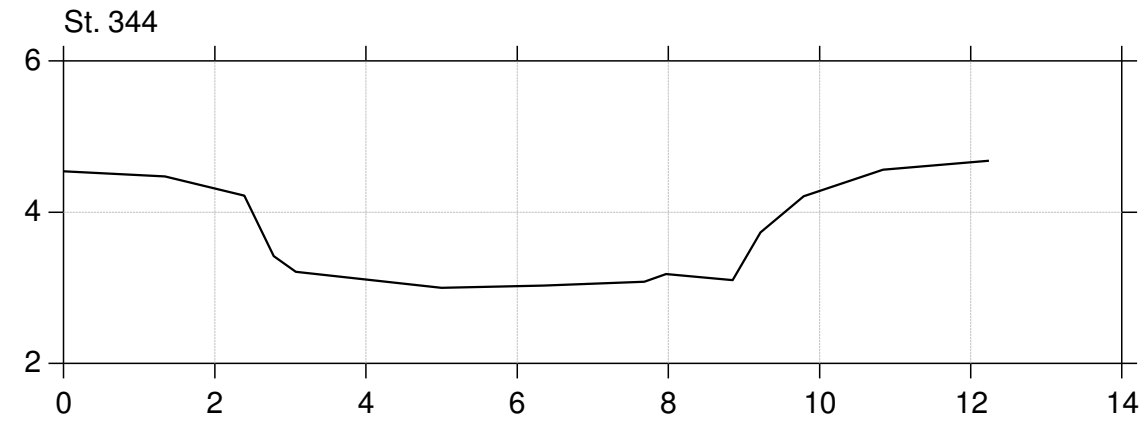
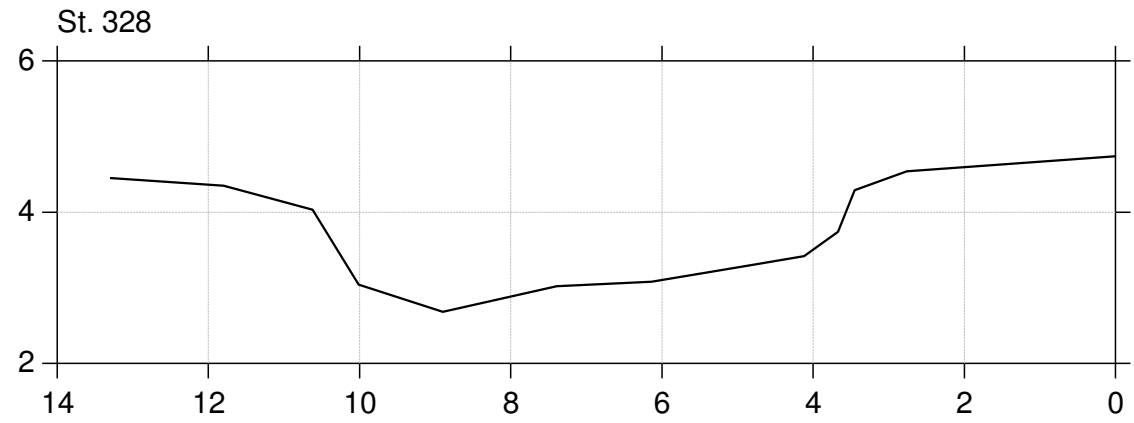


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020

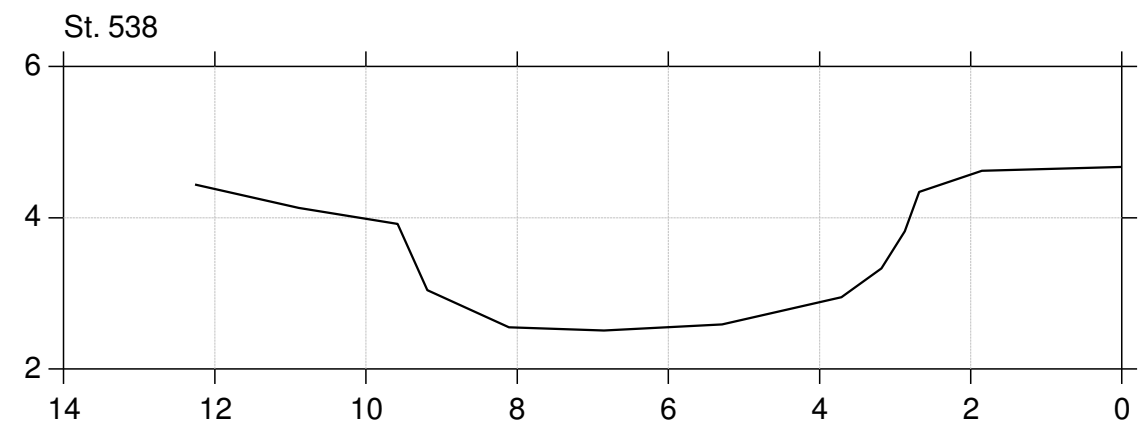
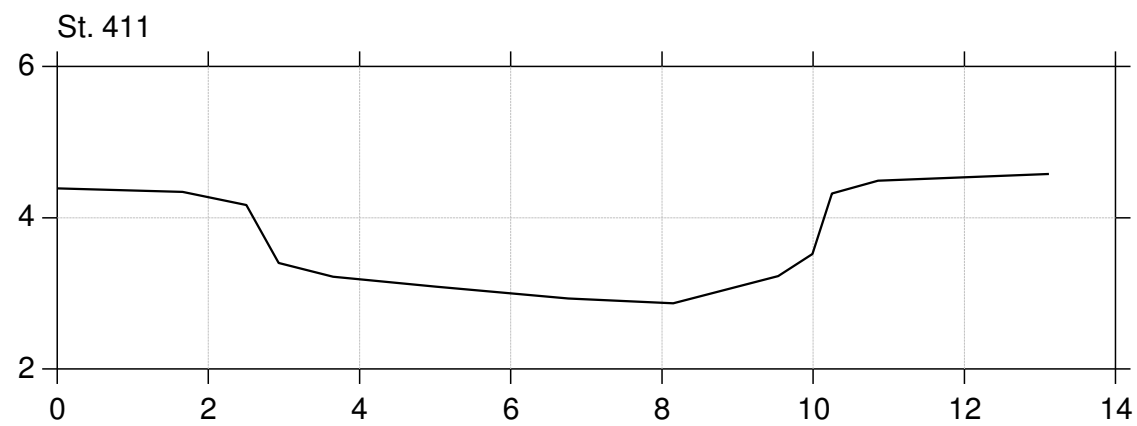
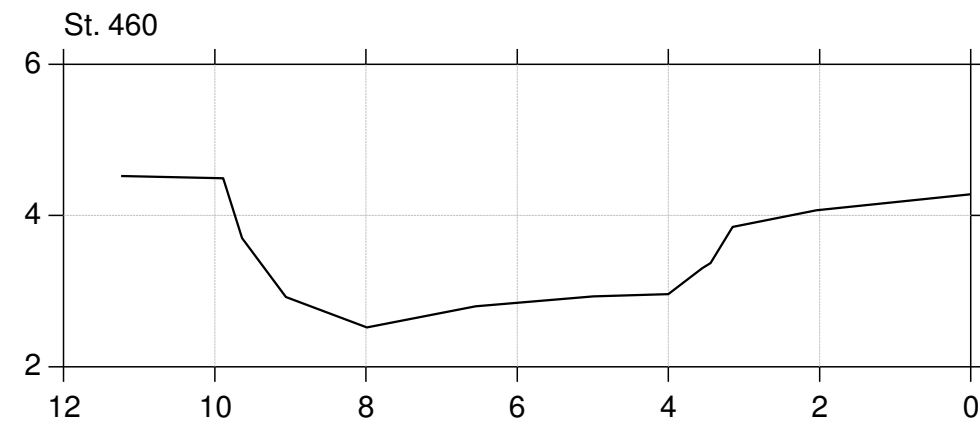
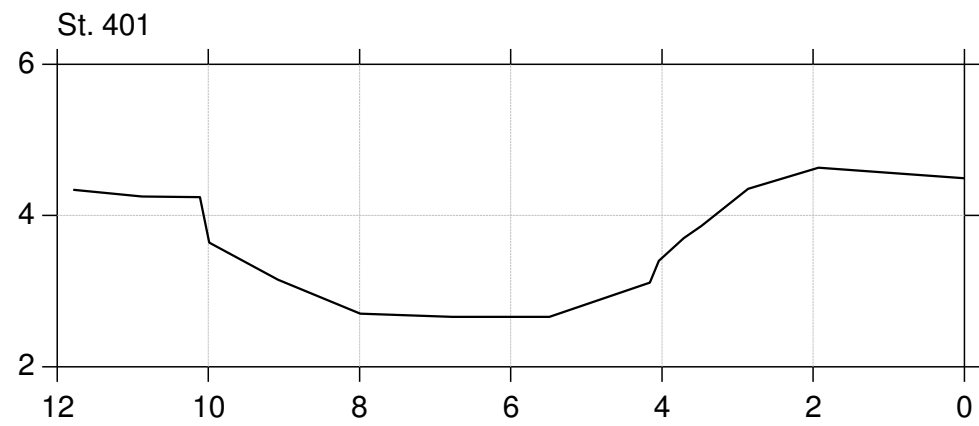
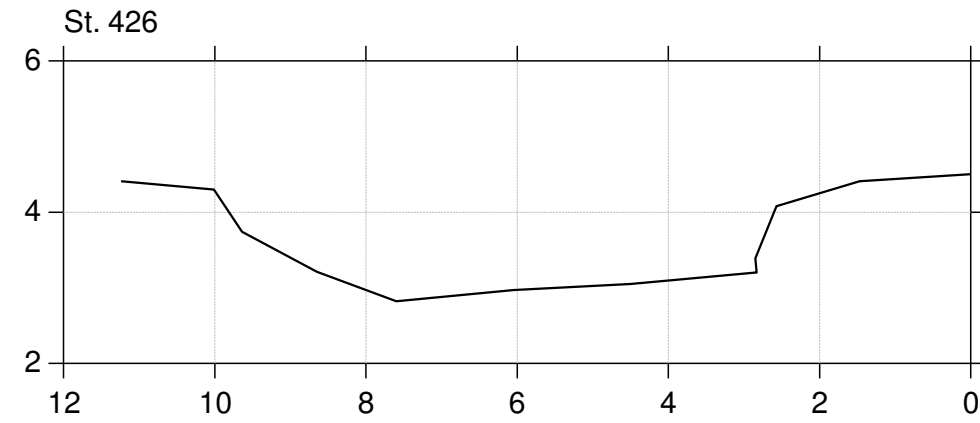
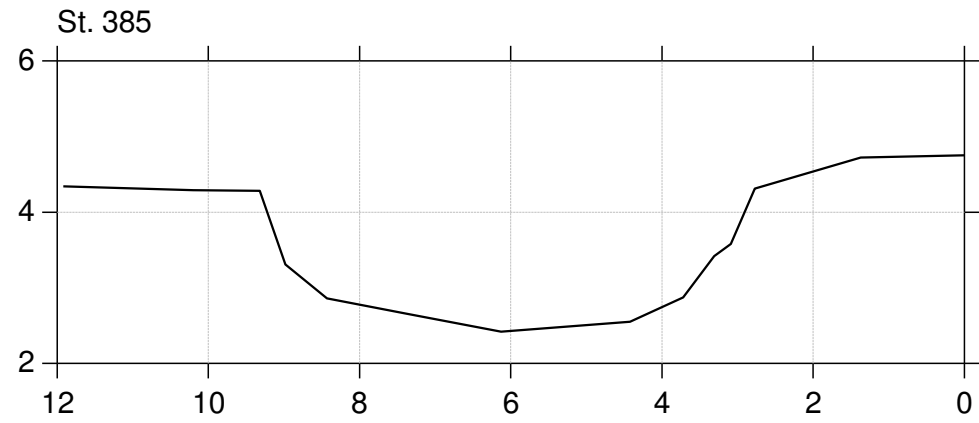


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020

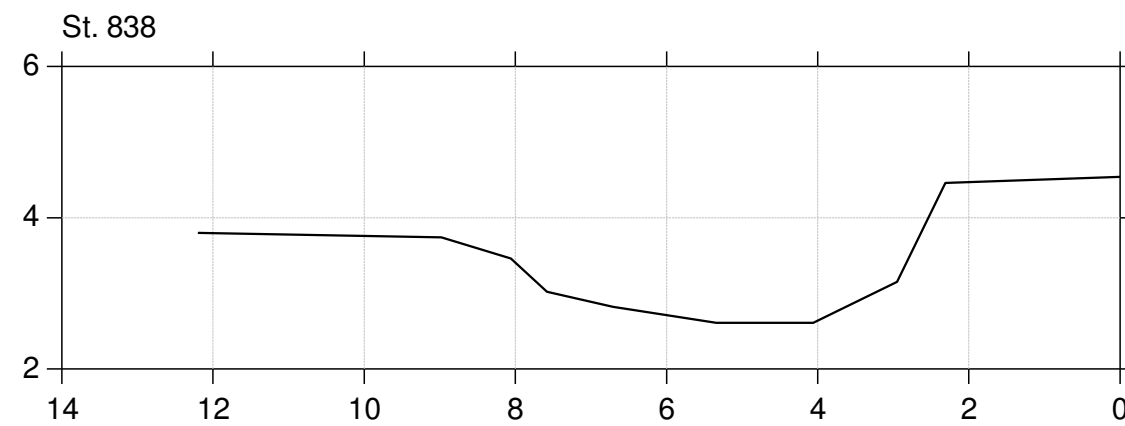
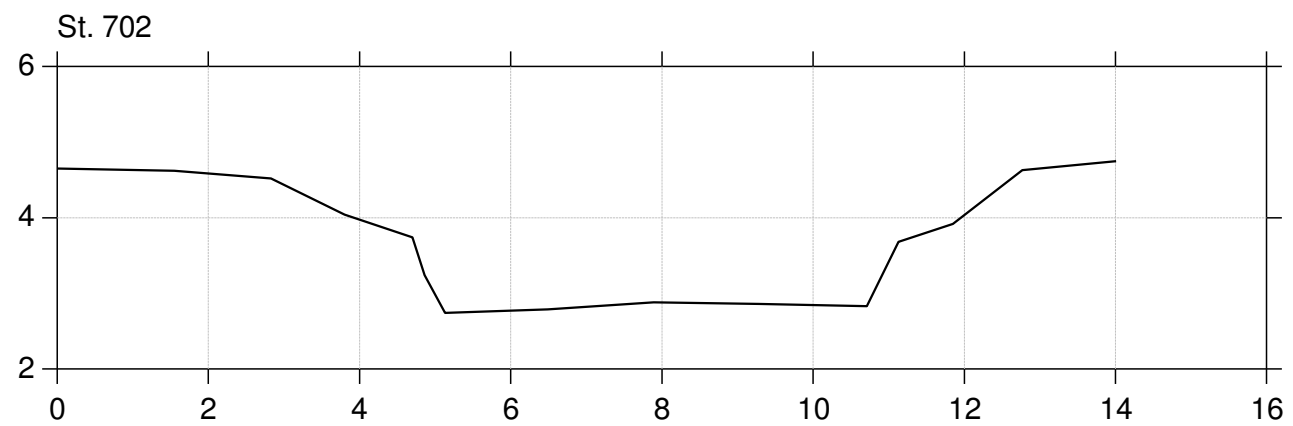
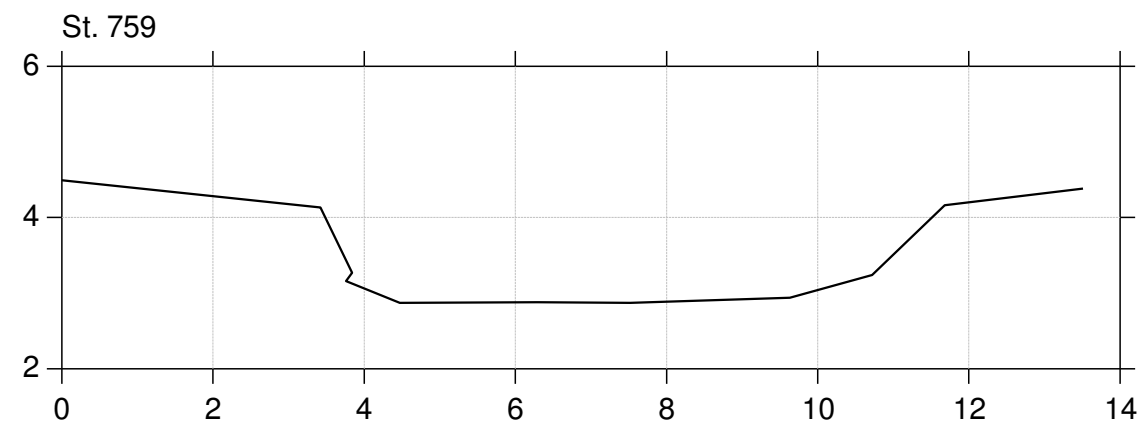
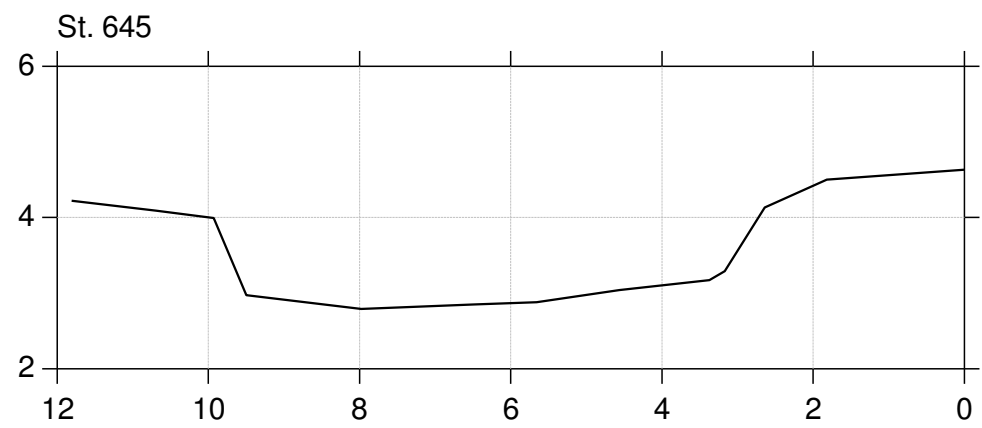
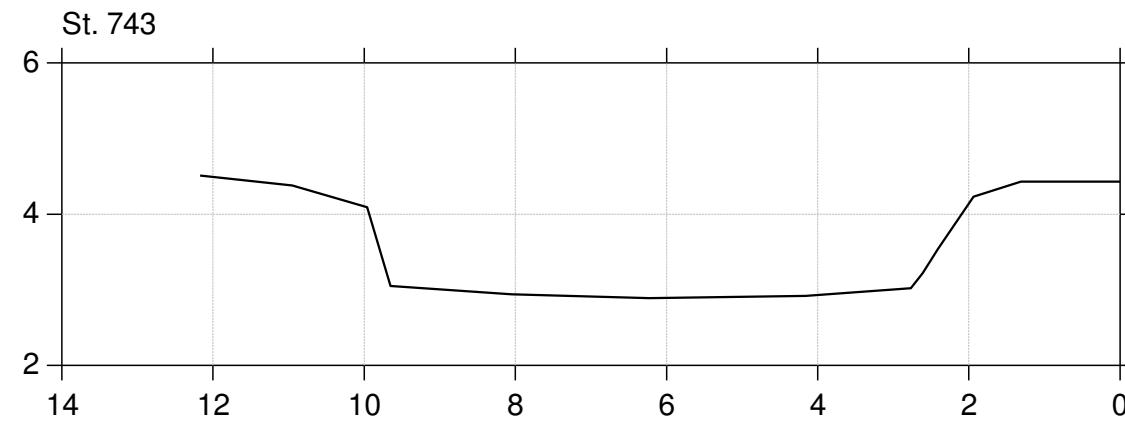
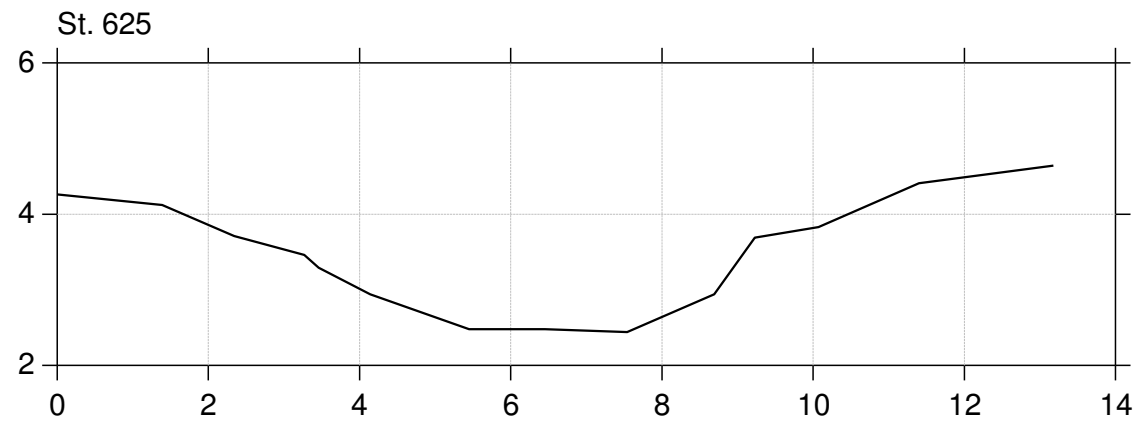


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020

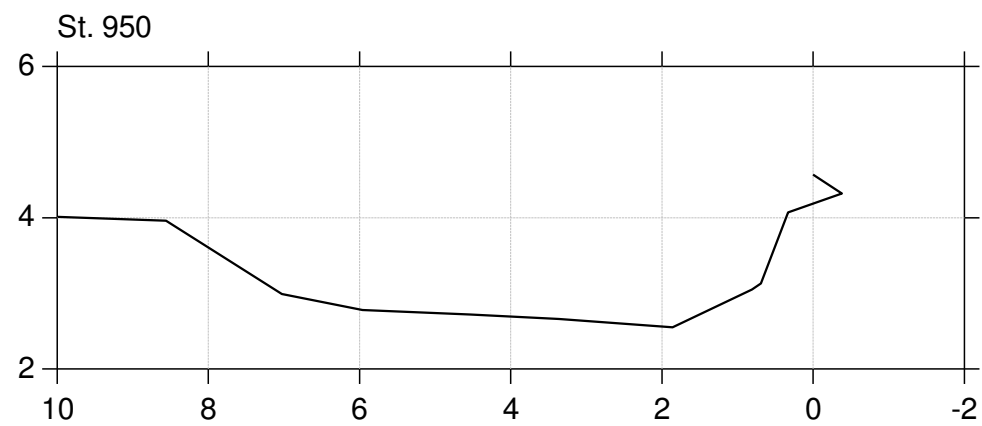
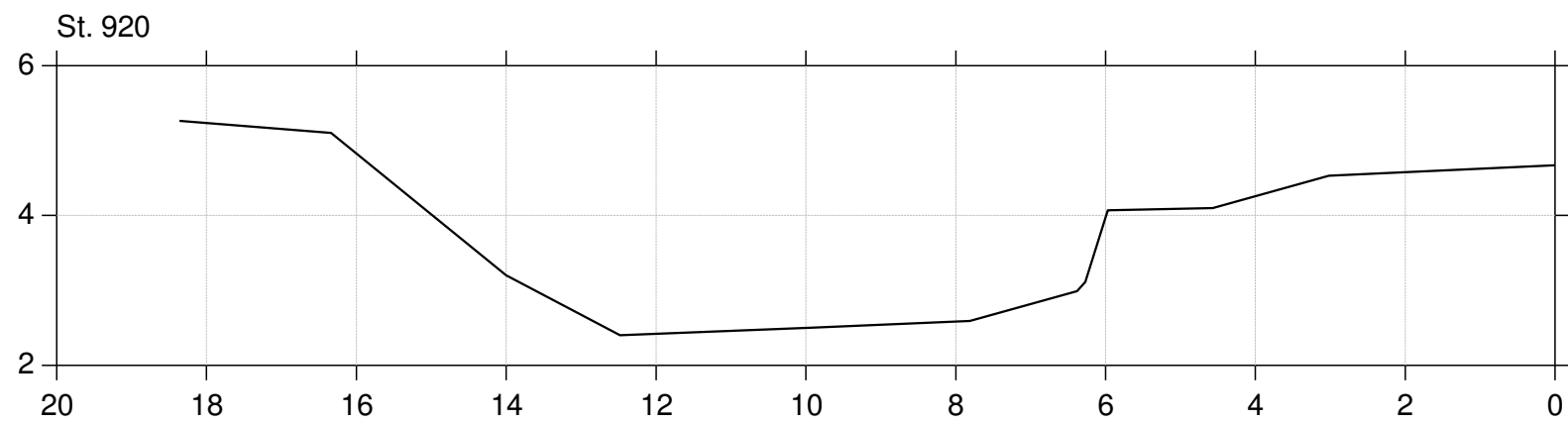
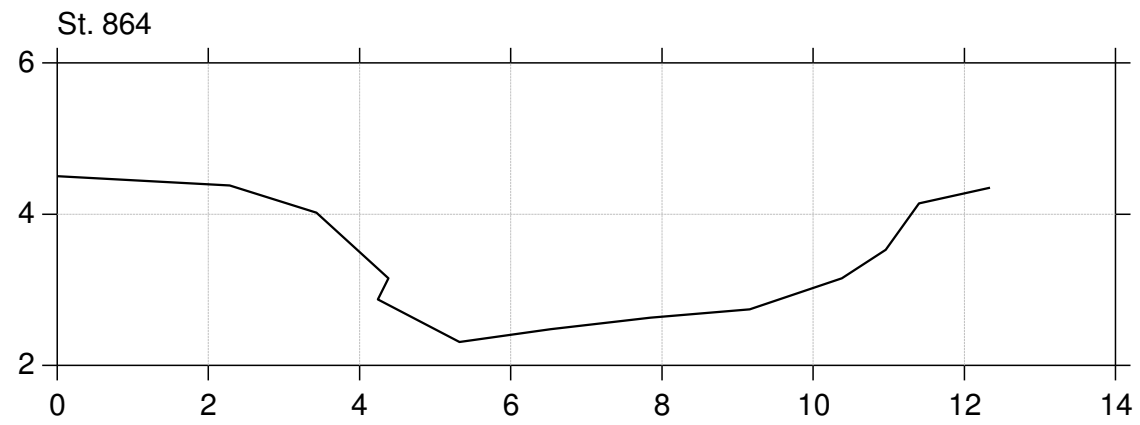


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020

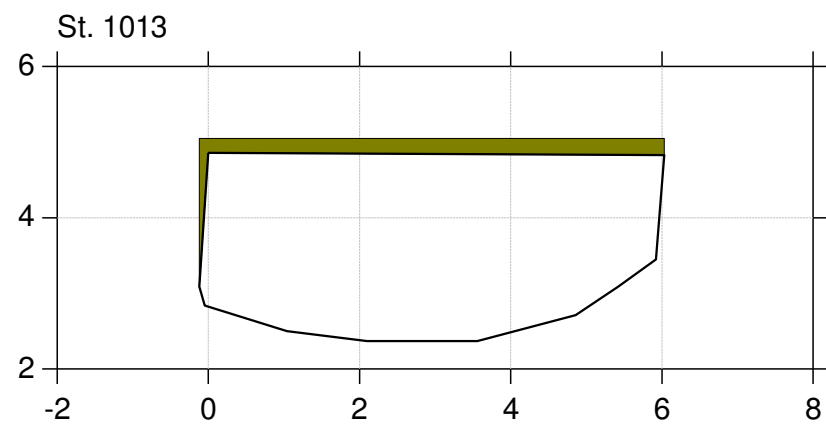
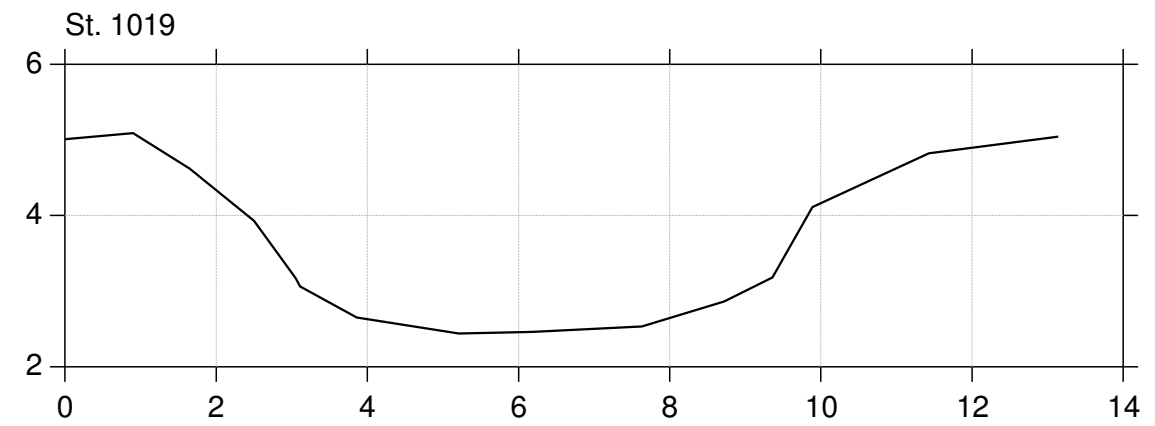
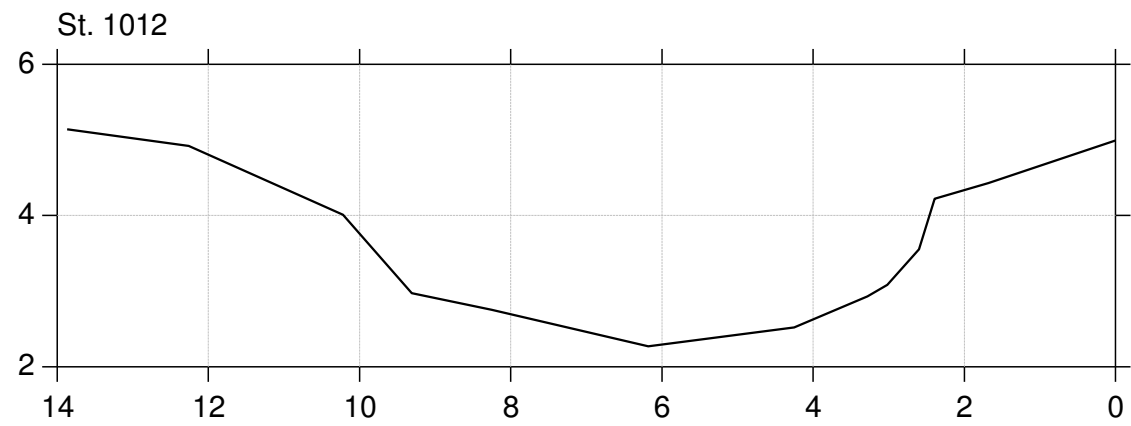
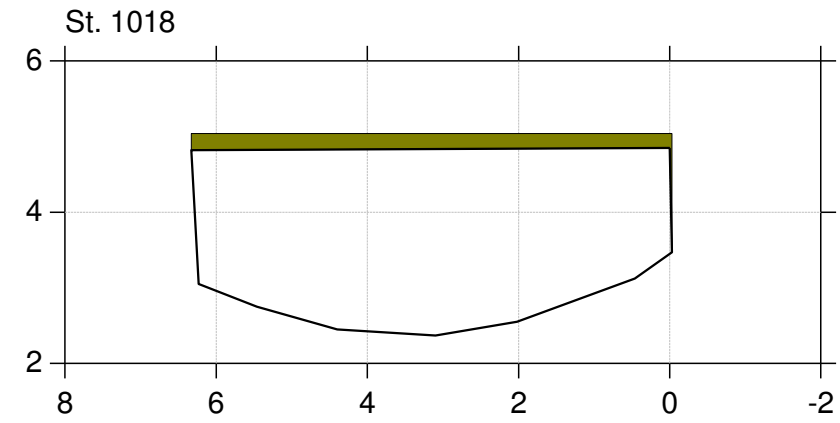
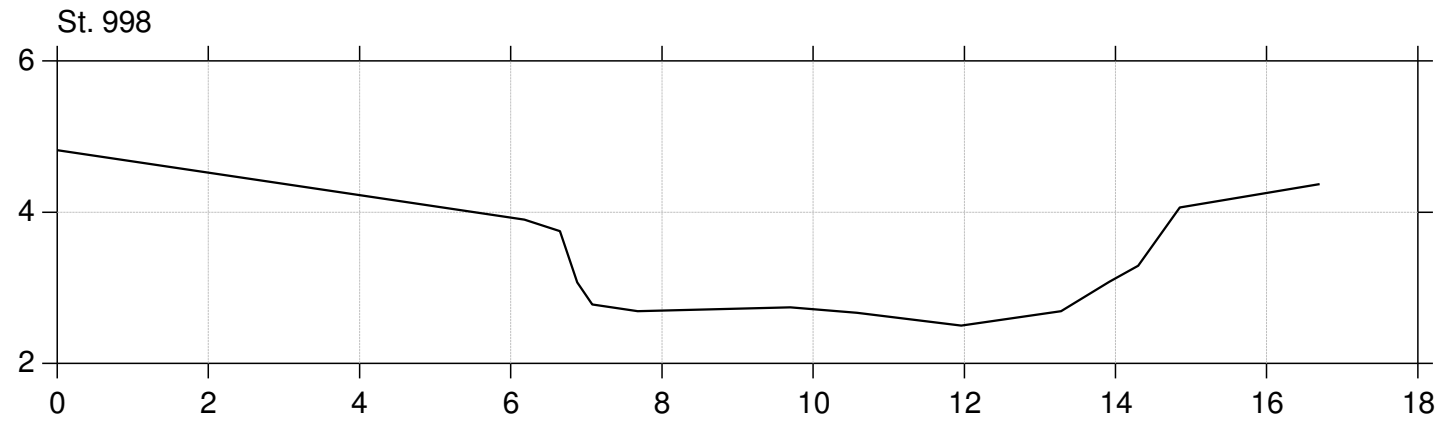


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020

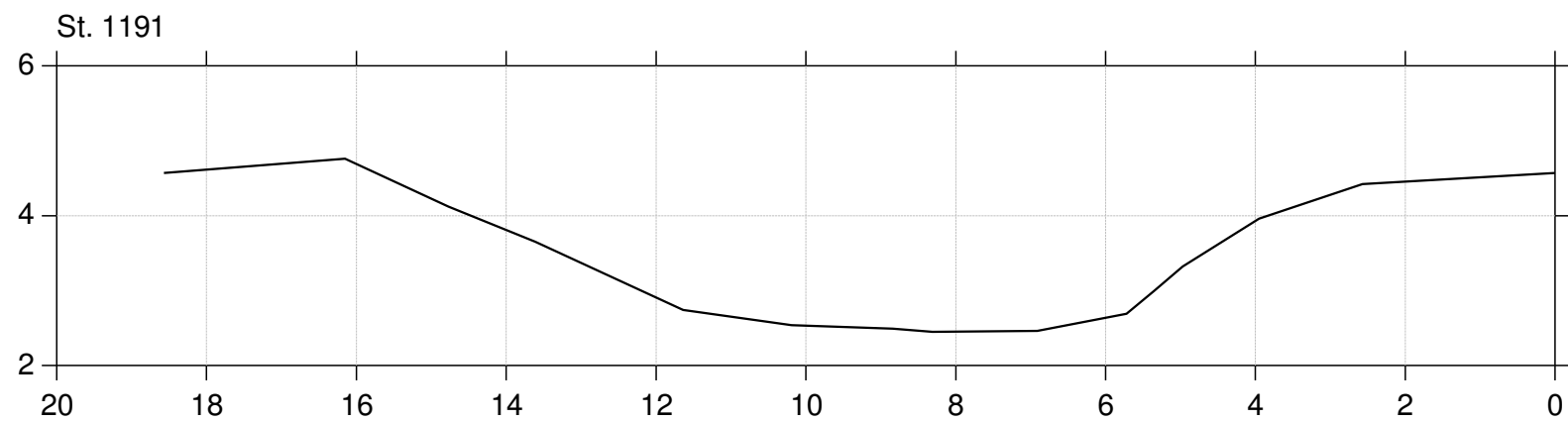
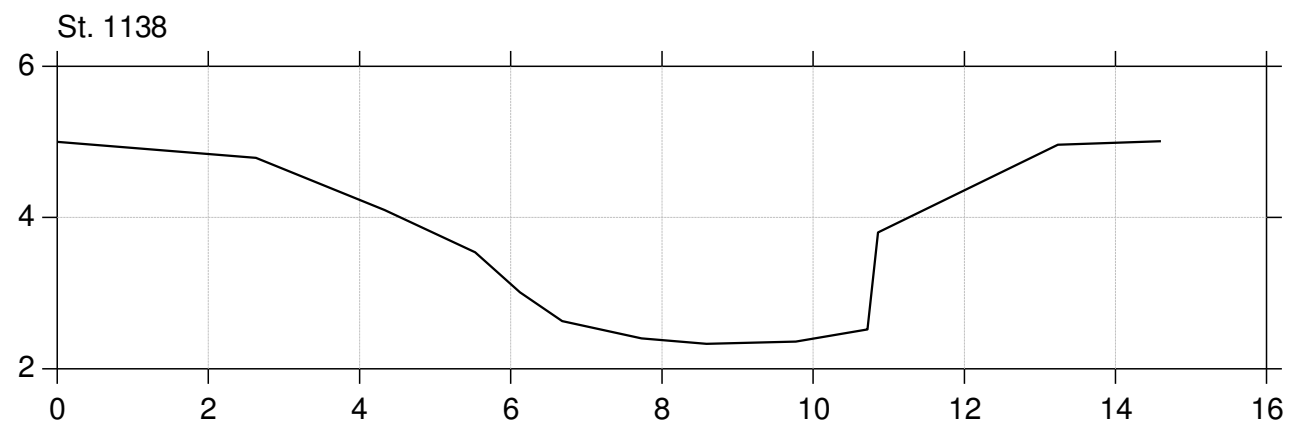
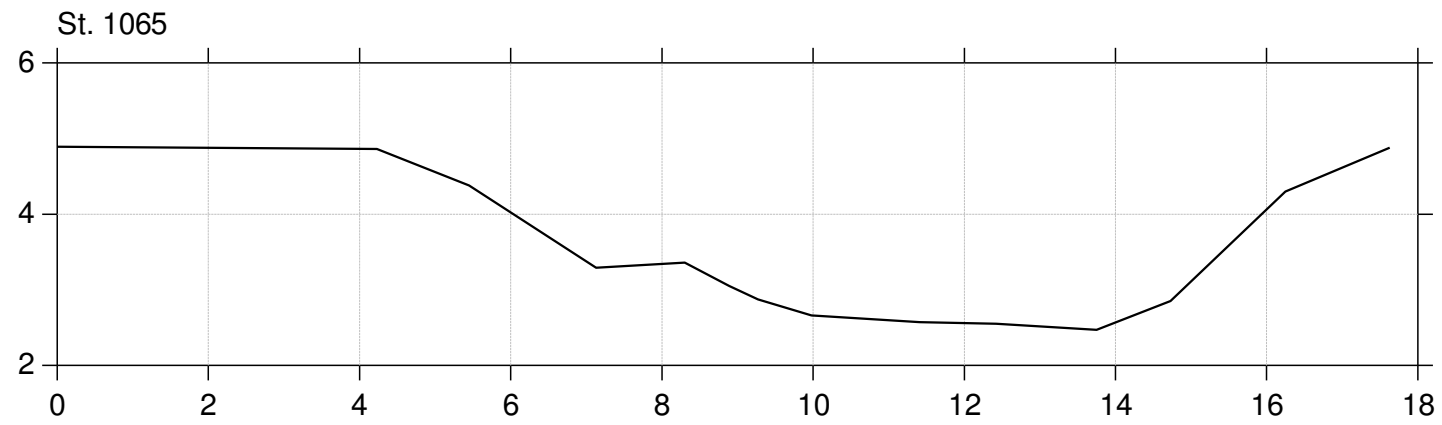


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020

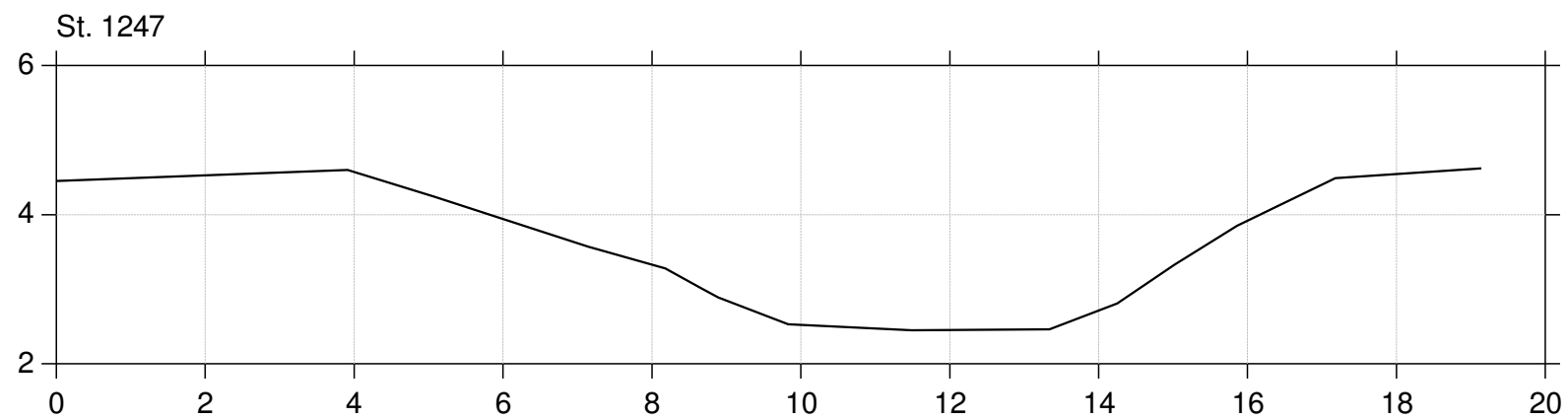
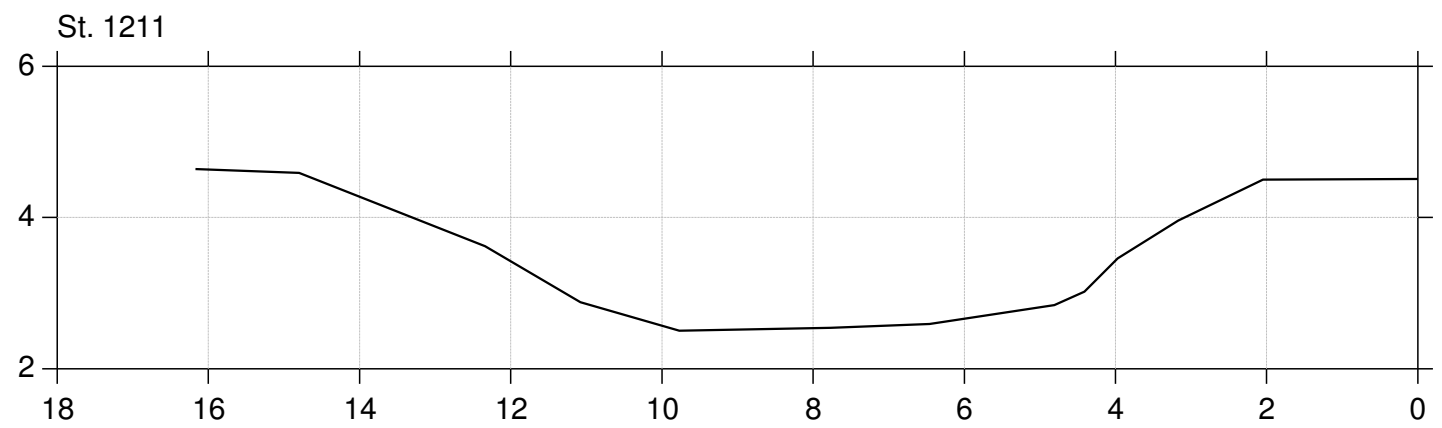
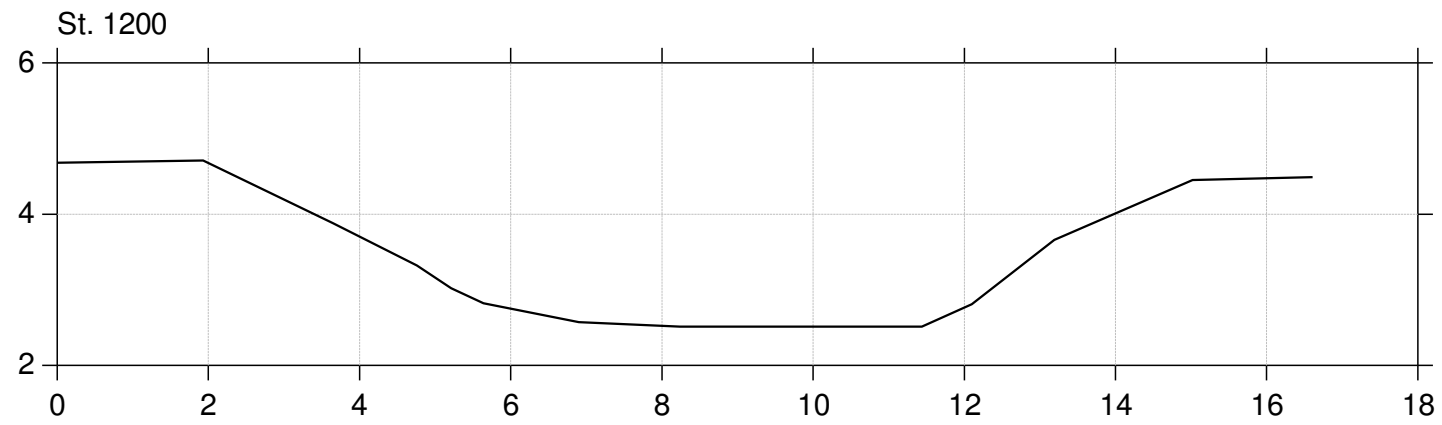


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020

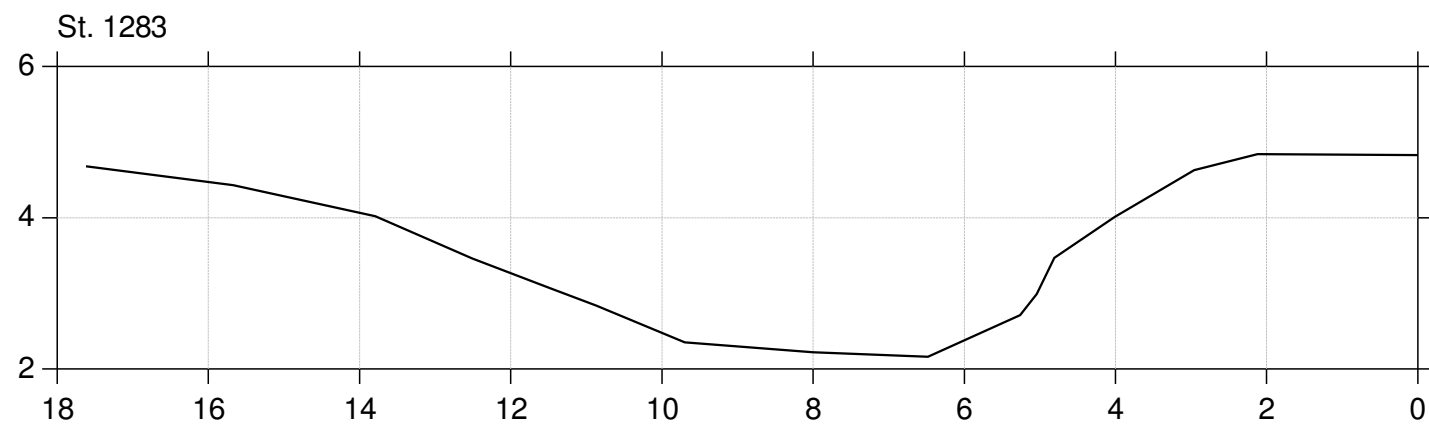
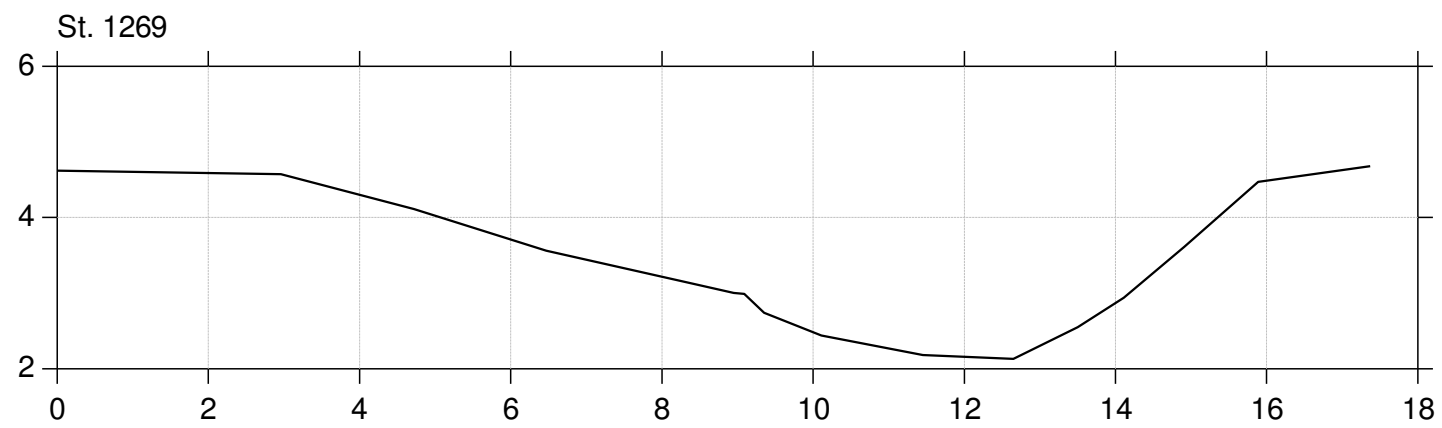
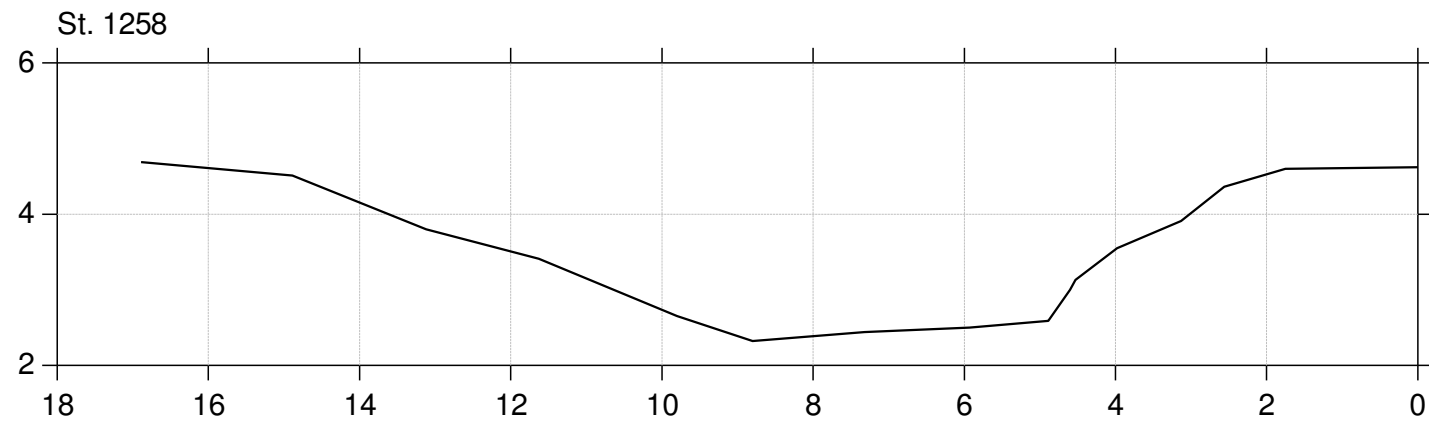


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020

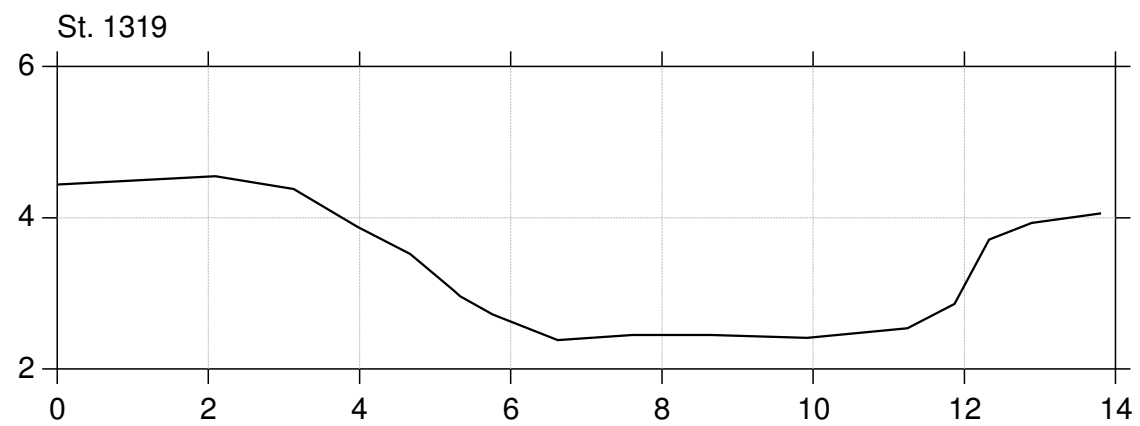
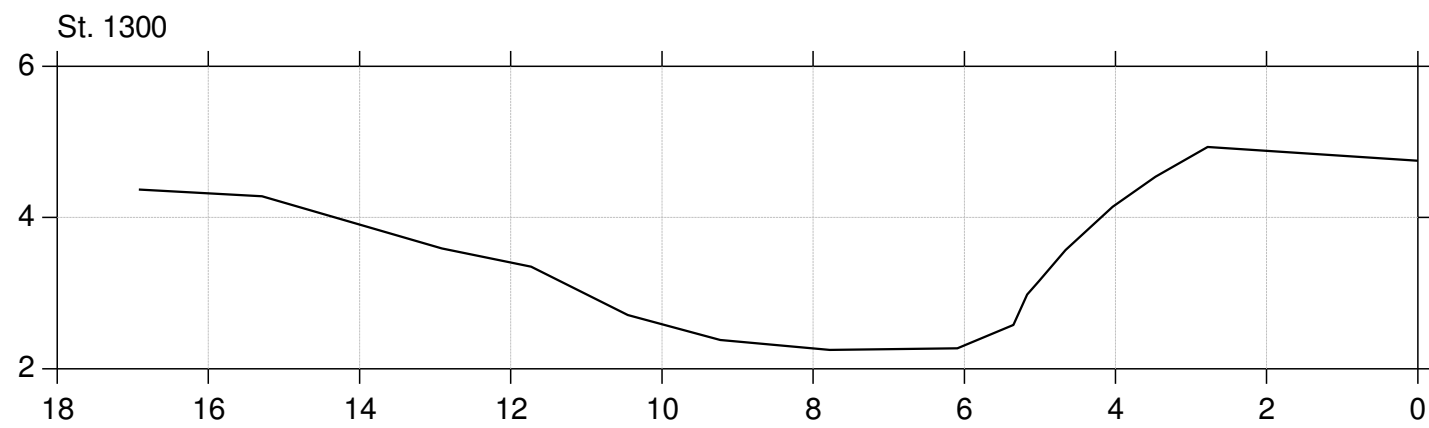
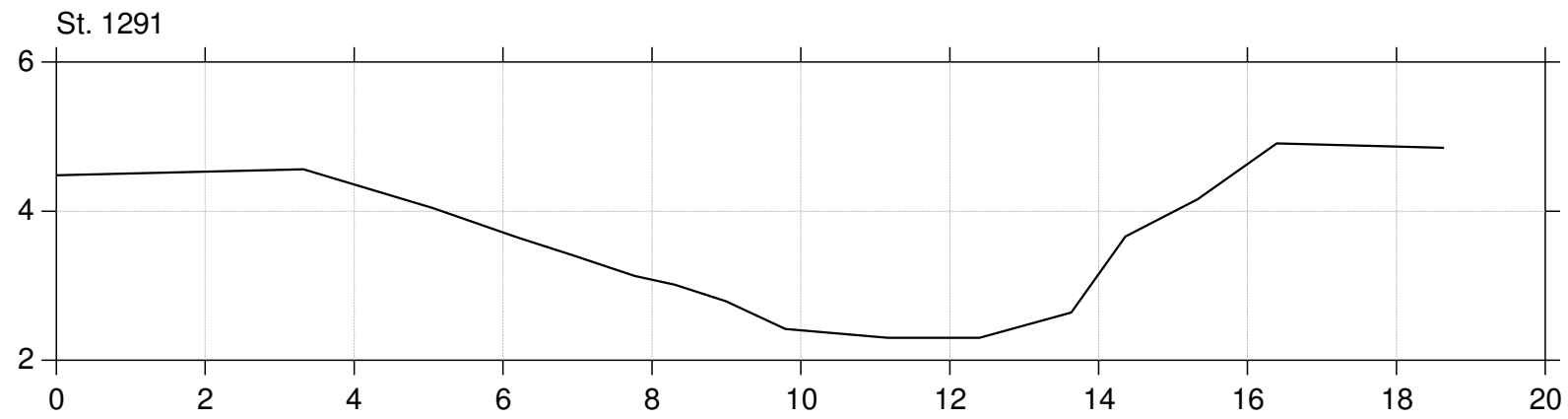


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020



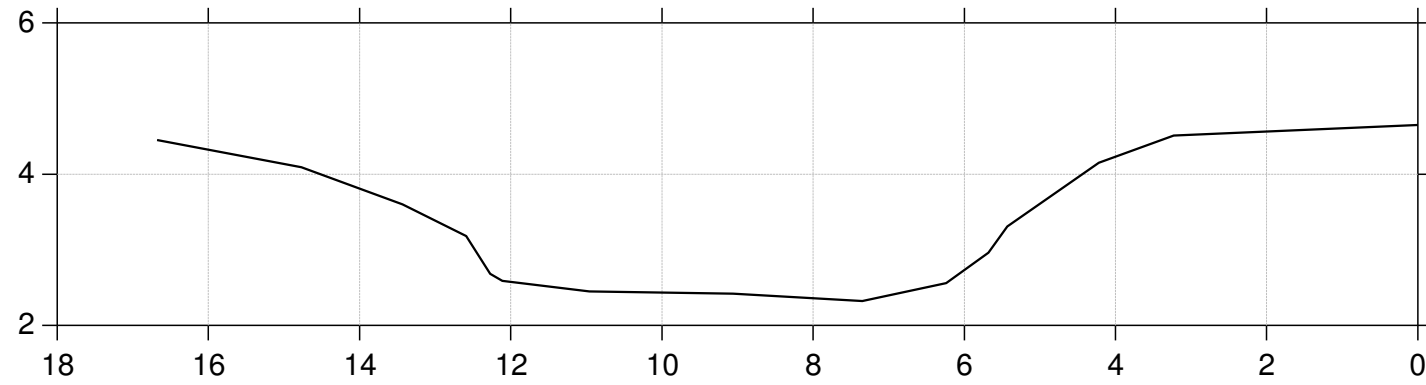
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

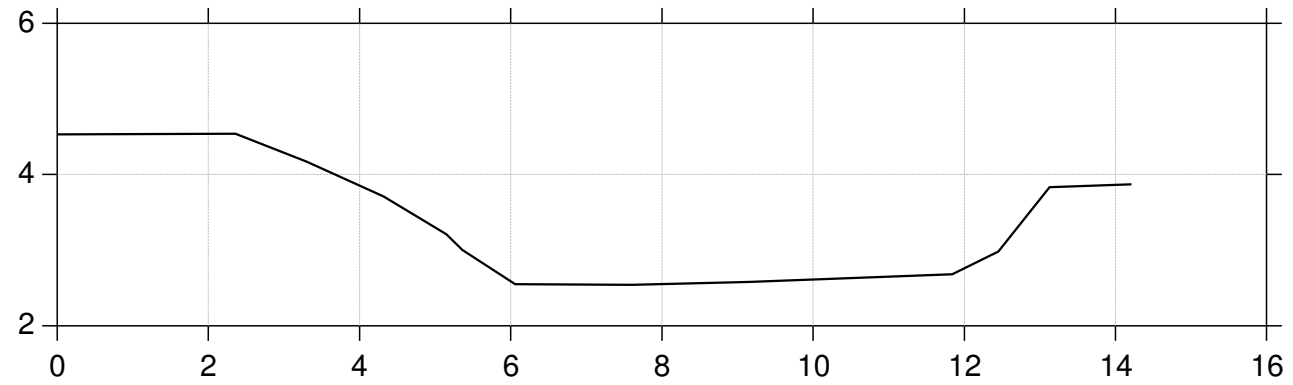
Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020

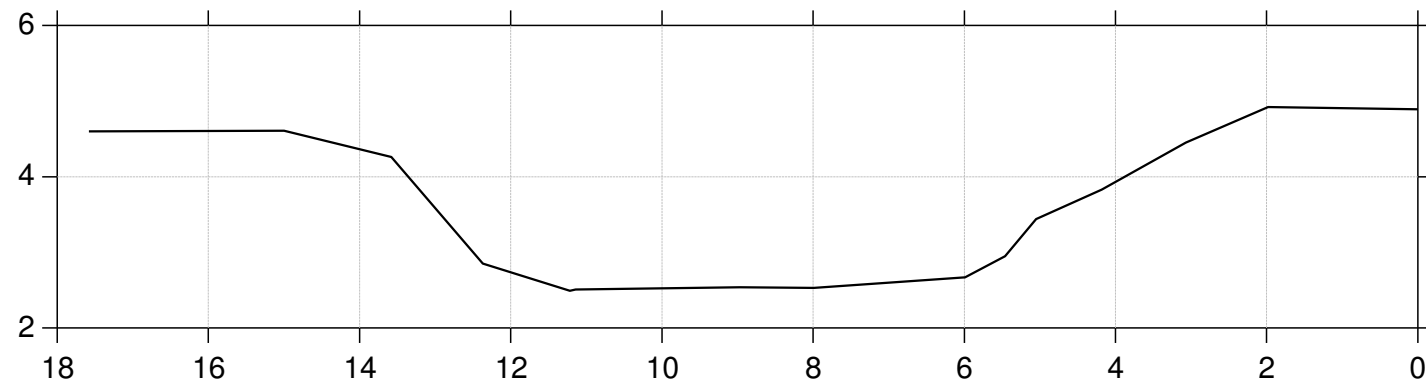
St. 1338



St. 1360



St. 1387

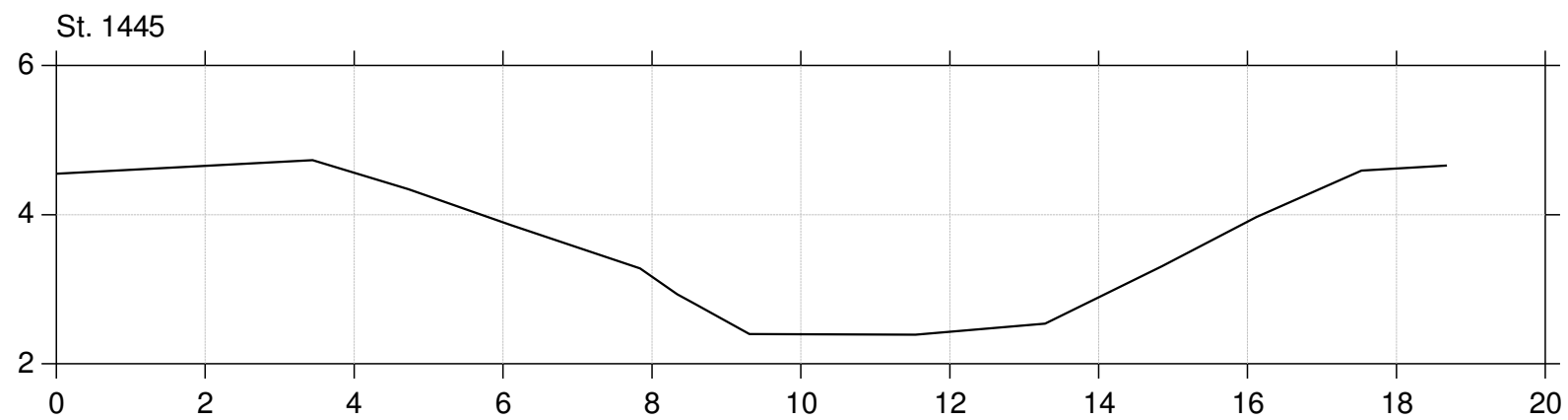
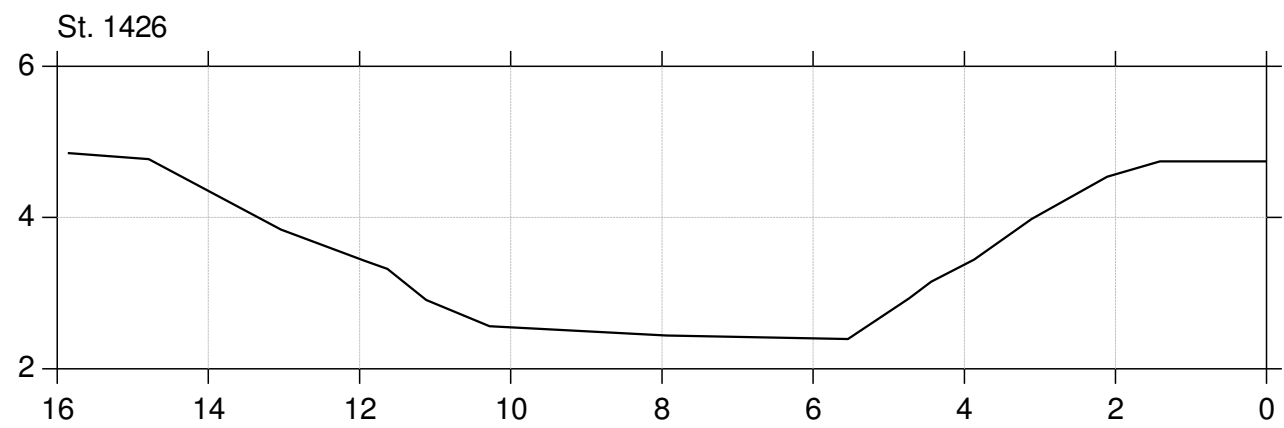
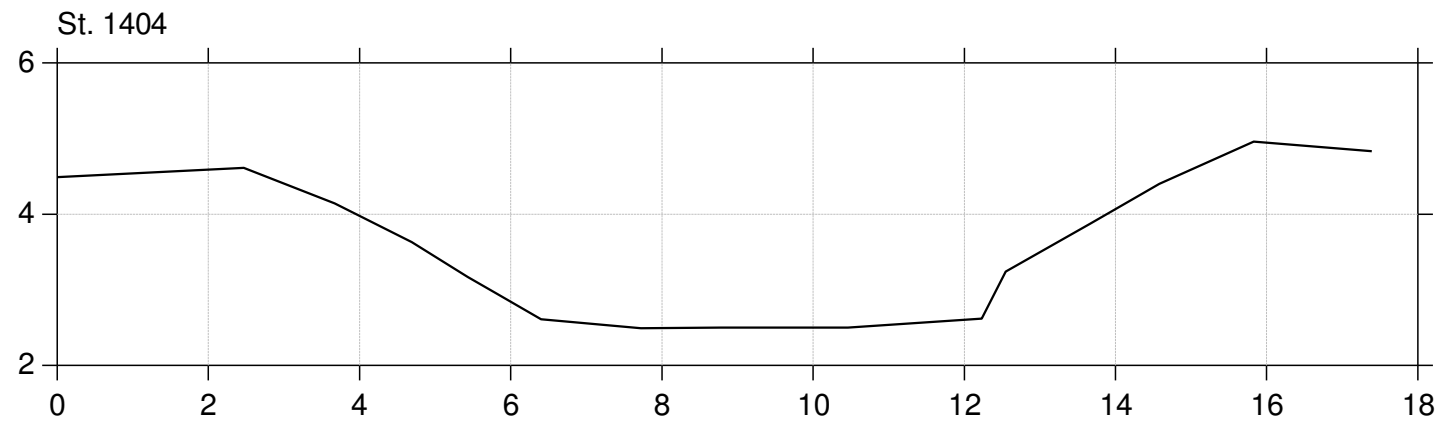


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020

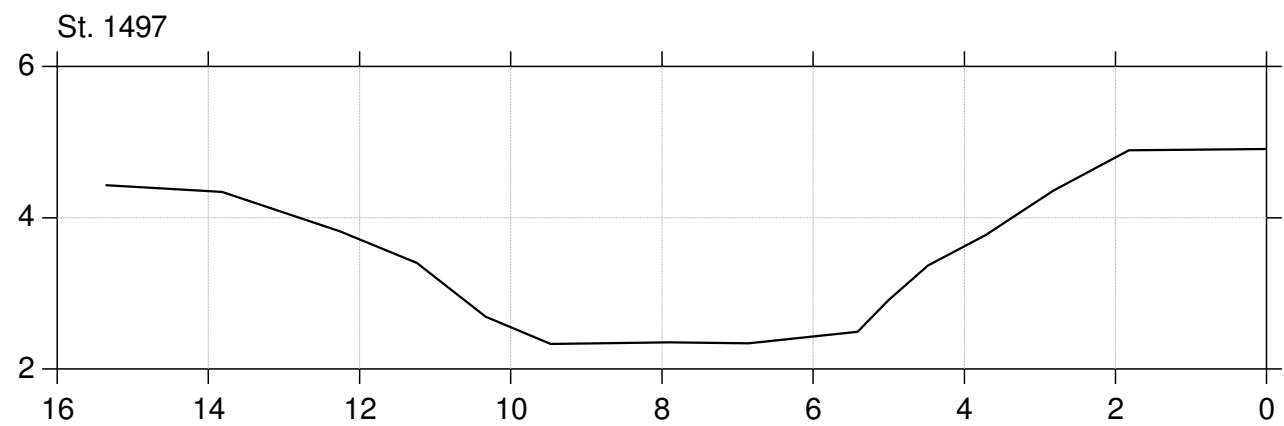
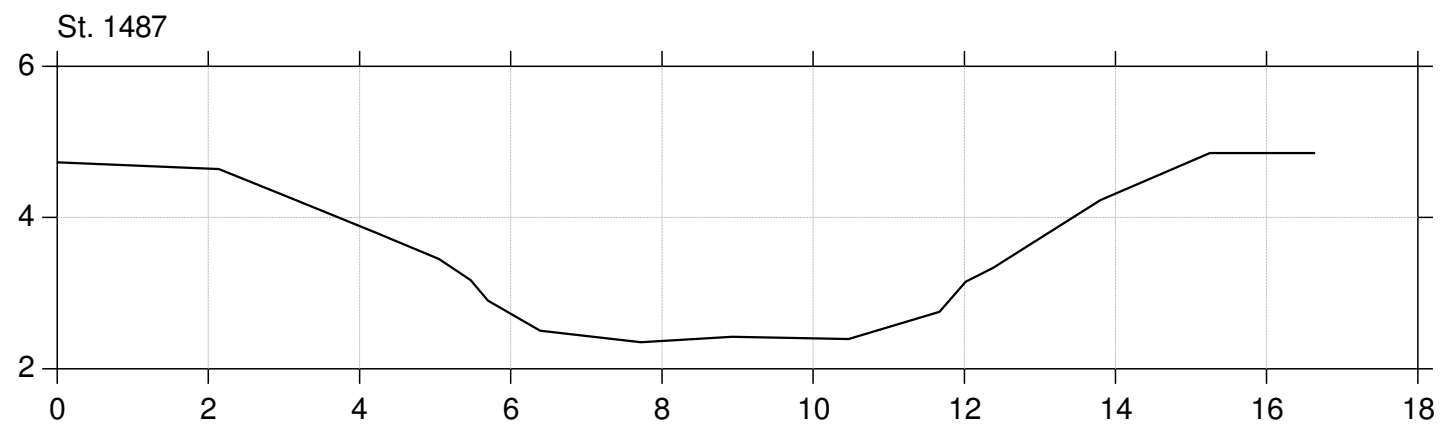
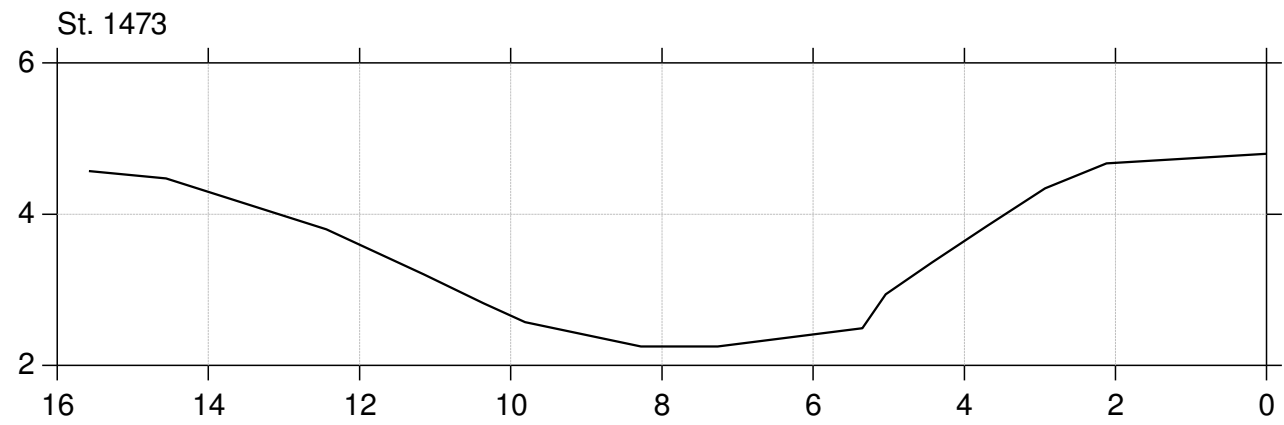


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020

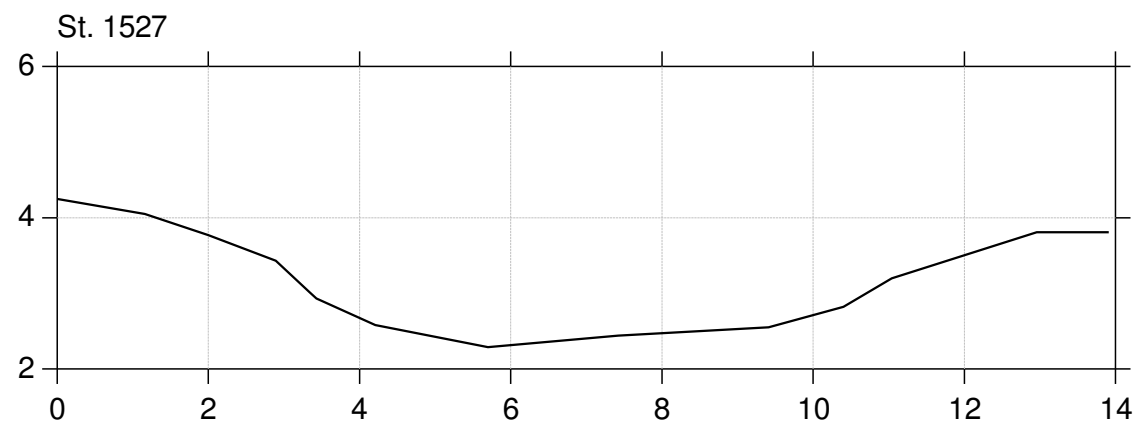
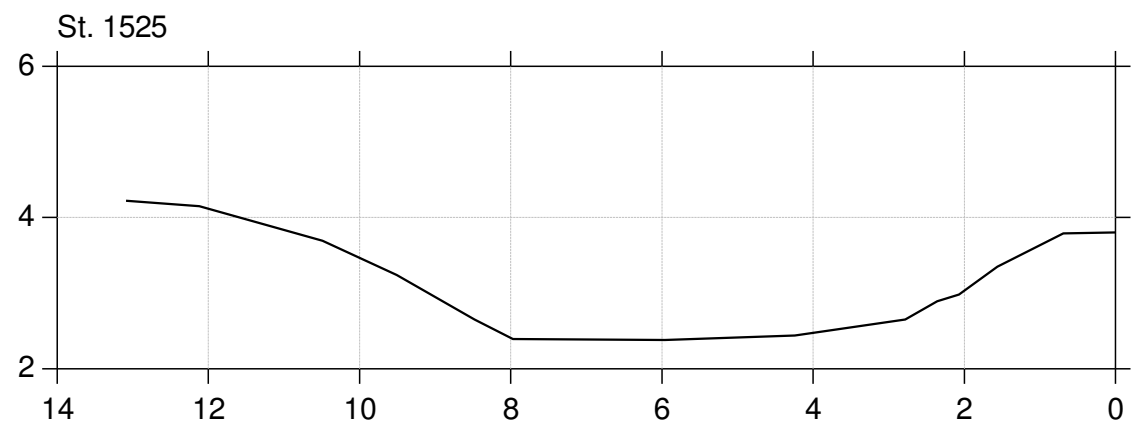
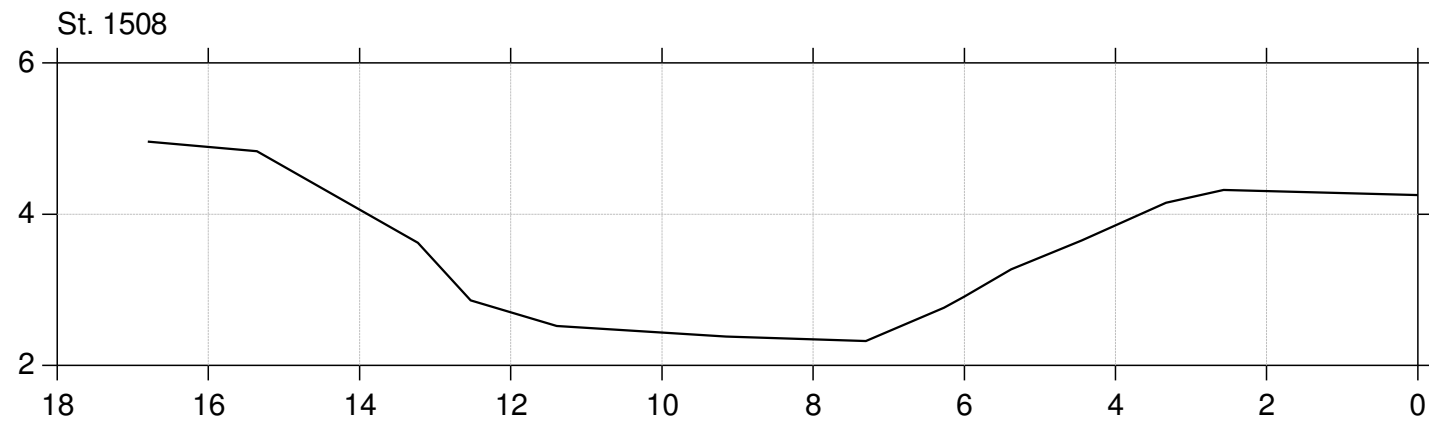


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020

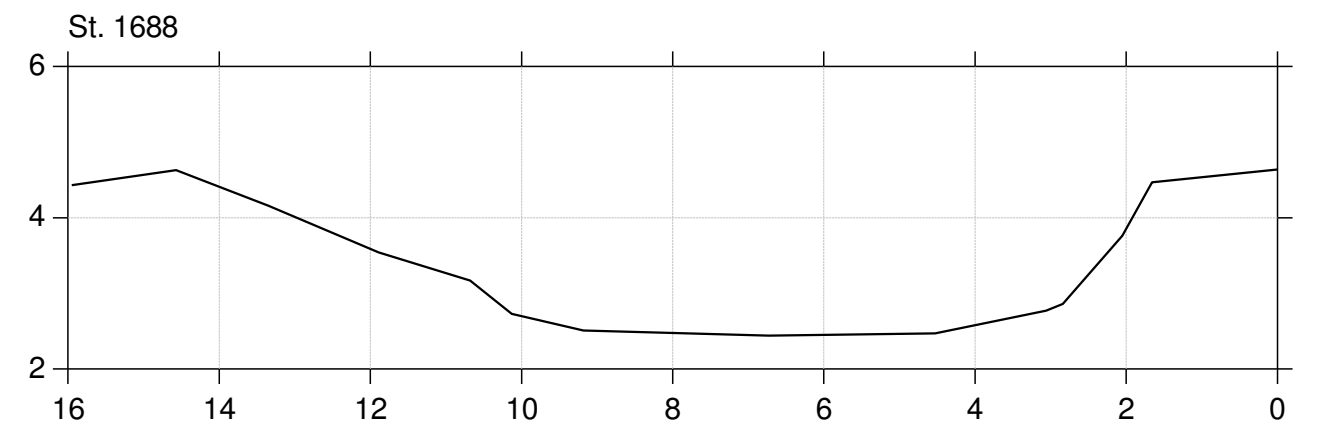
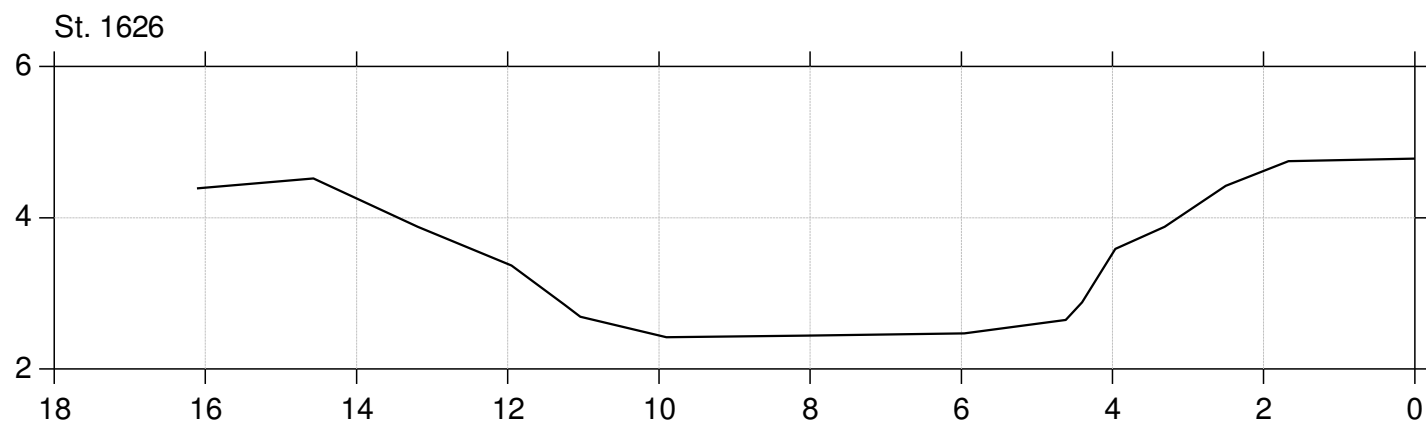
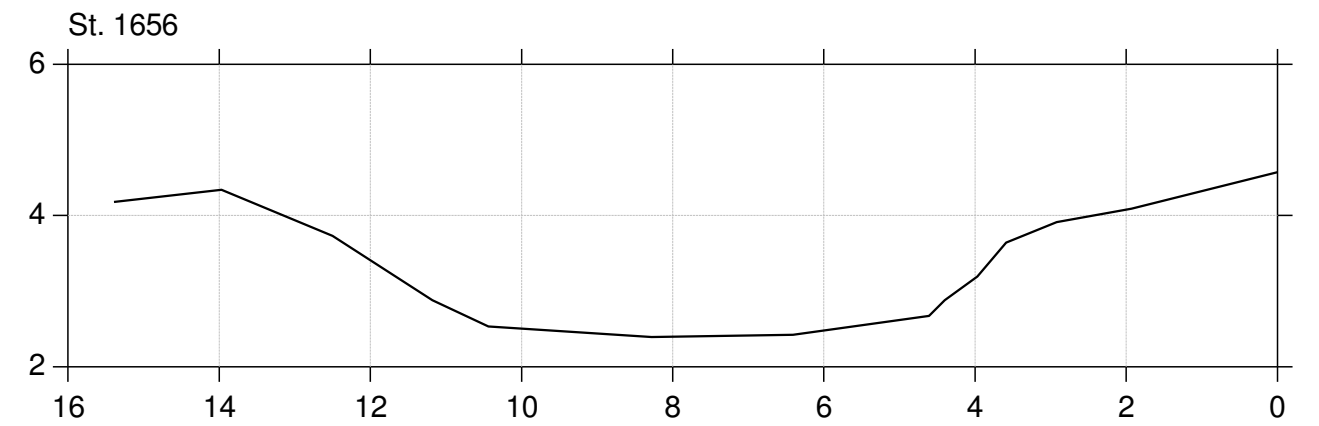
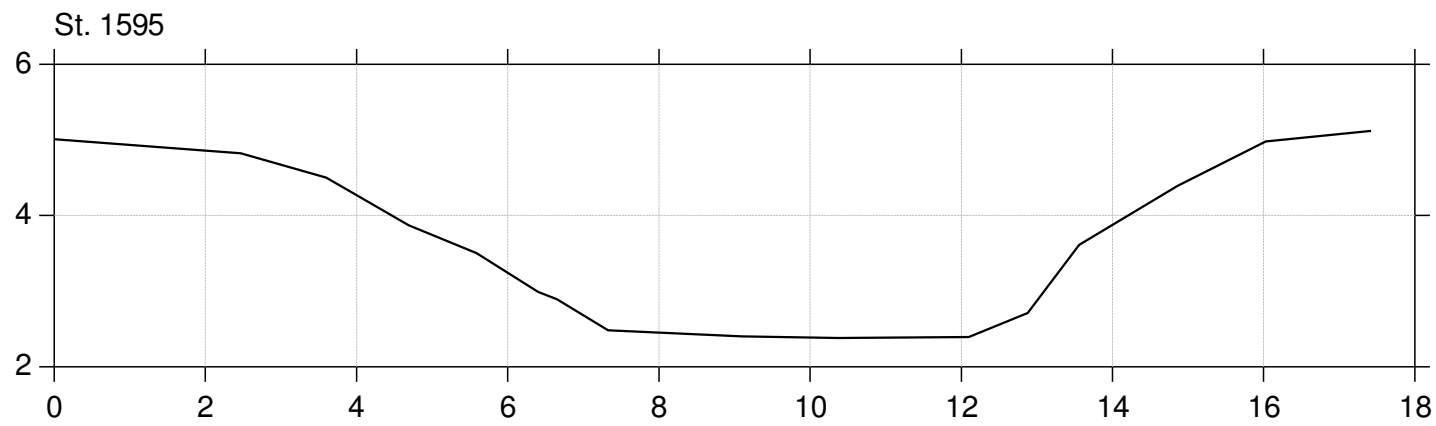
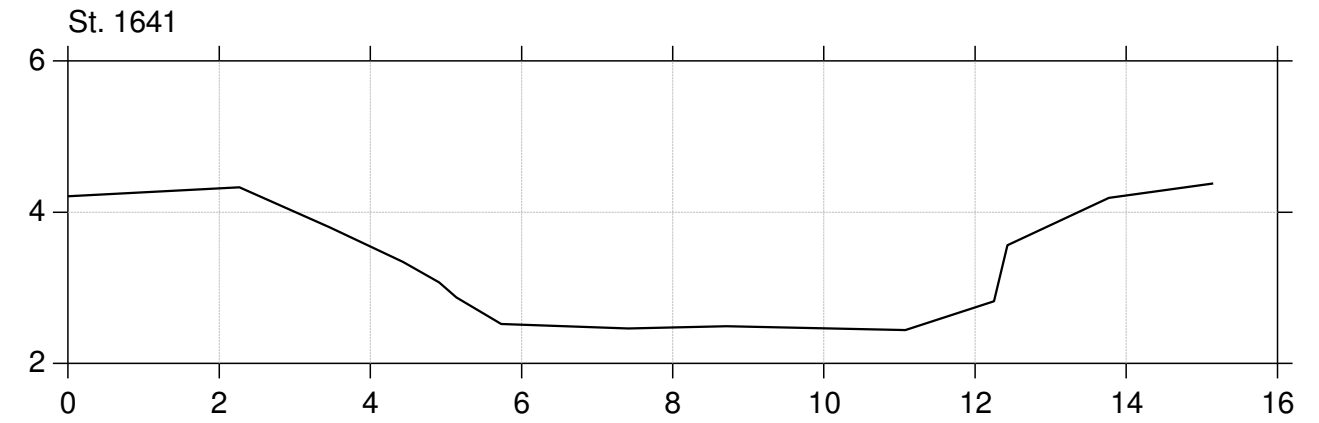
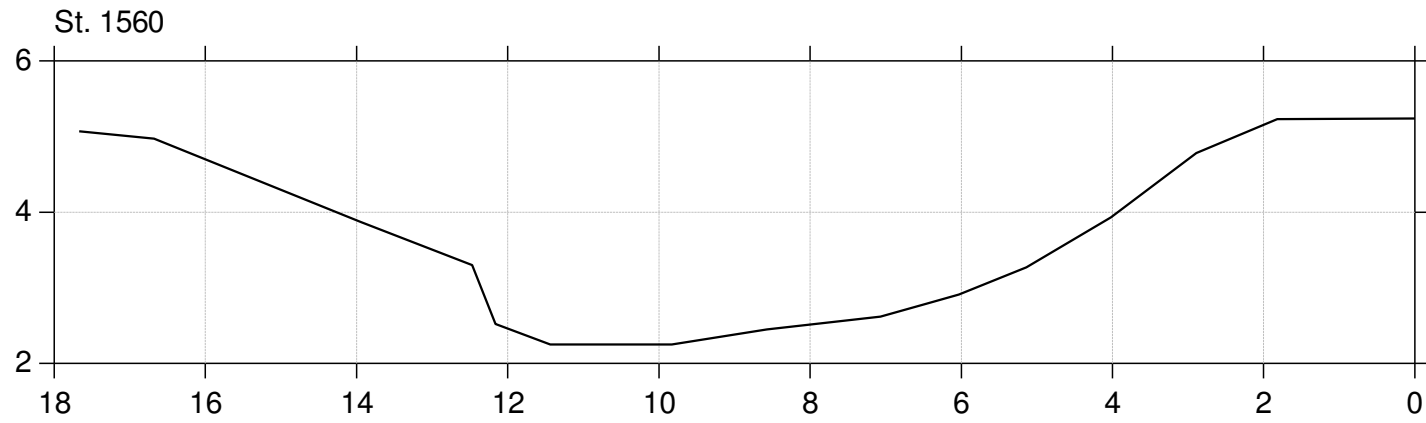


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020

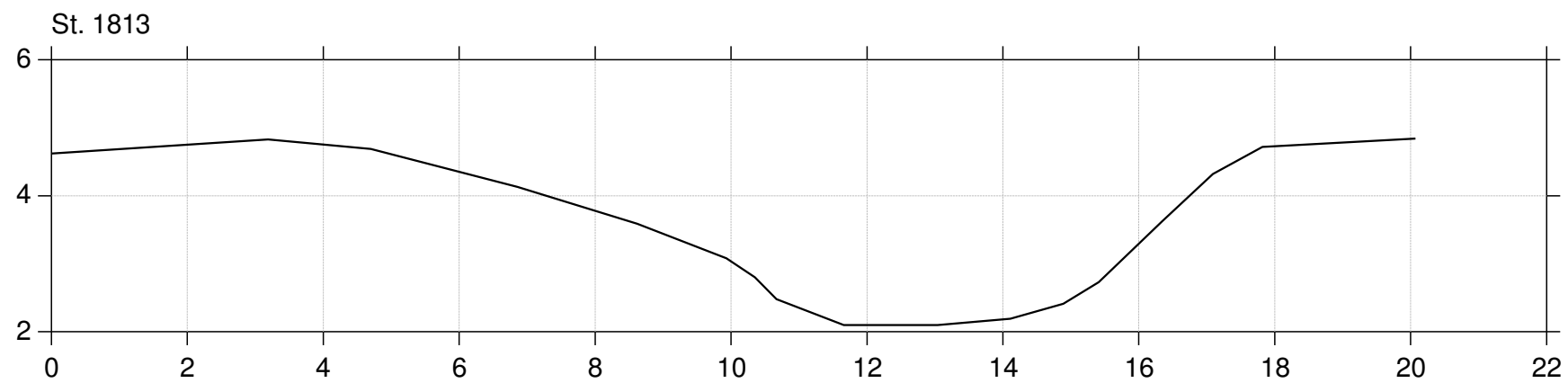
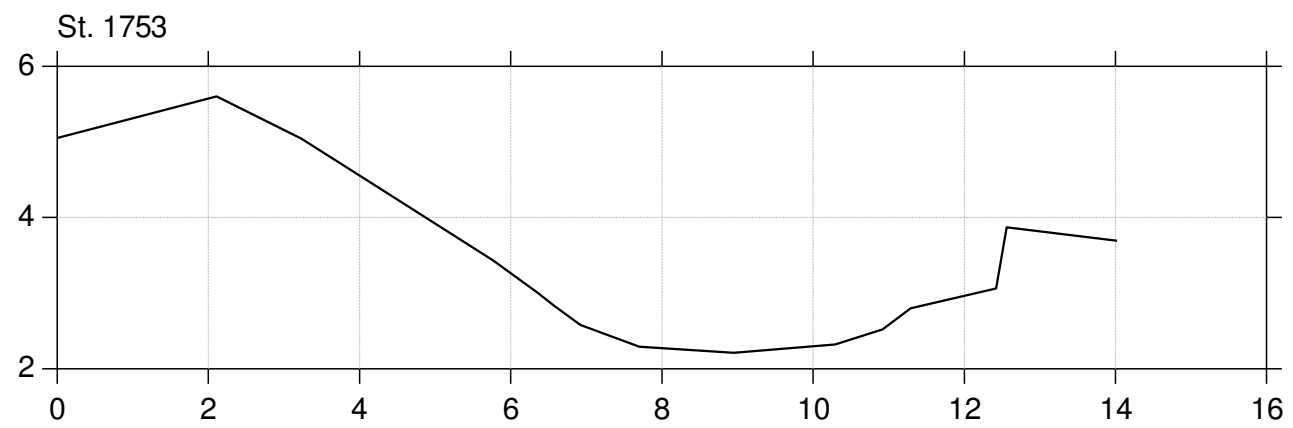
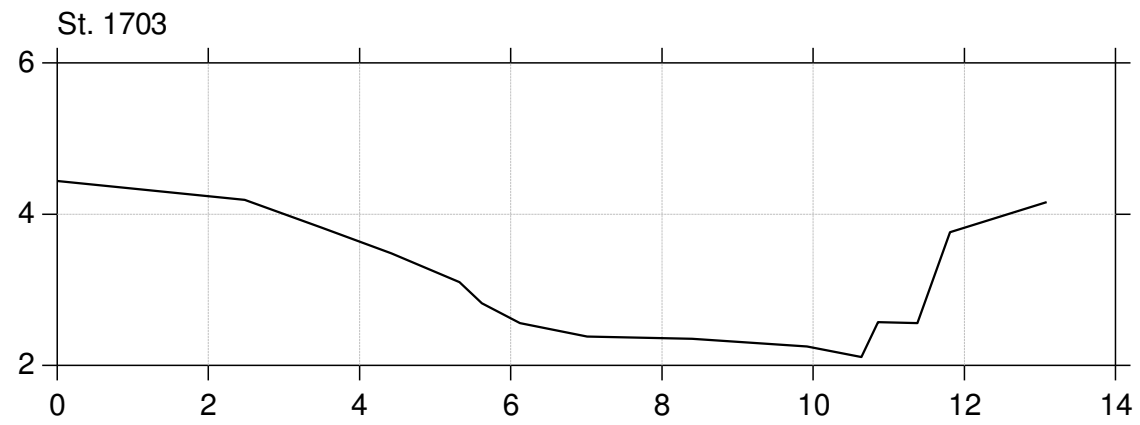


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020

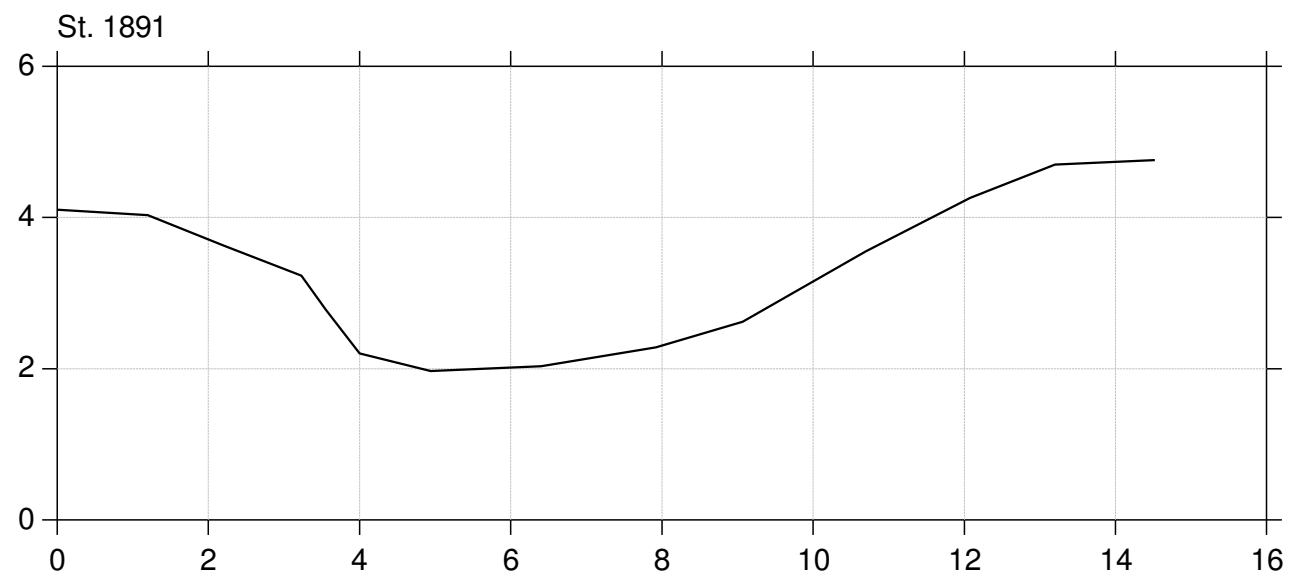
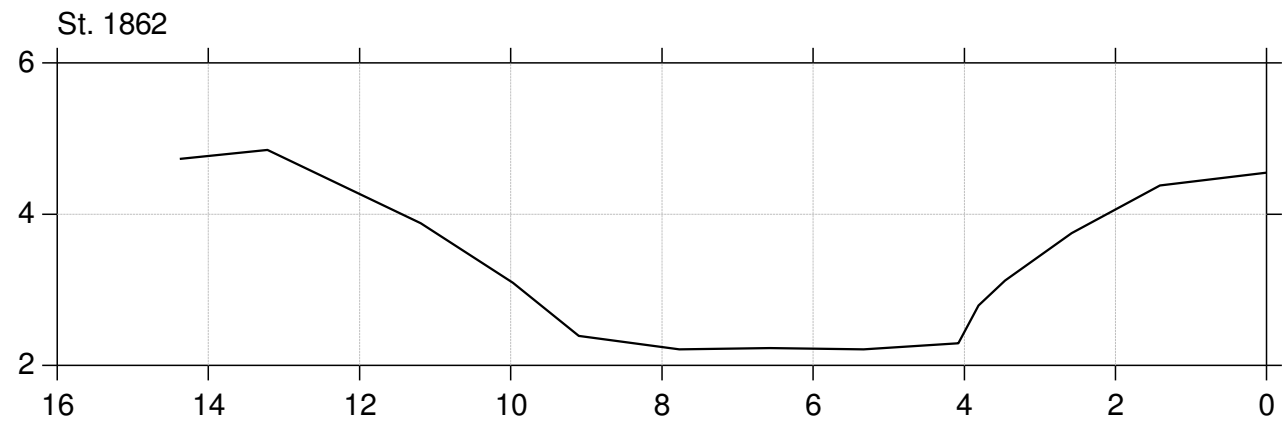


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020

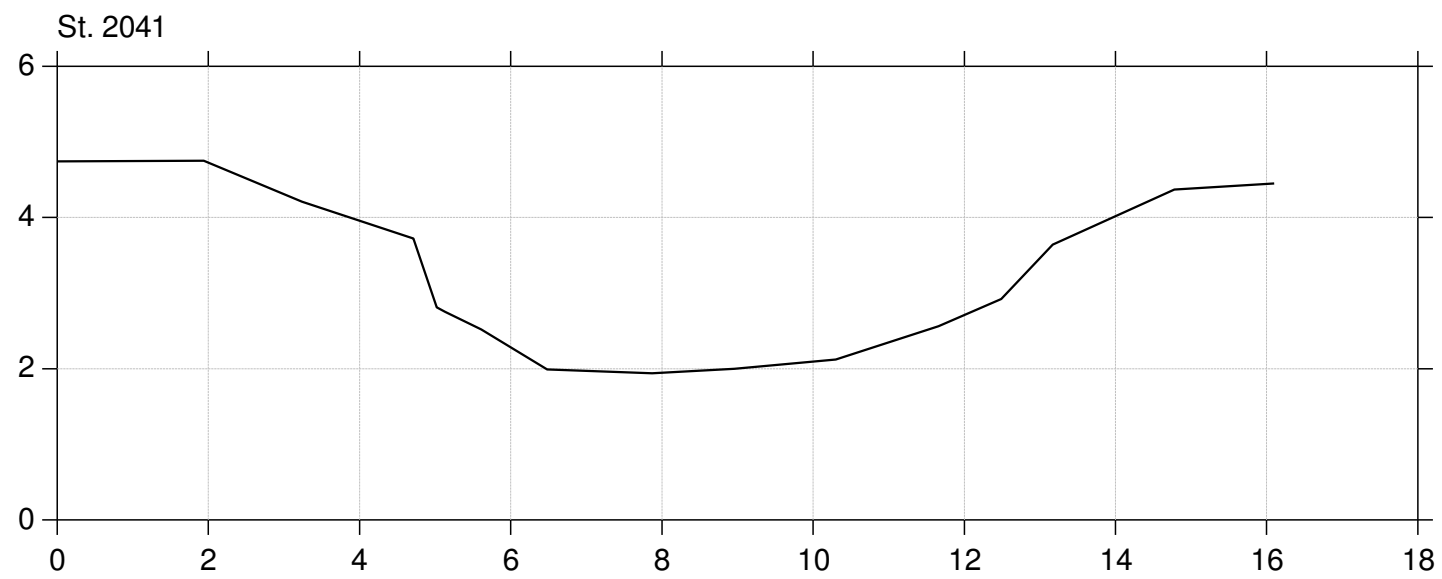
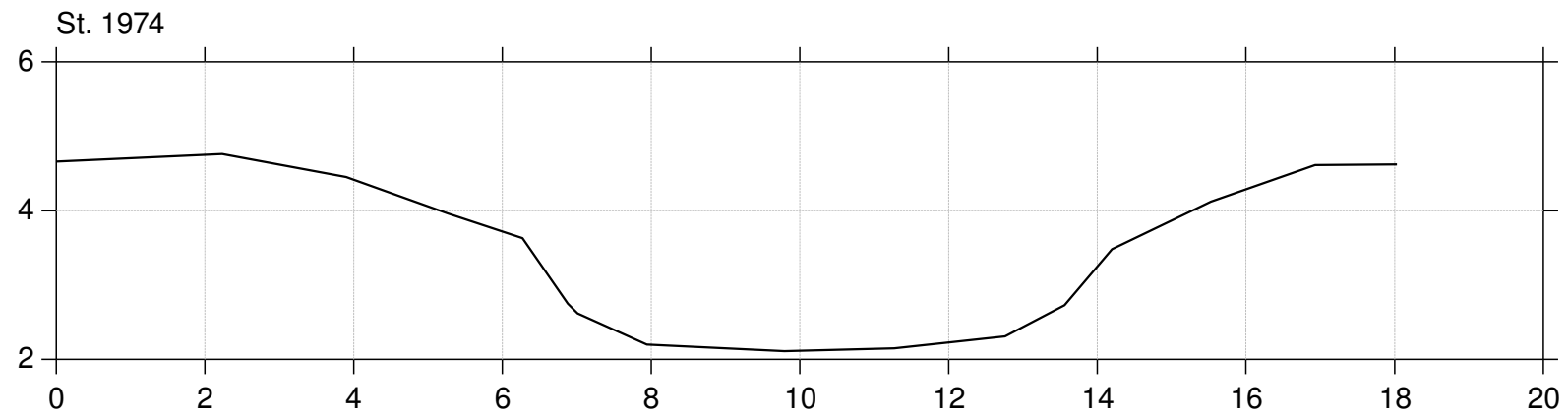


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020

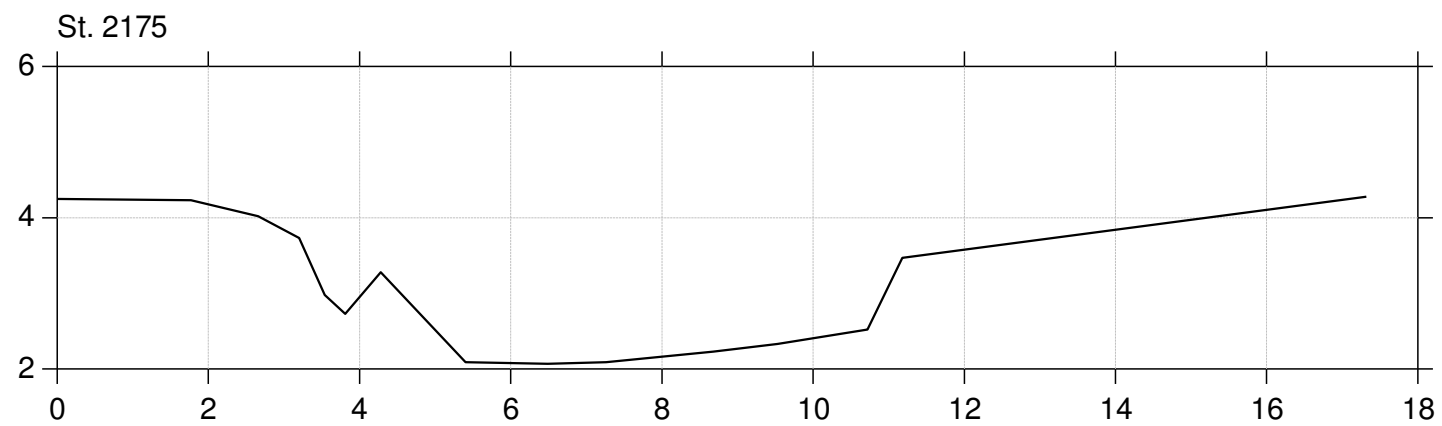
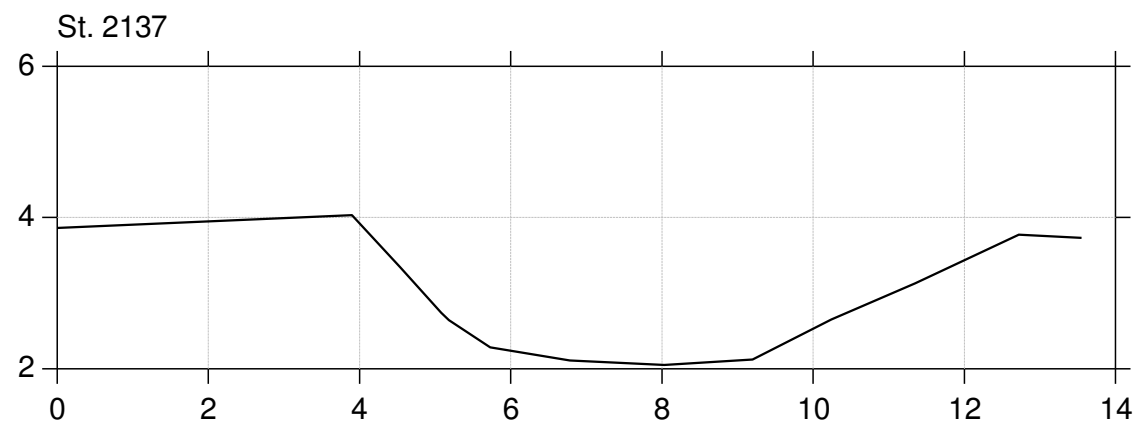
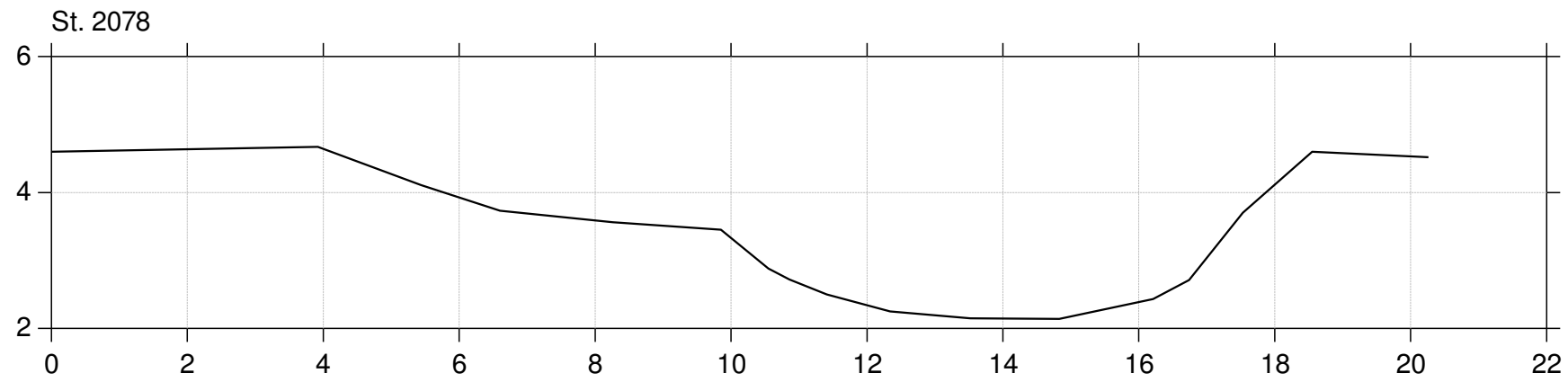


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020

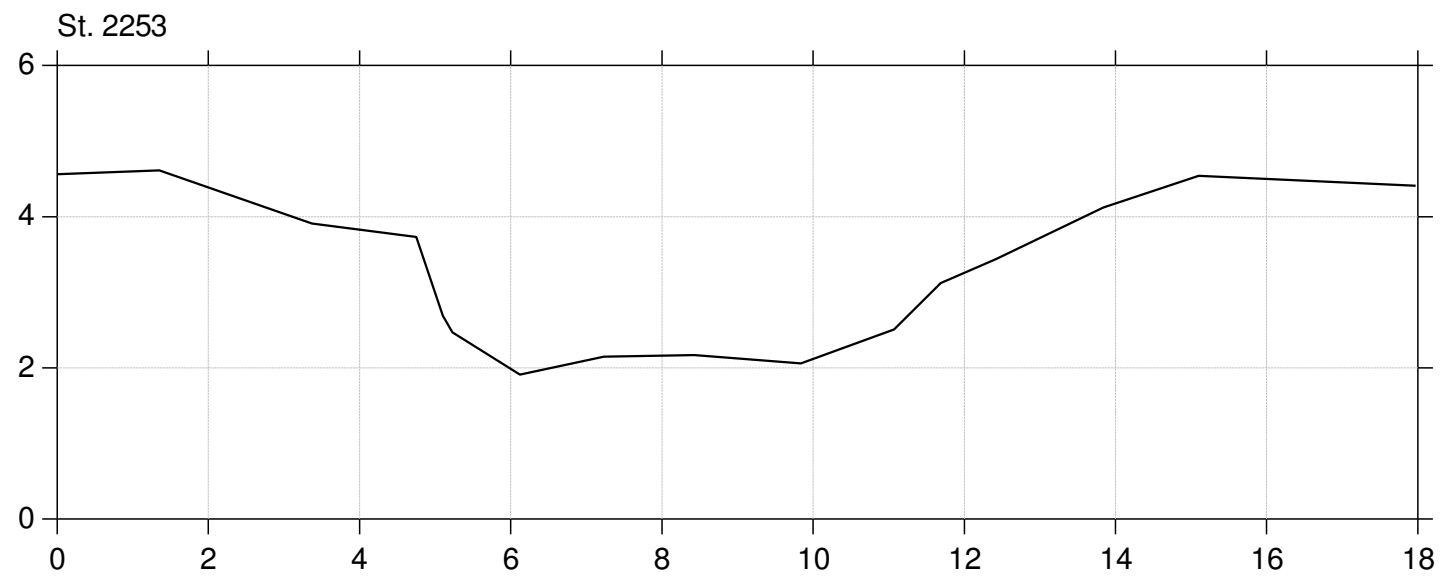
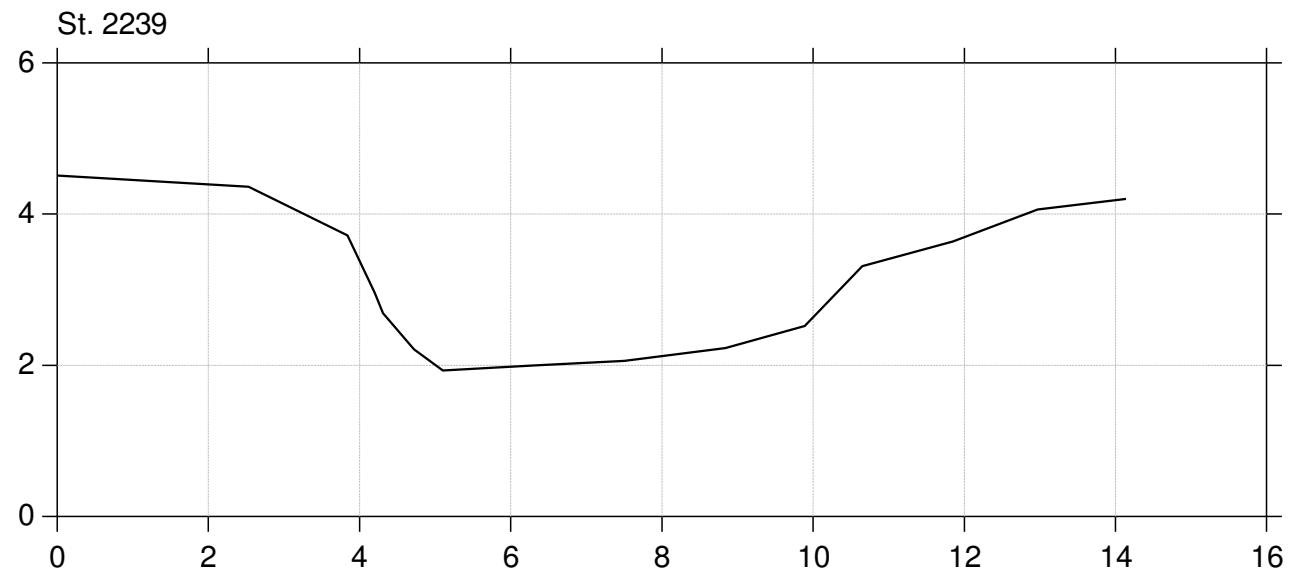


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

— Opmålt af LE34, april 2020

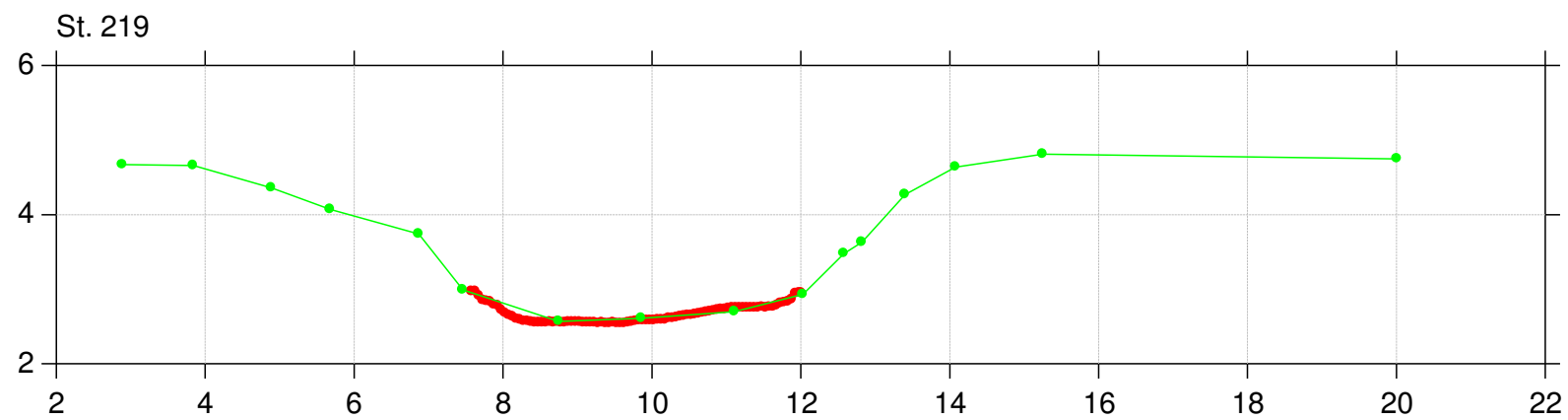
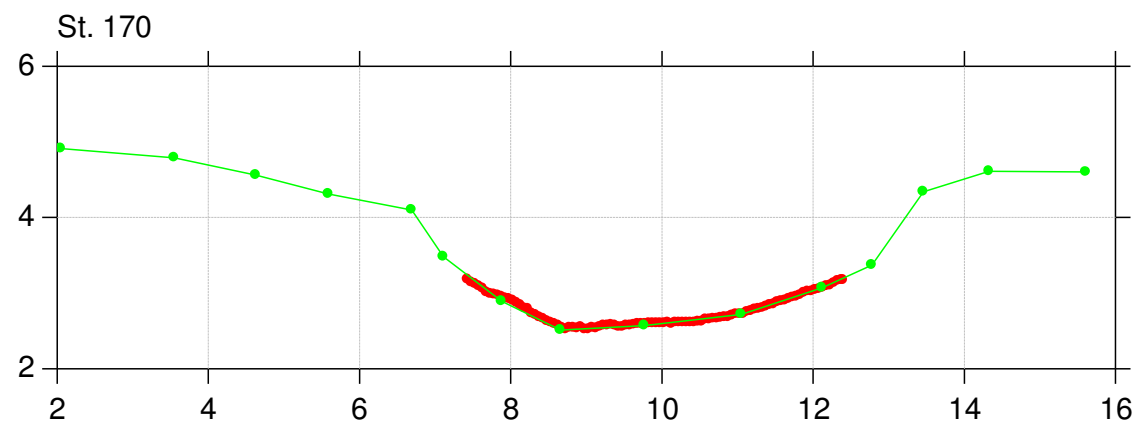
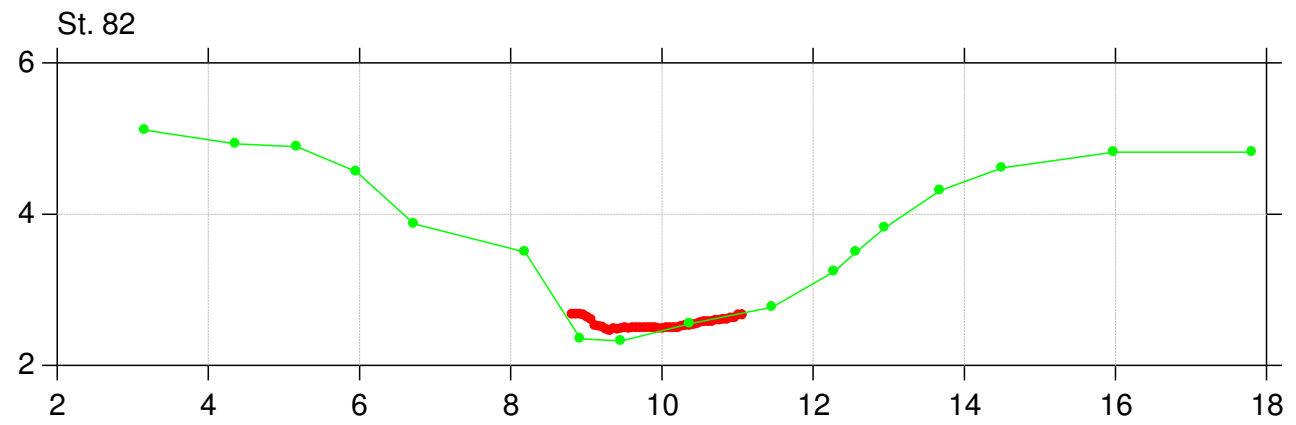


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

—●— Opmålt med GPS april 2020 af LE34
—●— M9 data

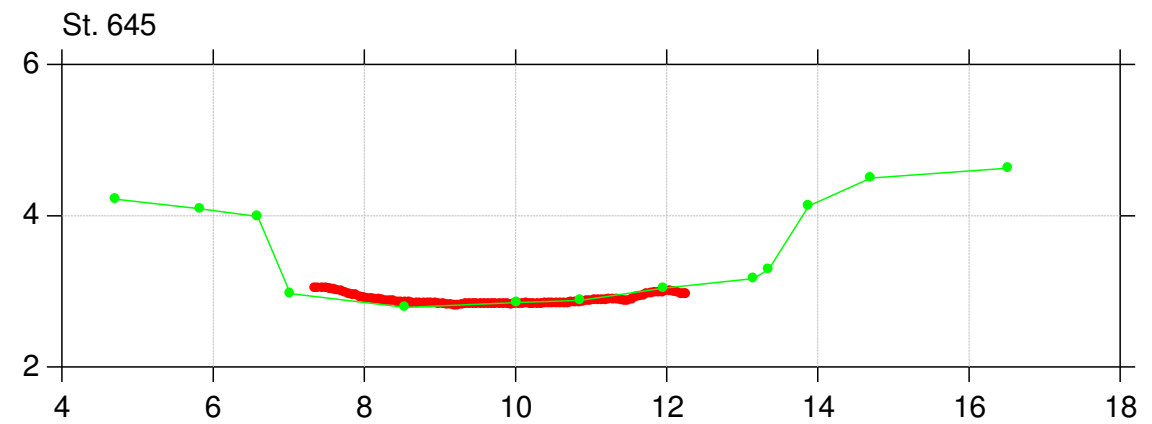
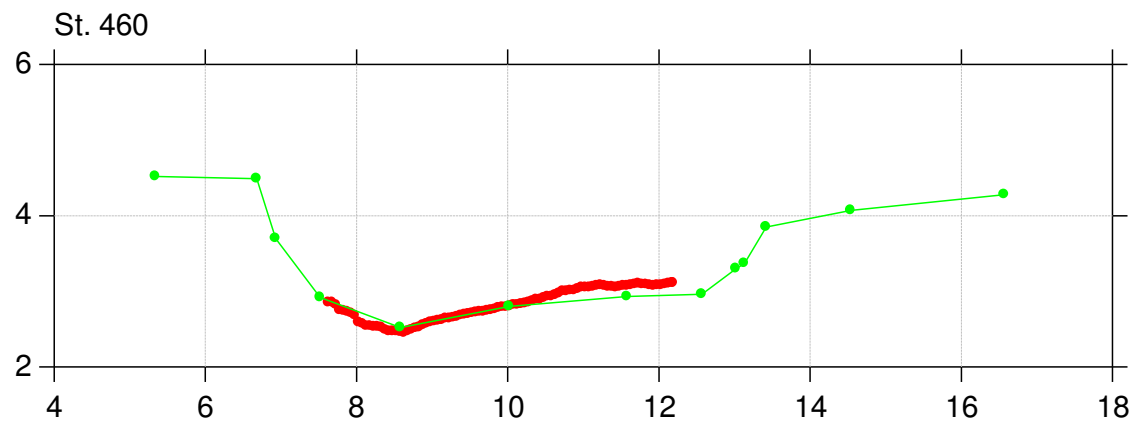
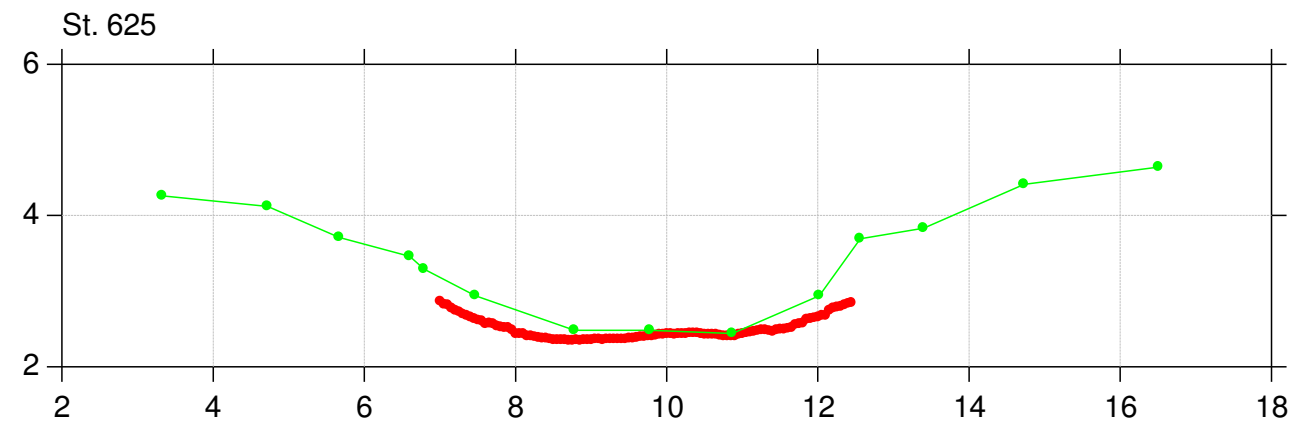
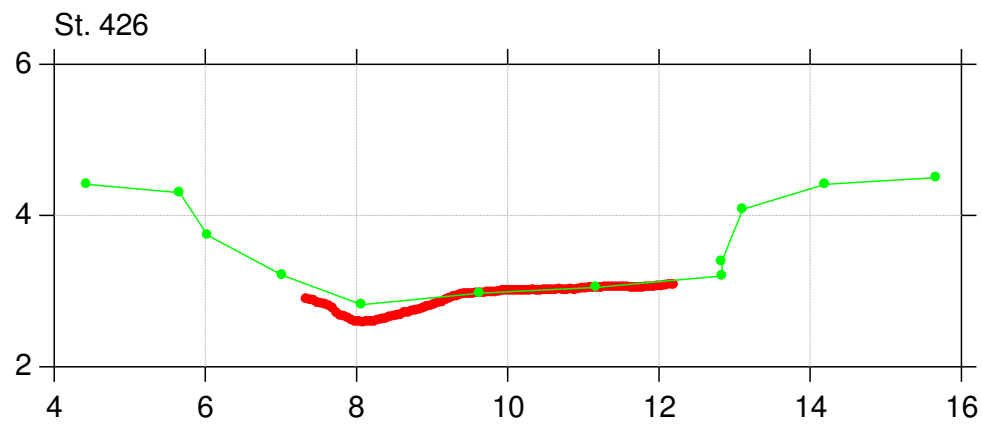
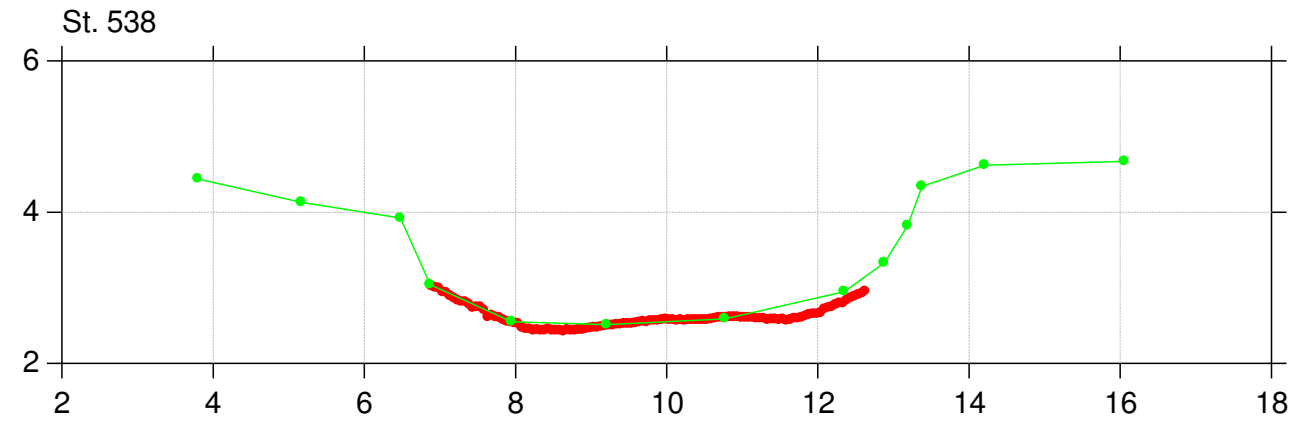
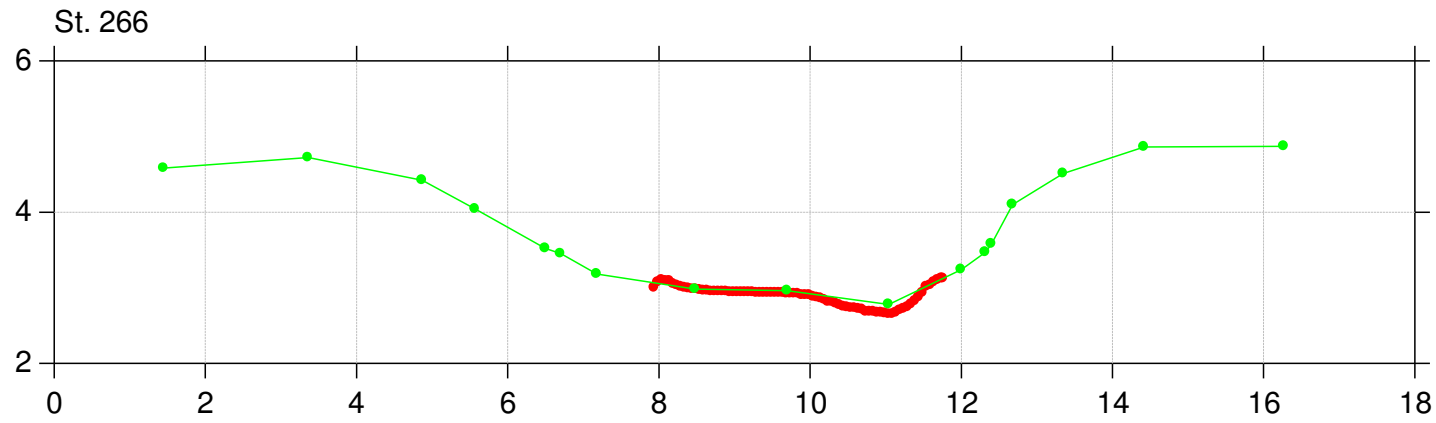


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

—●— Opmålt med GPS april 2020 af LE34
—●— M9 data

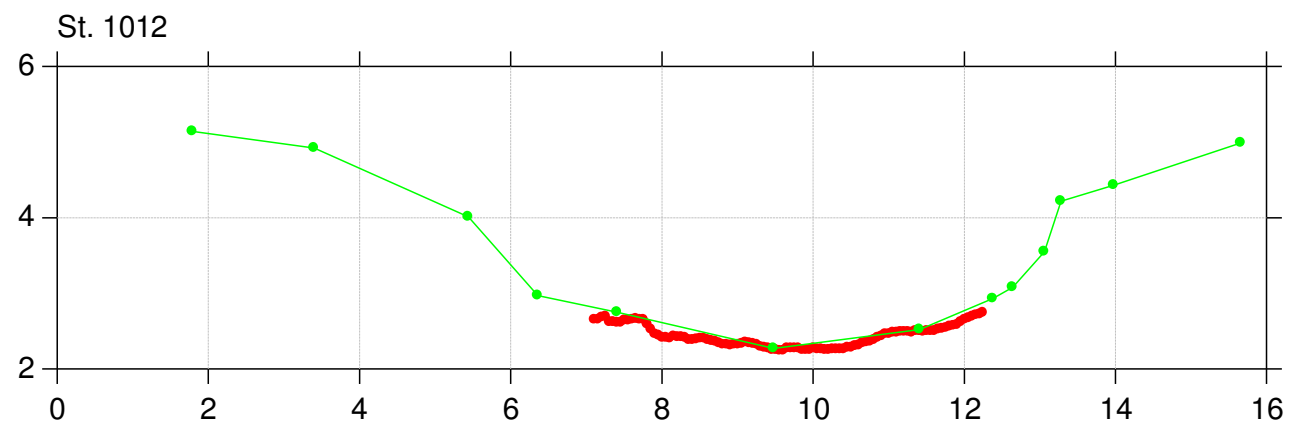
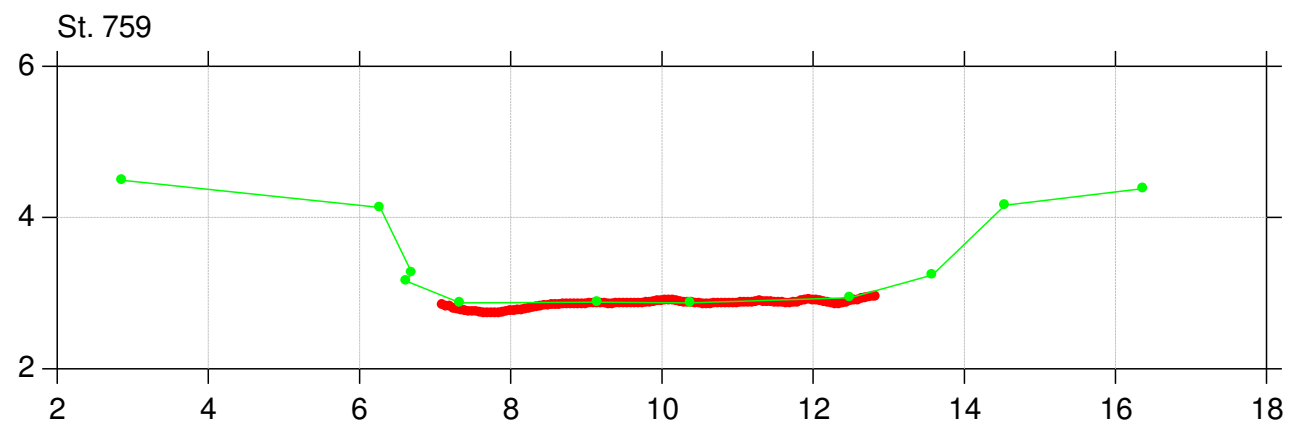
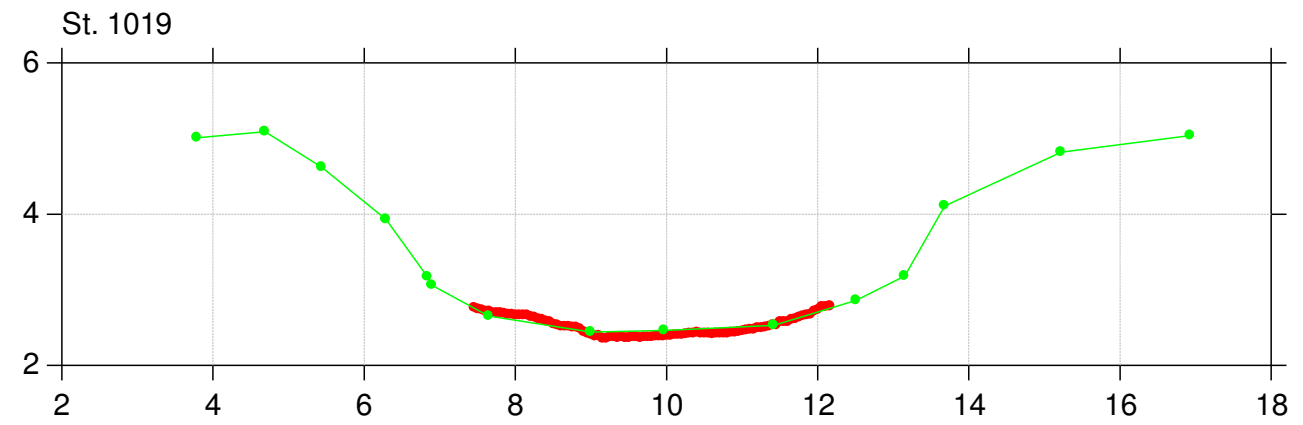
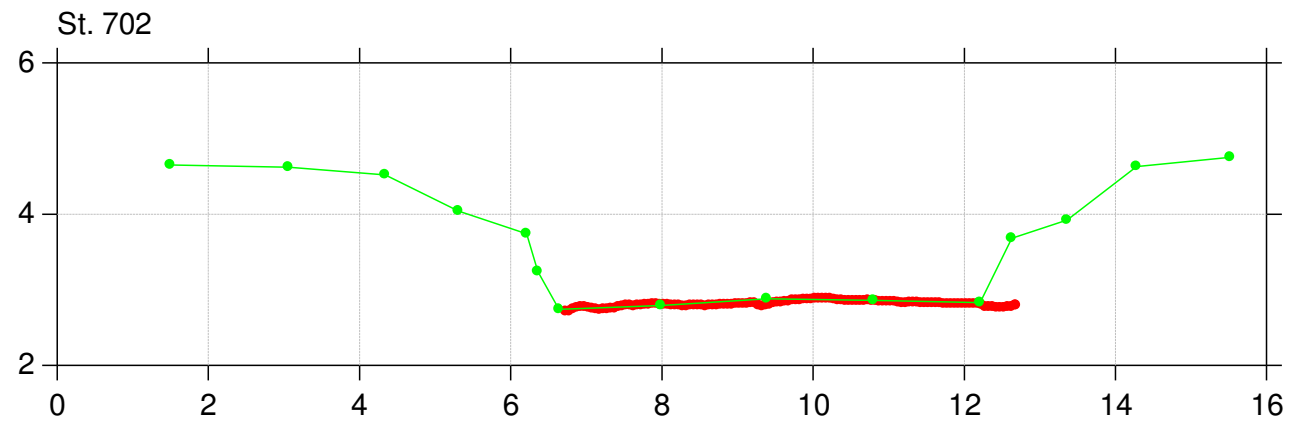


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

—●— Opmålt med GPS april 2020 af LE34
—●— M9 data

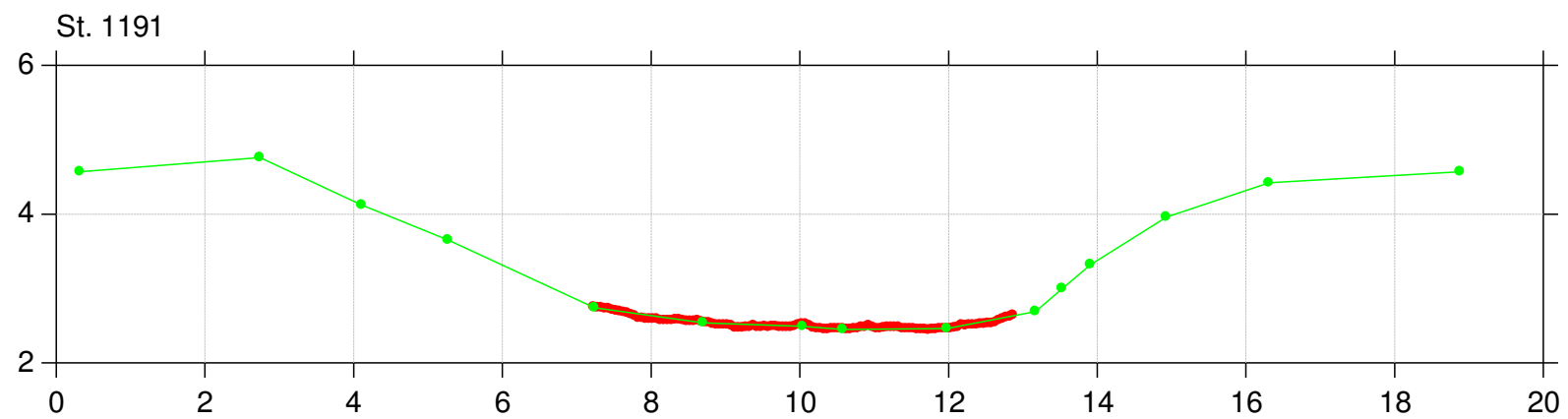
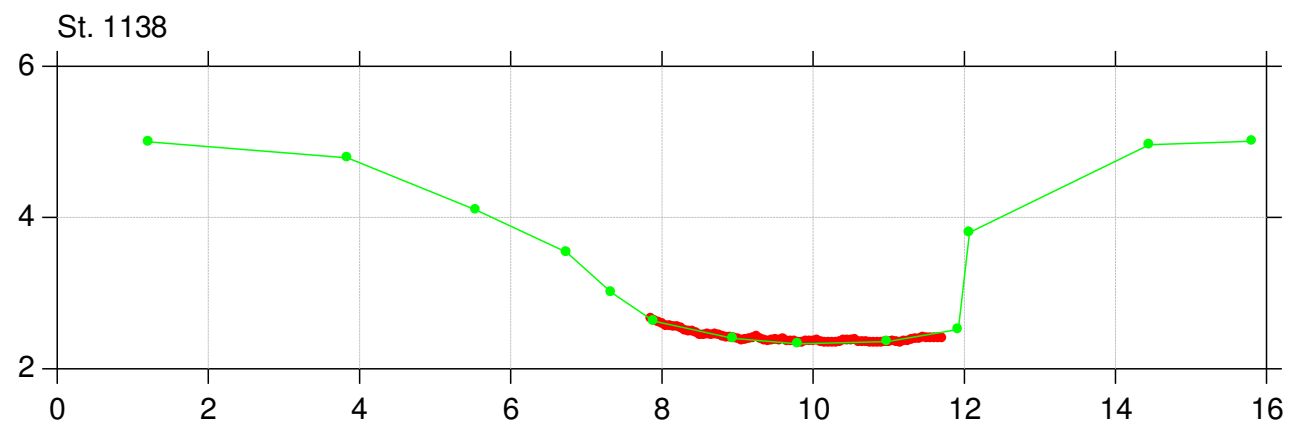
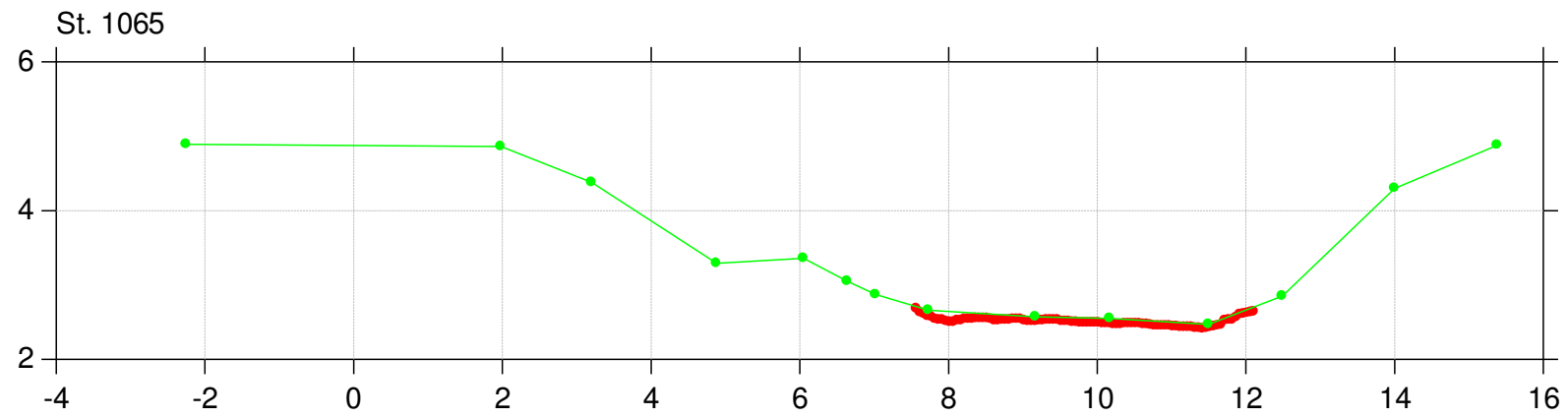


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

—●— Opmålt med GPS april 2020 af LE34
—●— M9 data

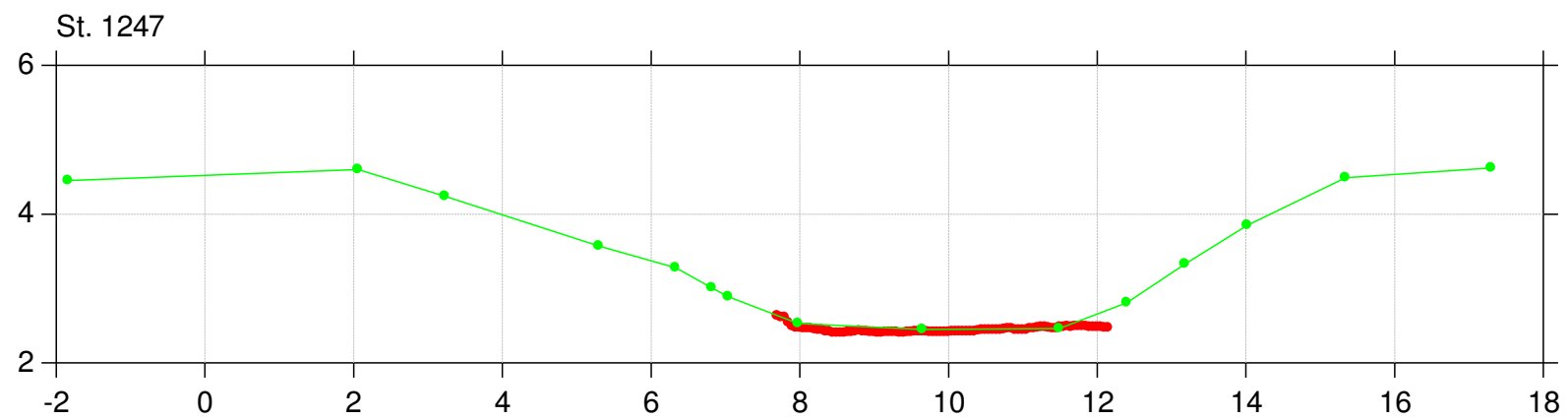
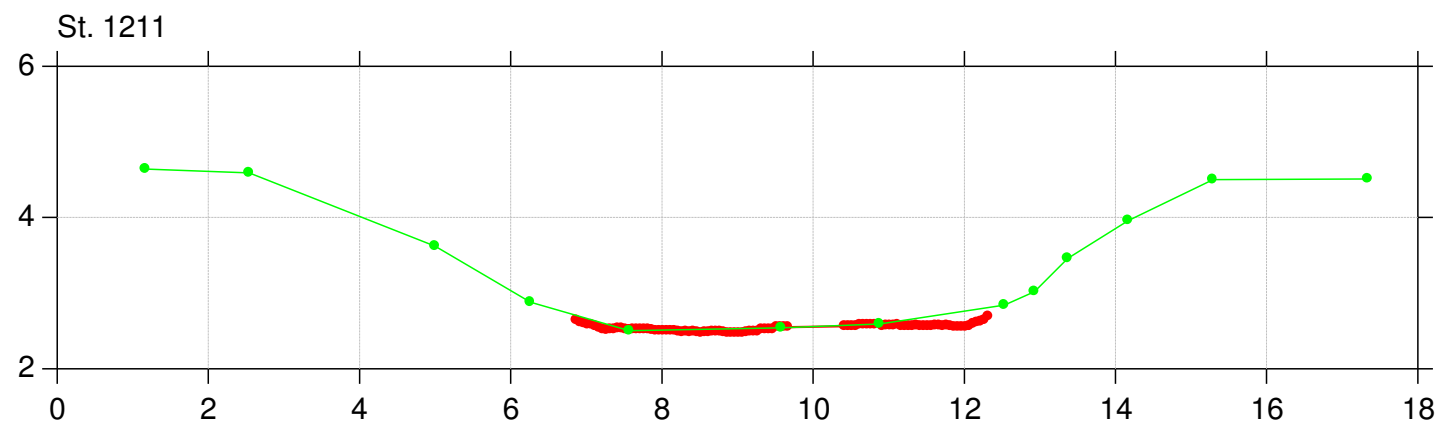
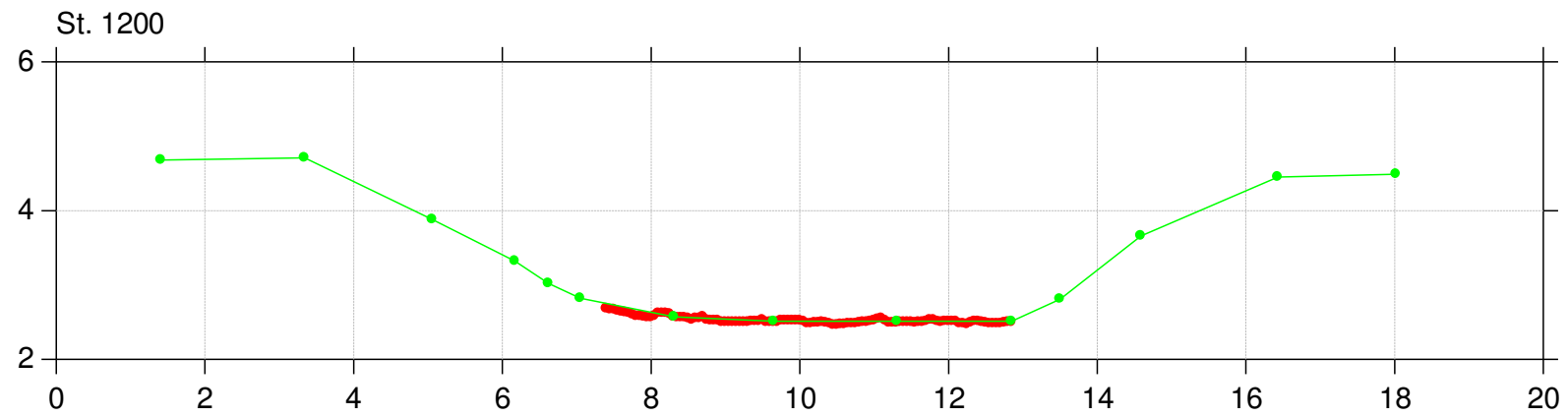


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100

—●— Opmålt med GPS april 2020 af LE34
—●— M9 data



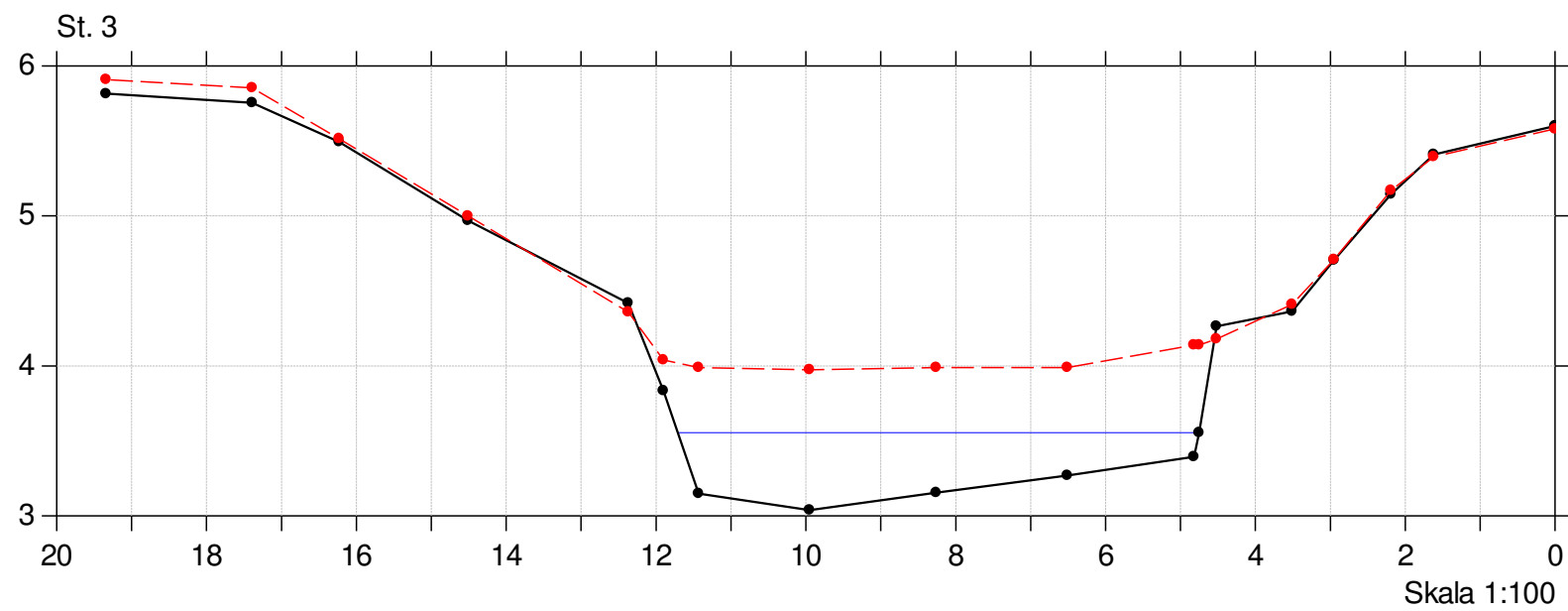
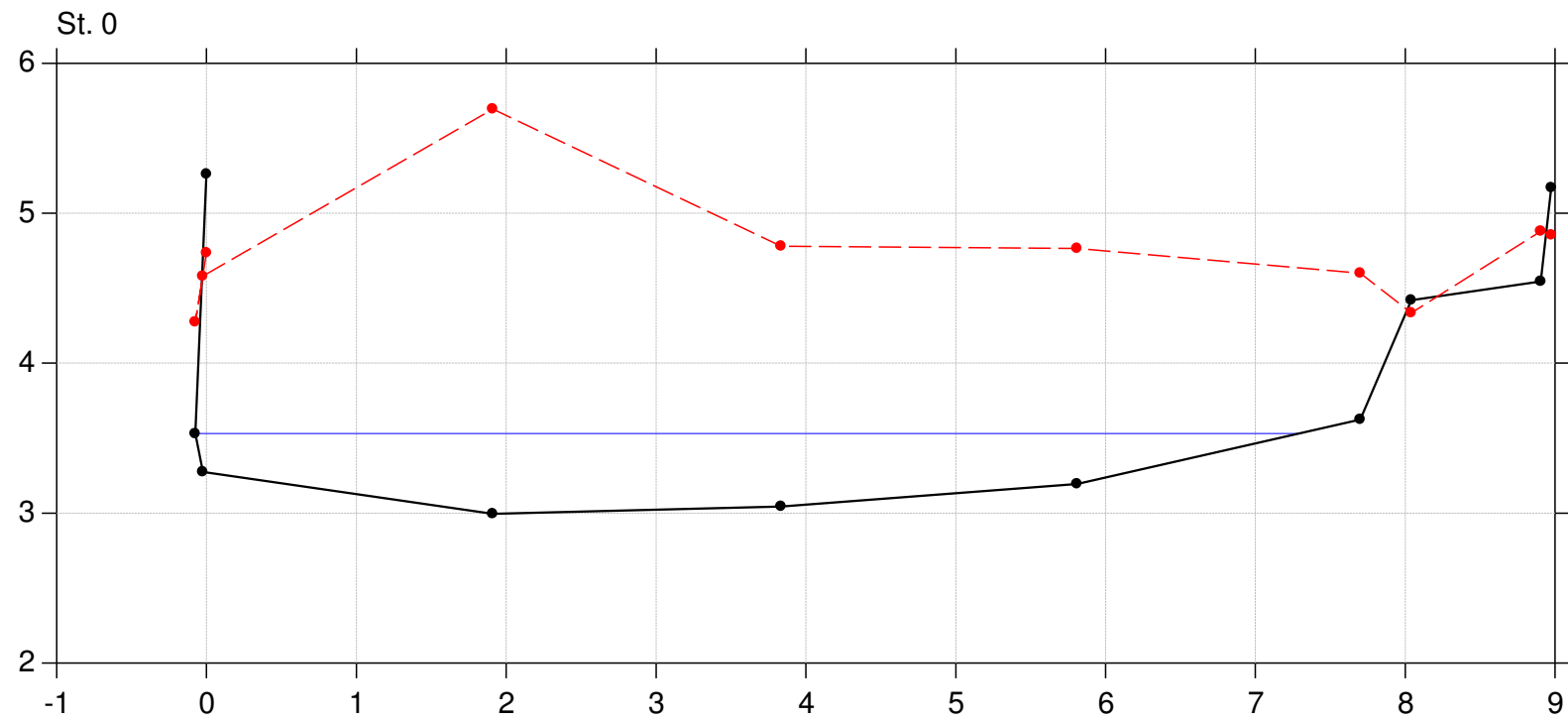
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



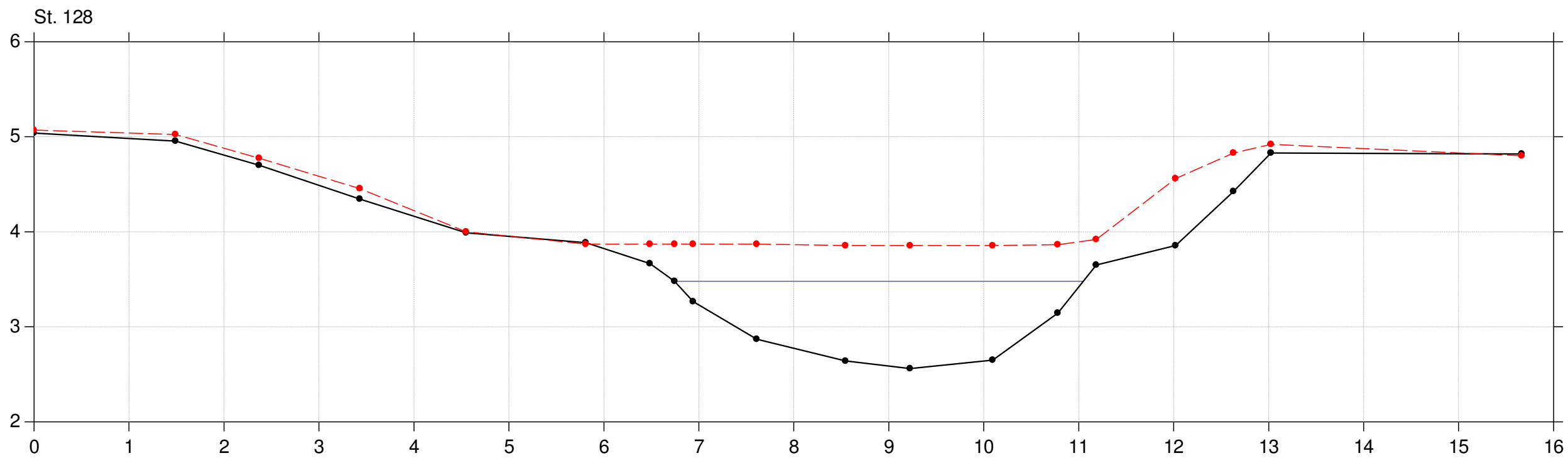
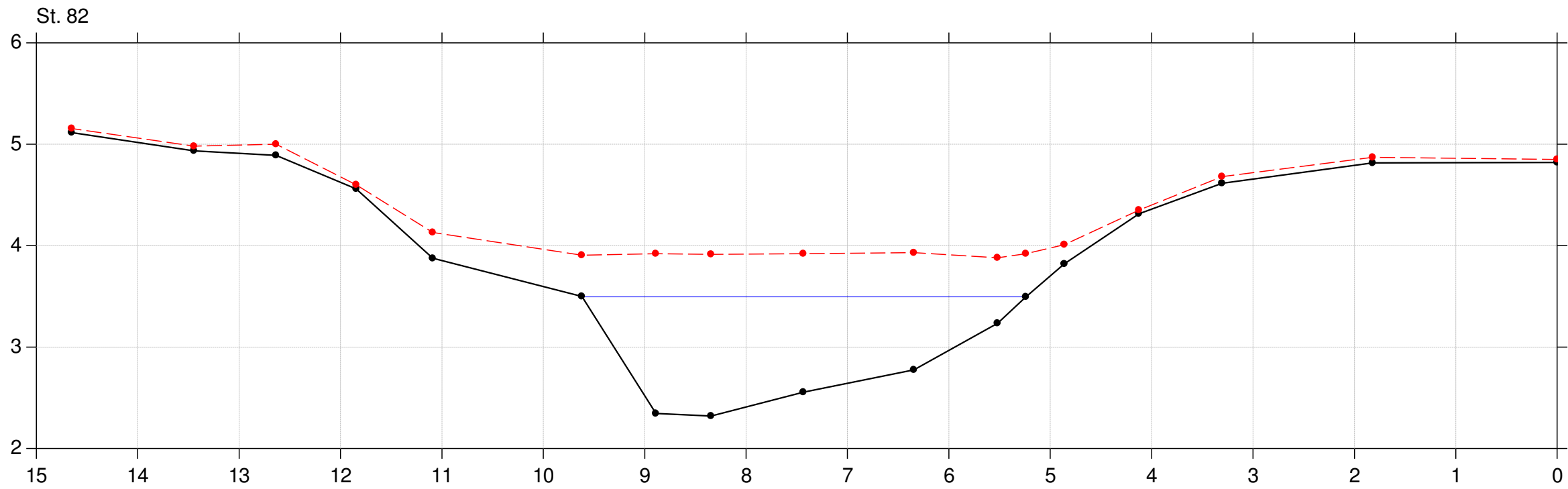
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



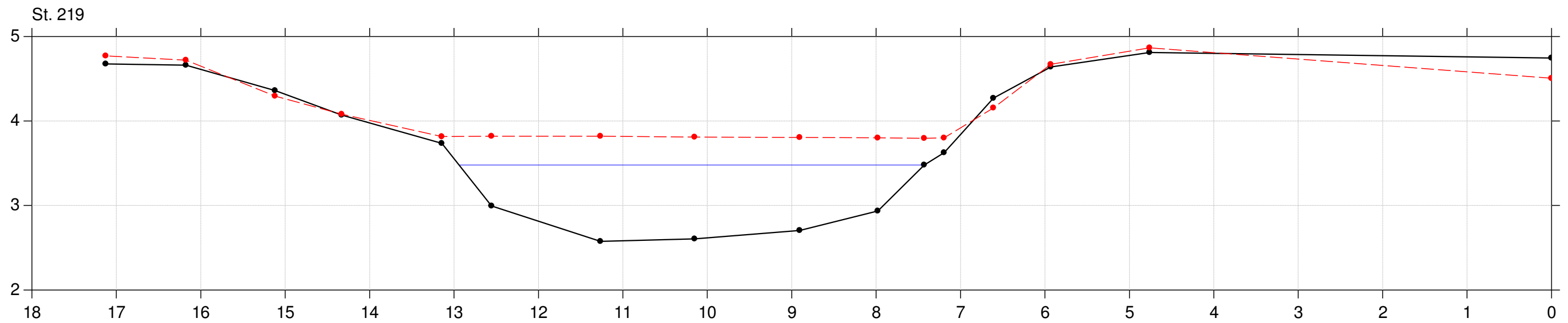
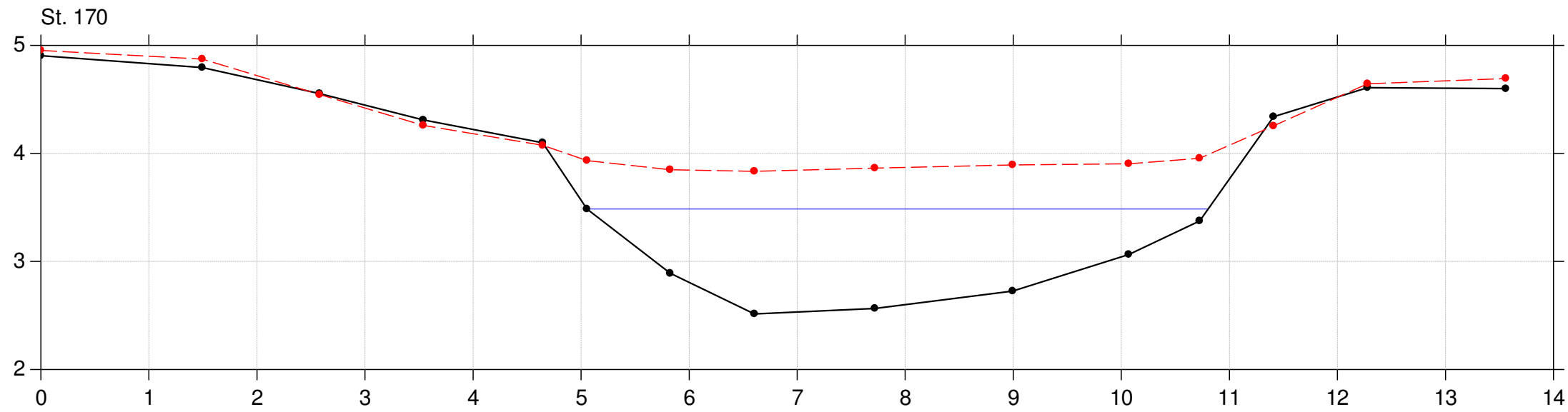
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



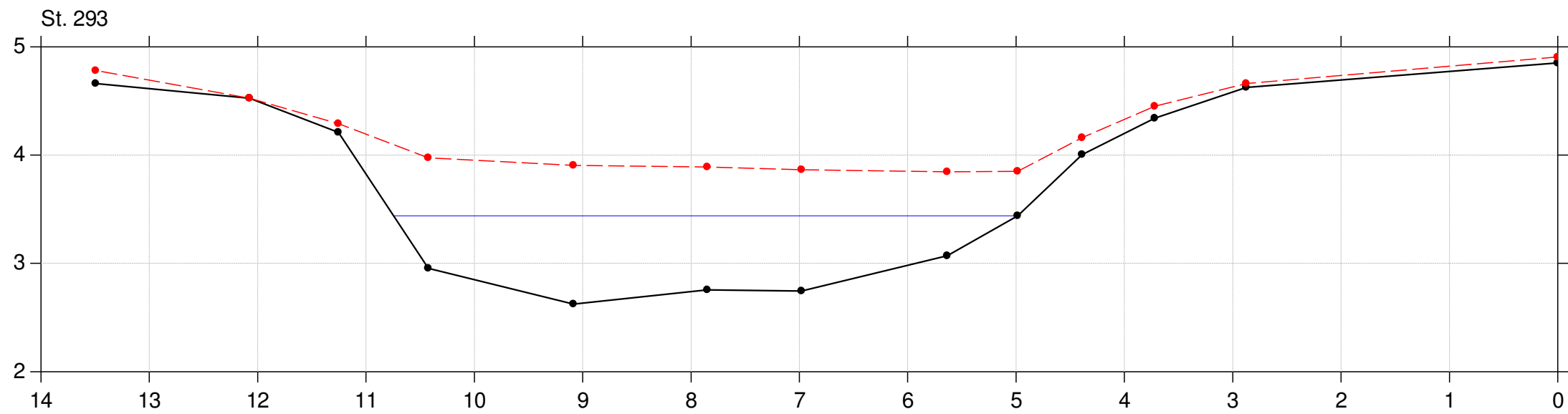
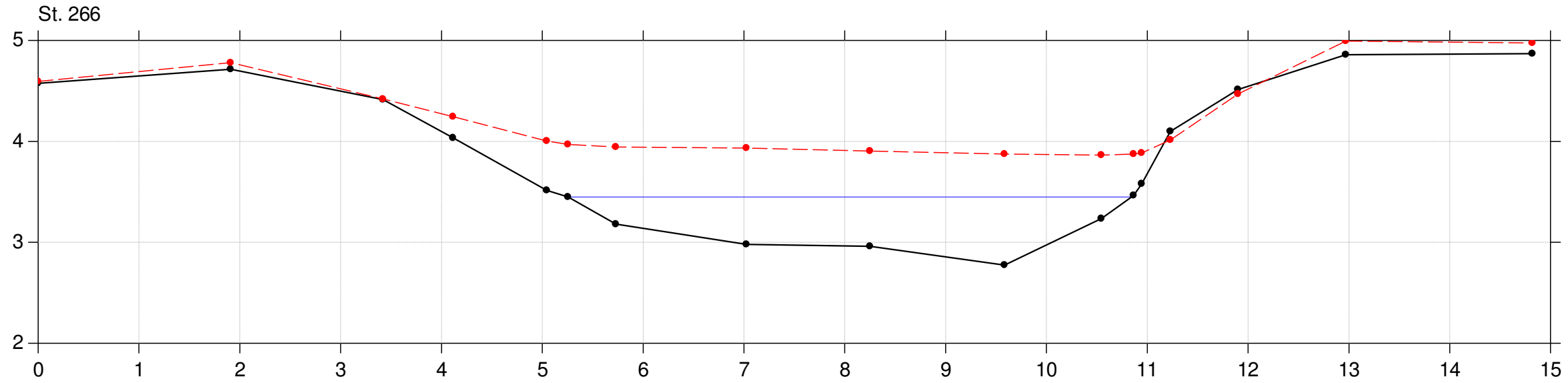
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



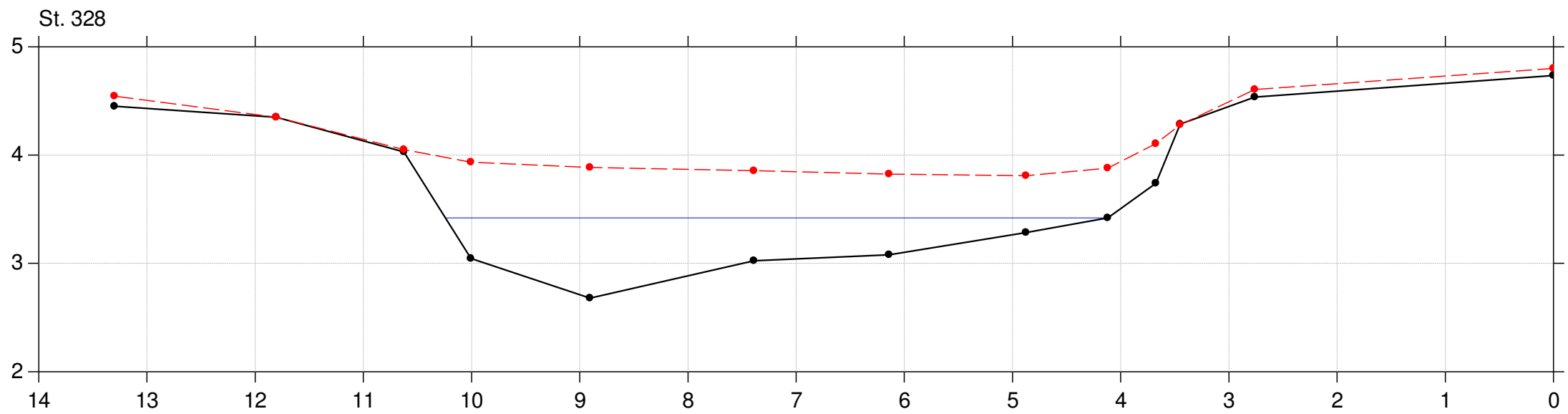
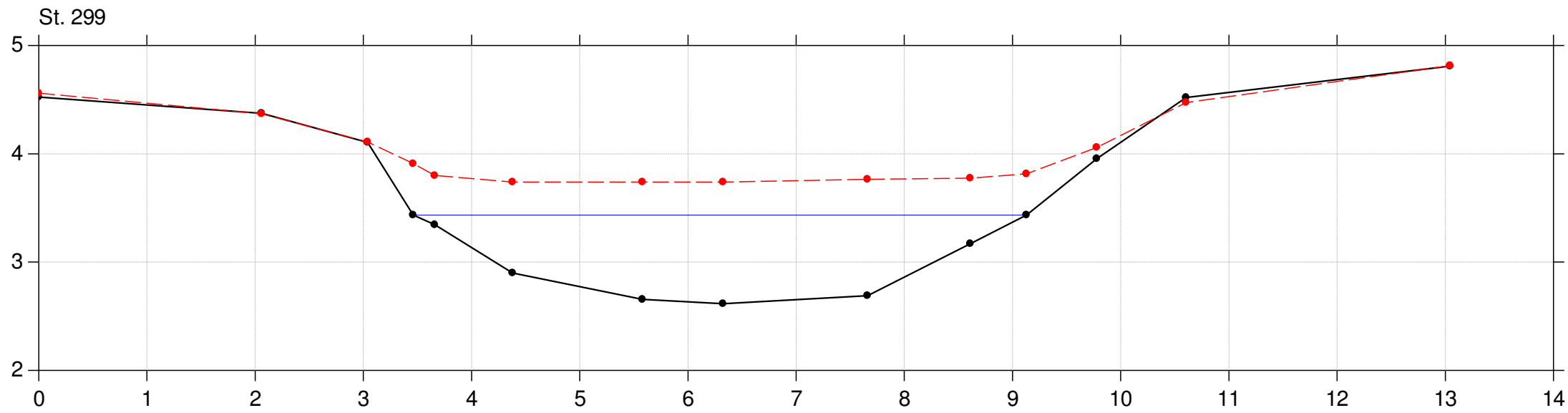
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



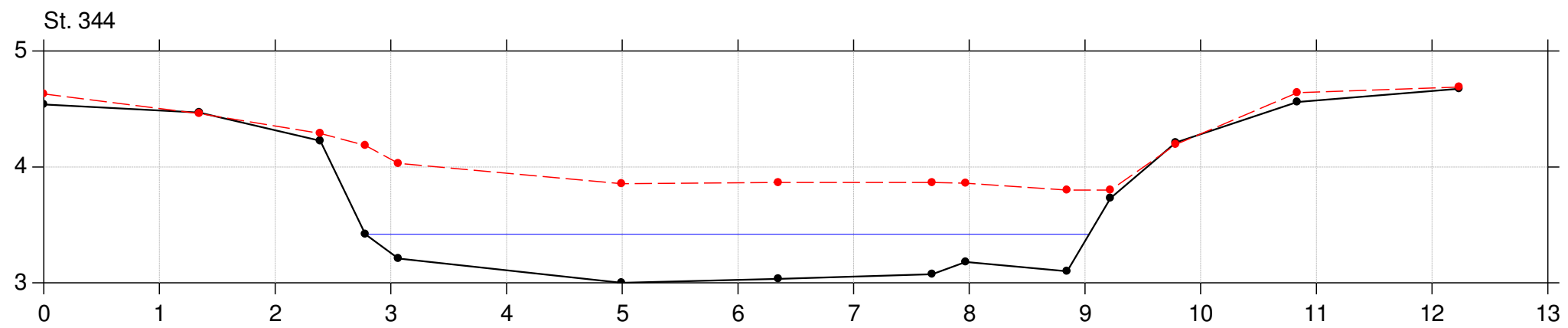
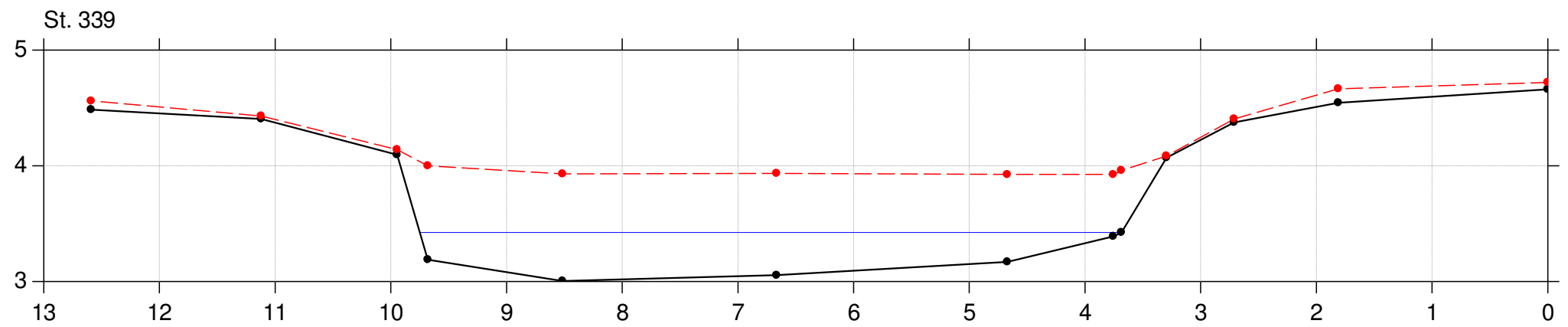
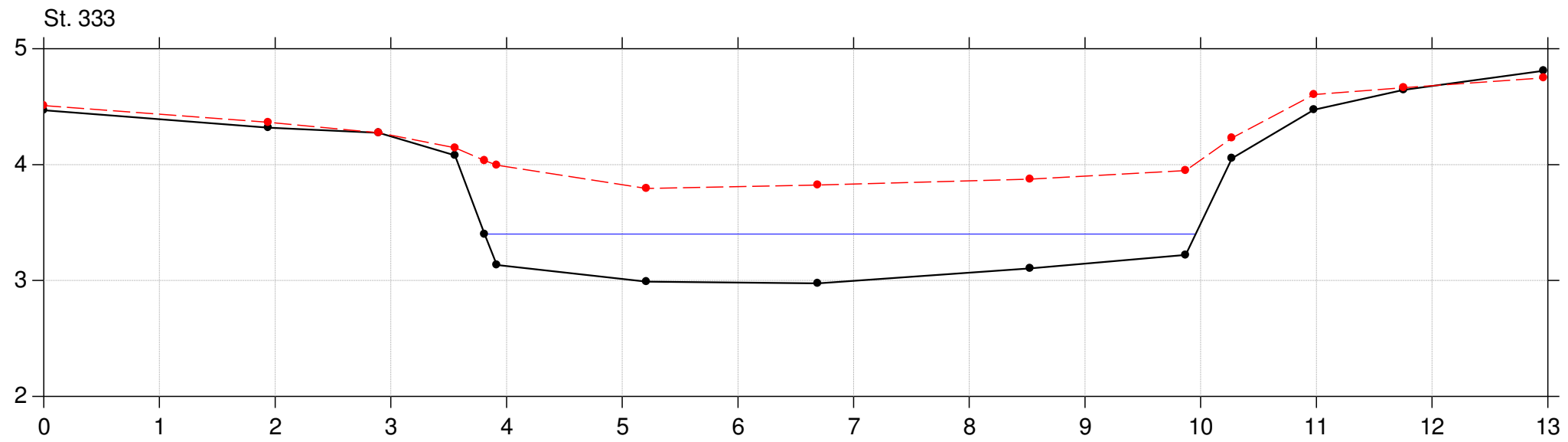
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



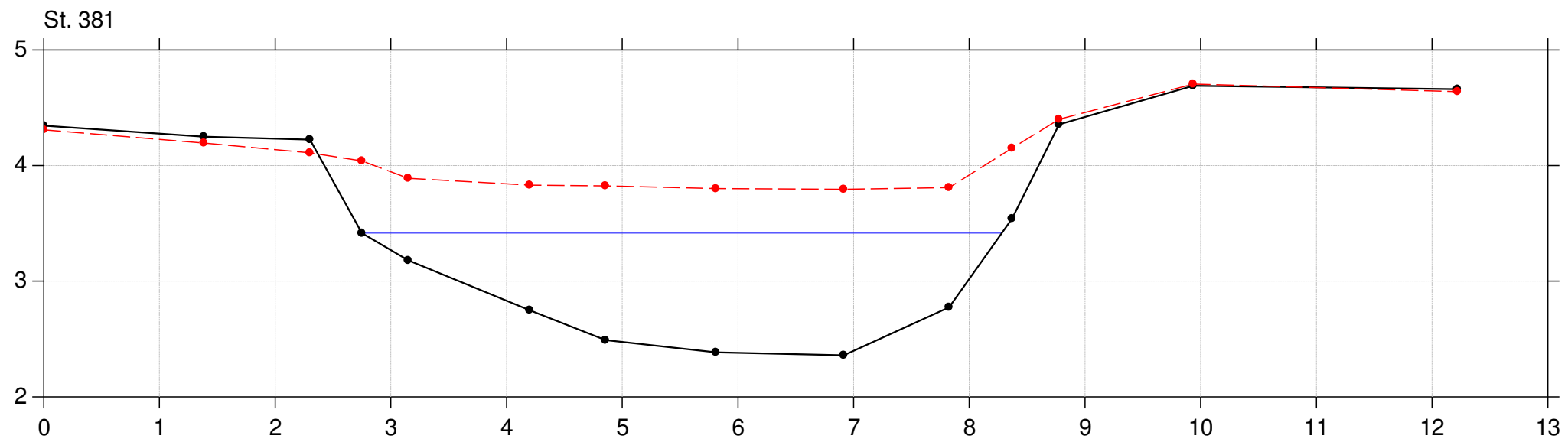
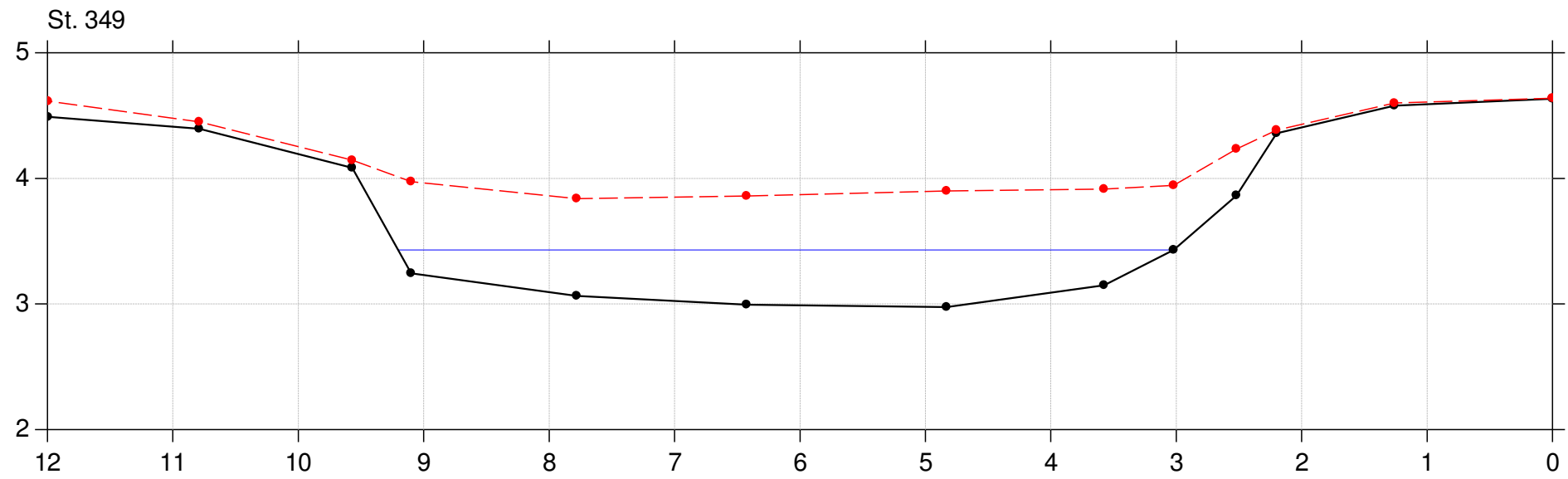
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



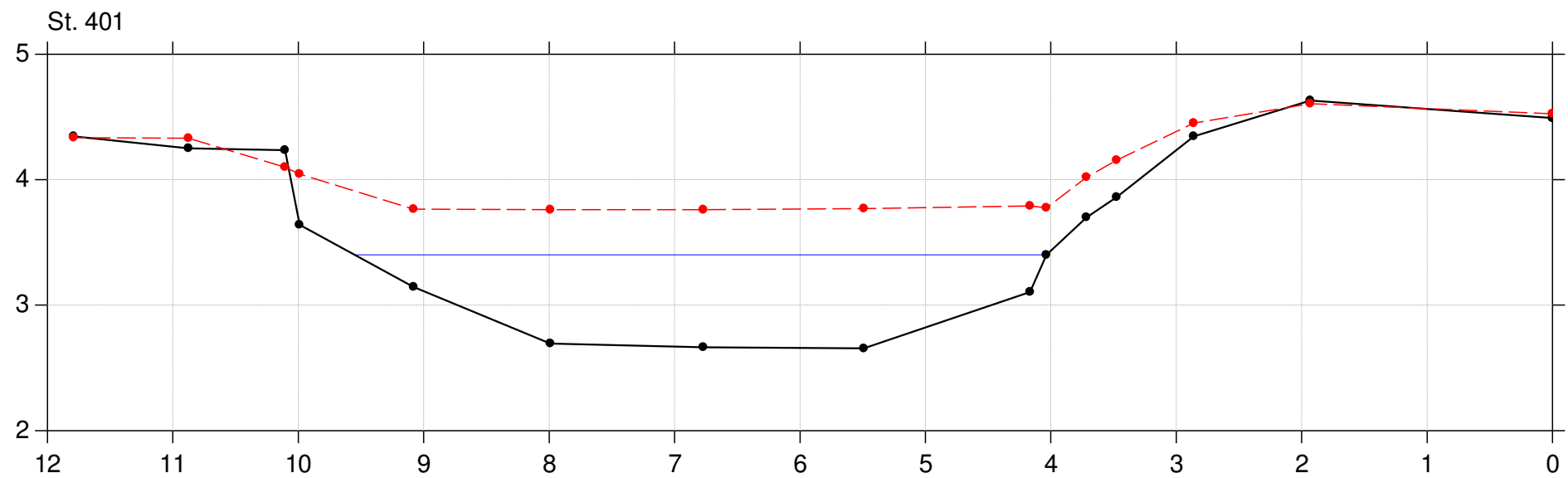
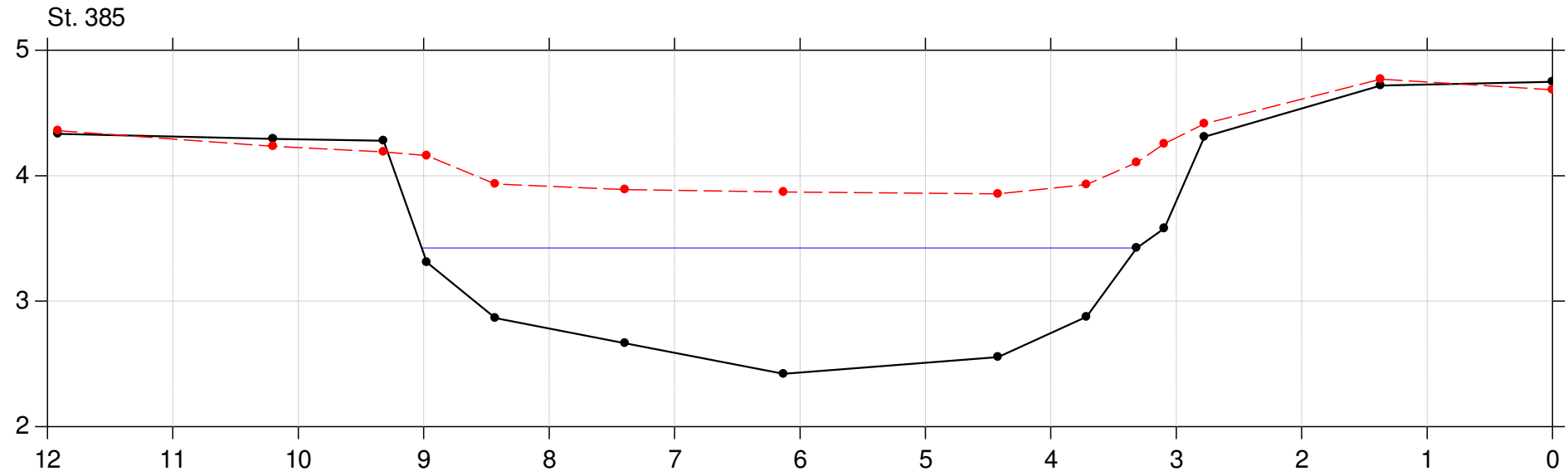
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



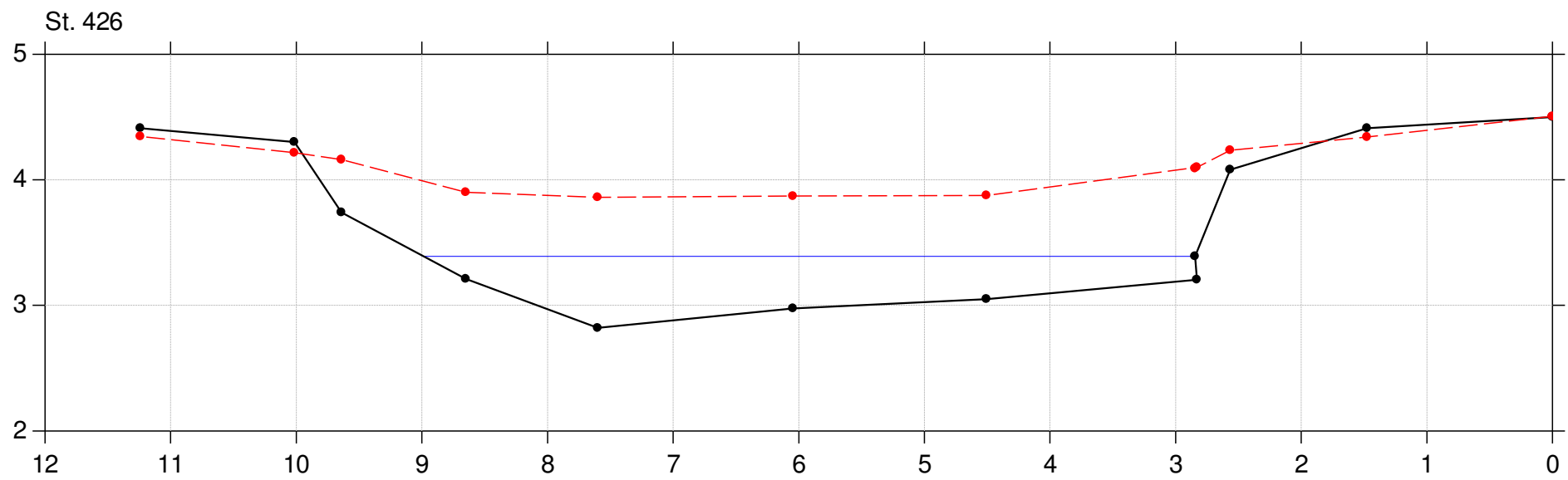
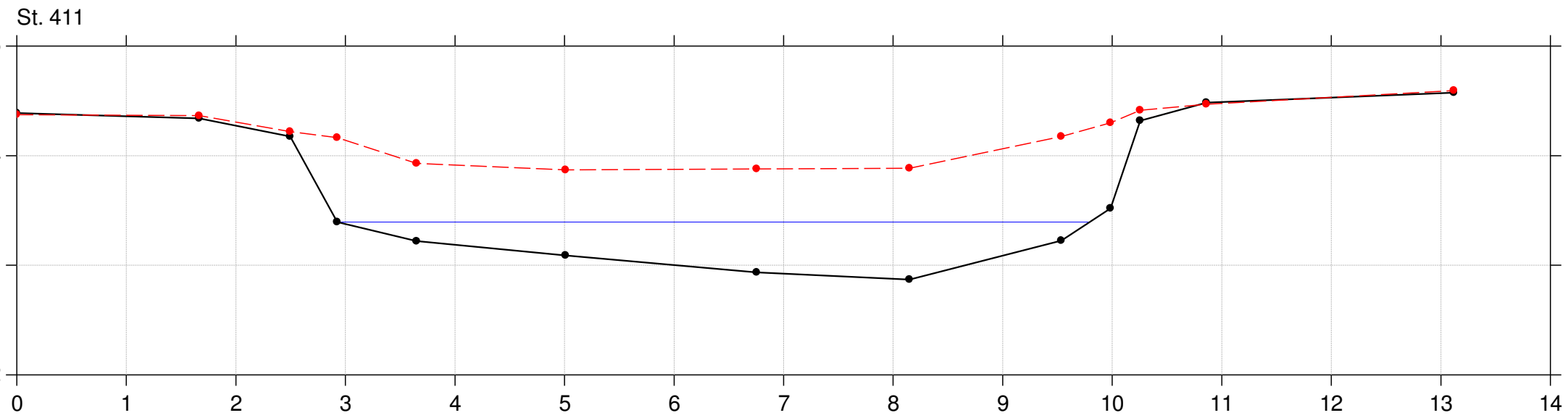
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



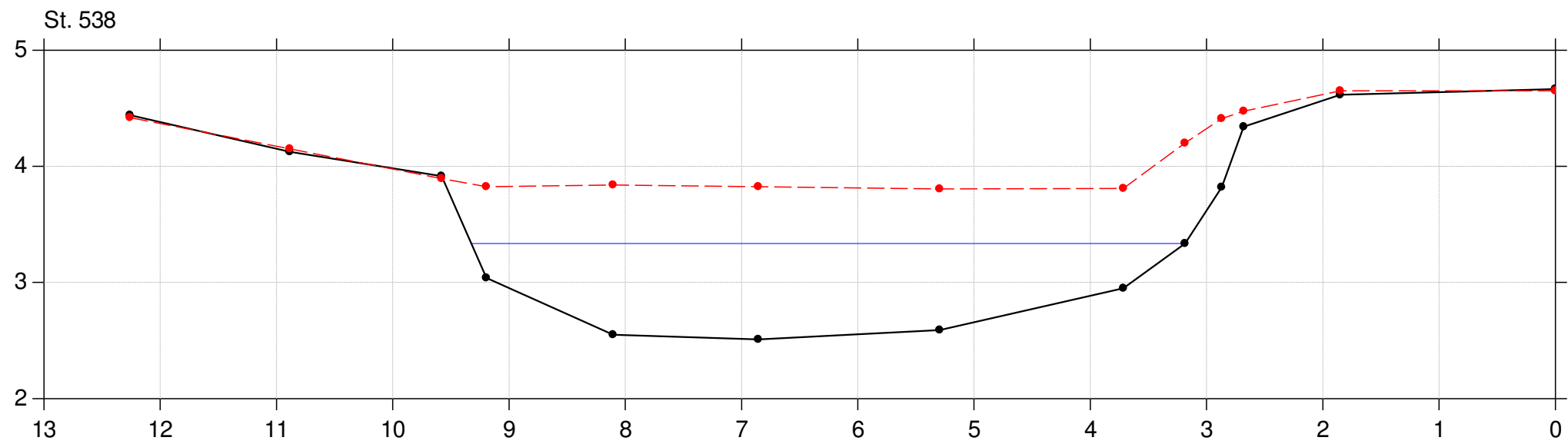
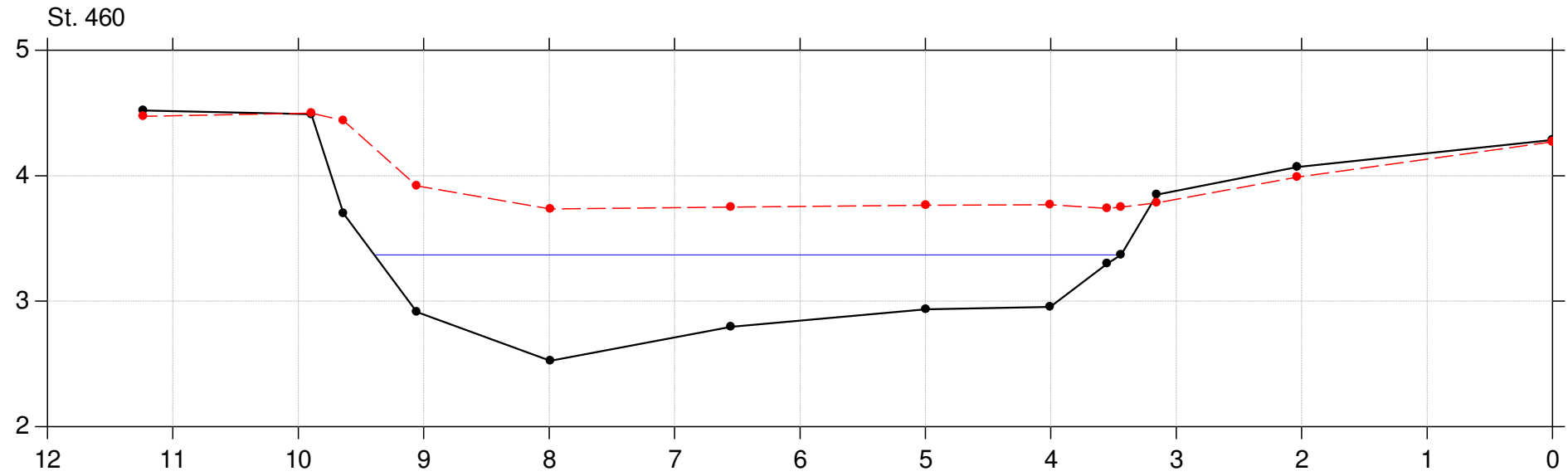
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



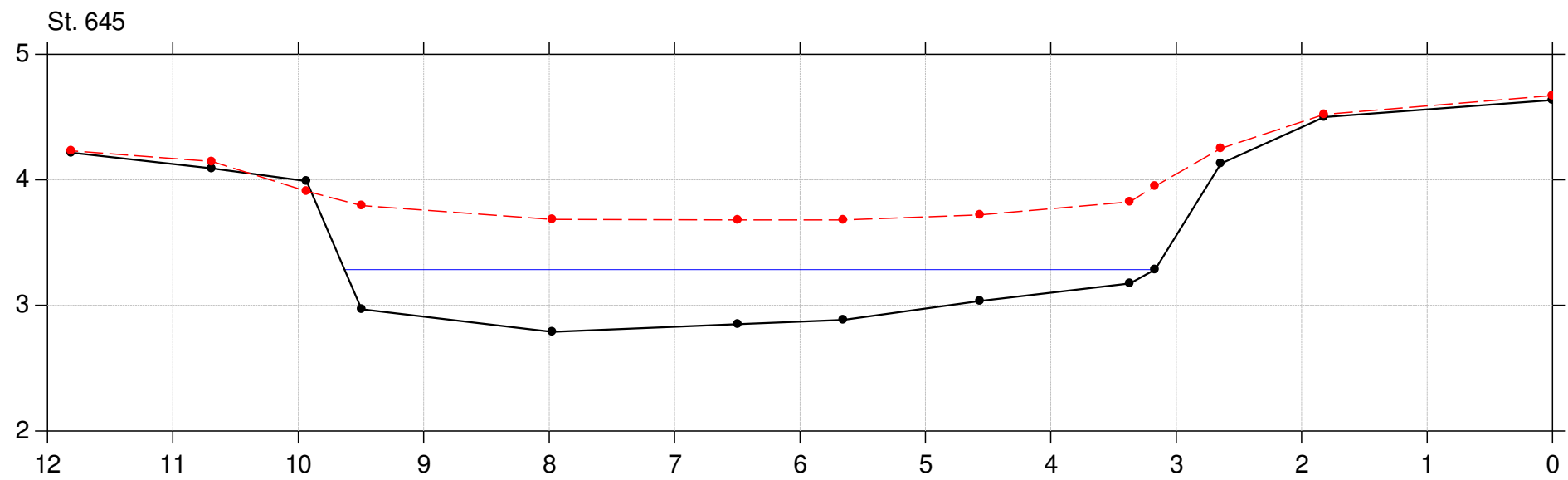
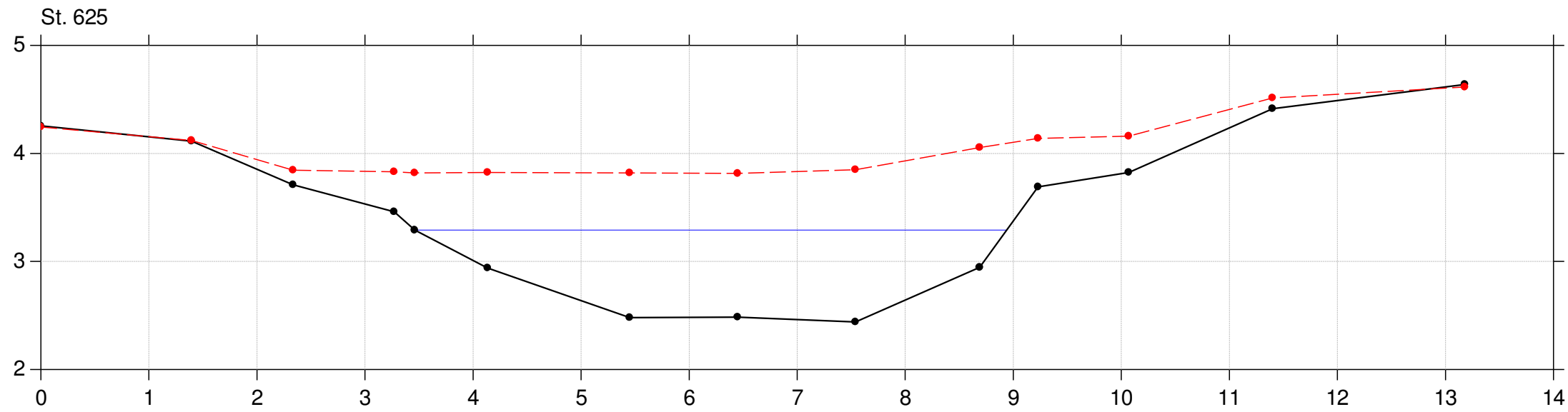
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



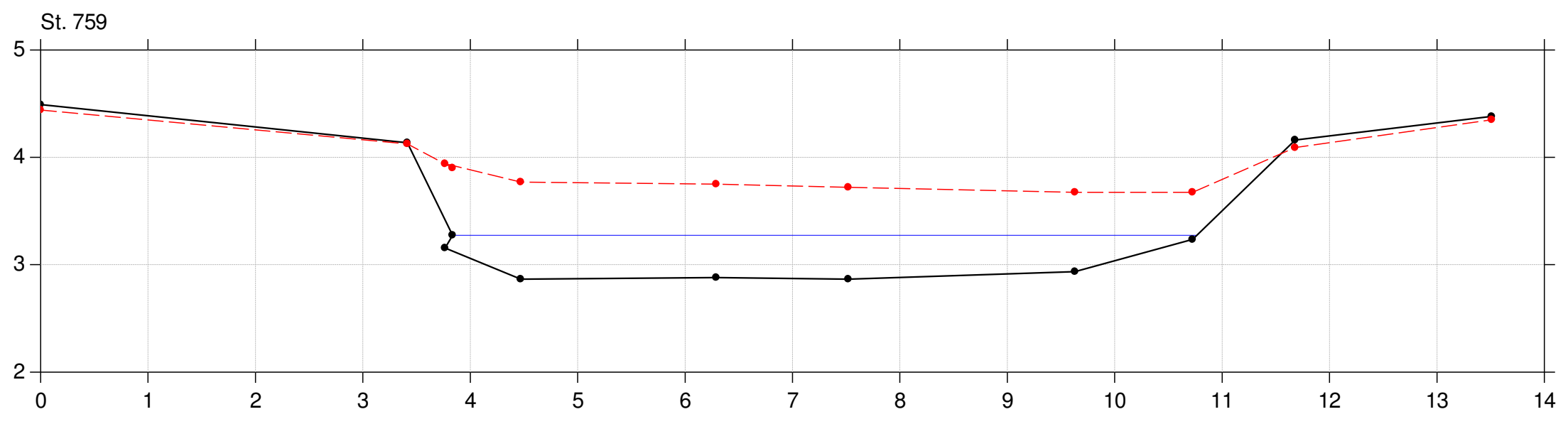
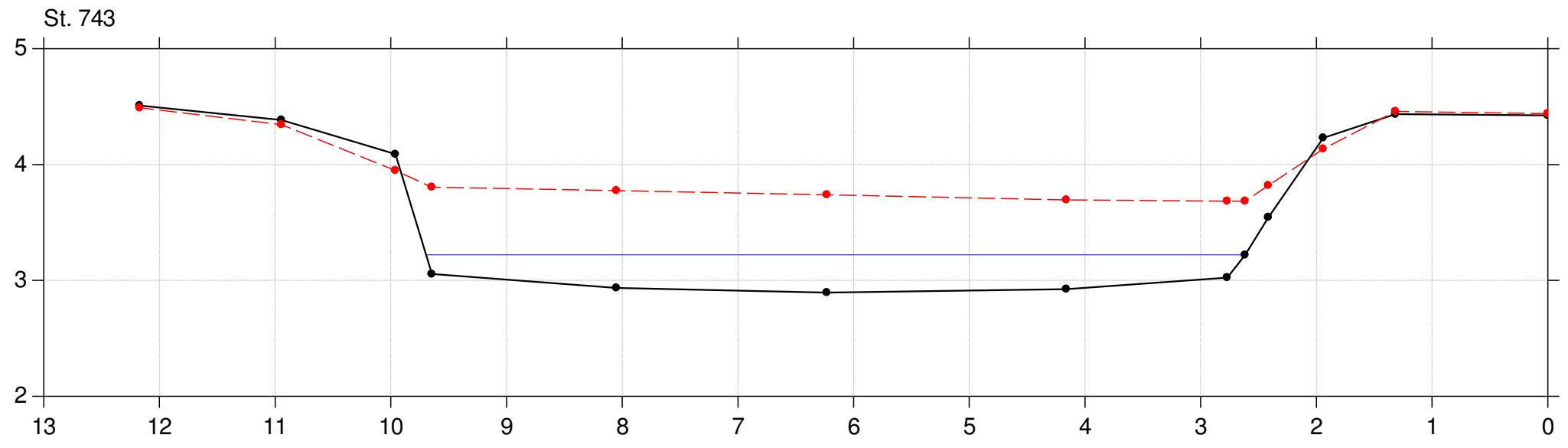
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



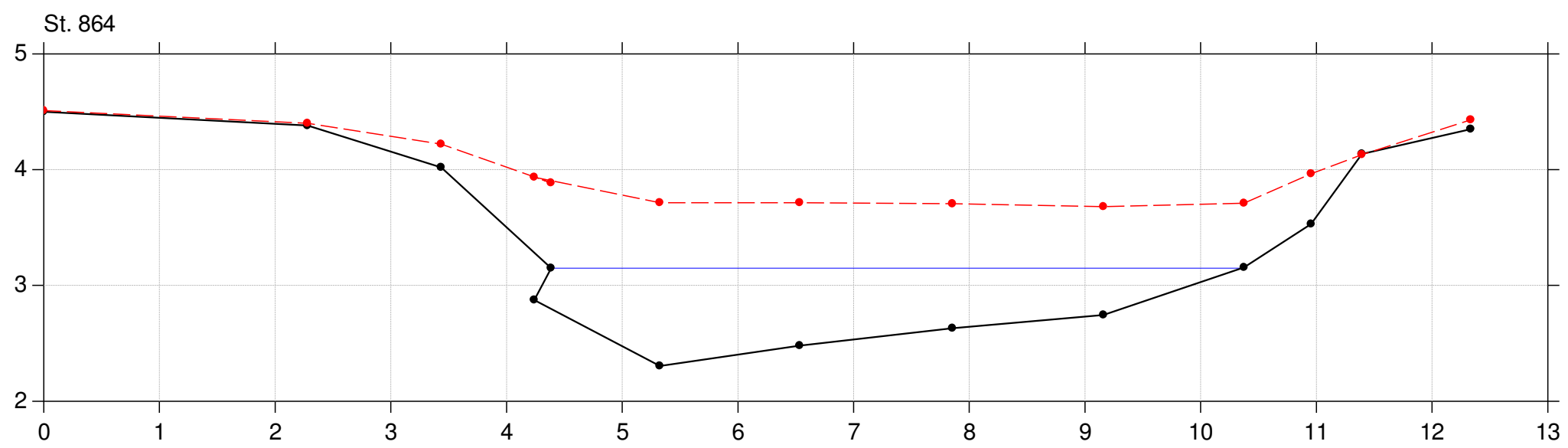
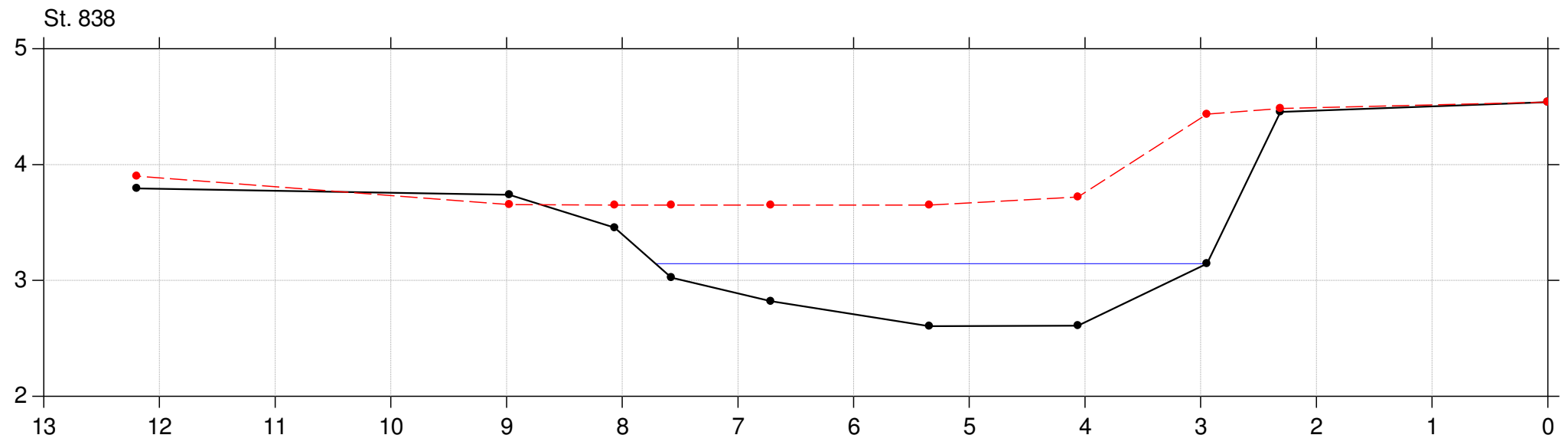
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



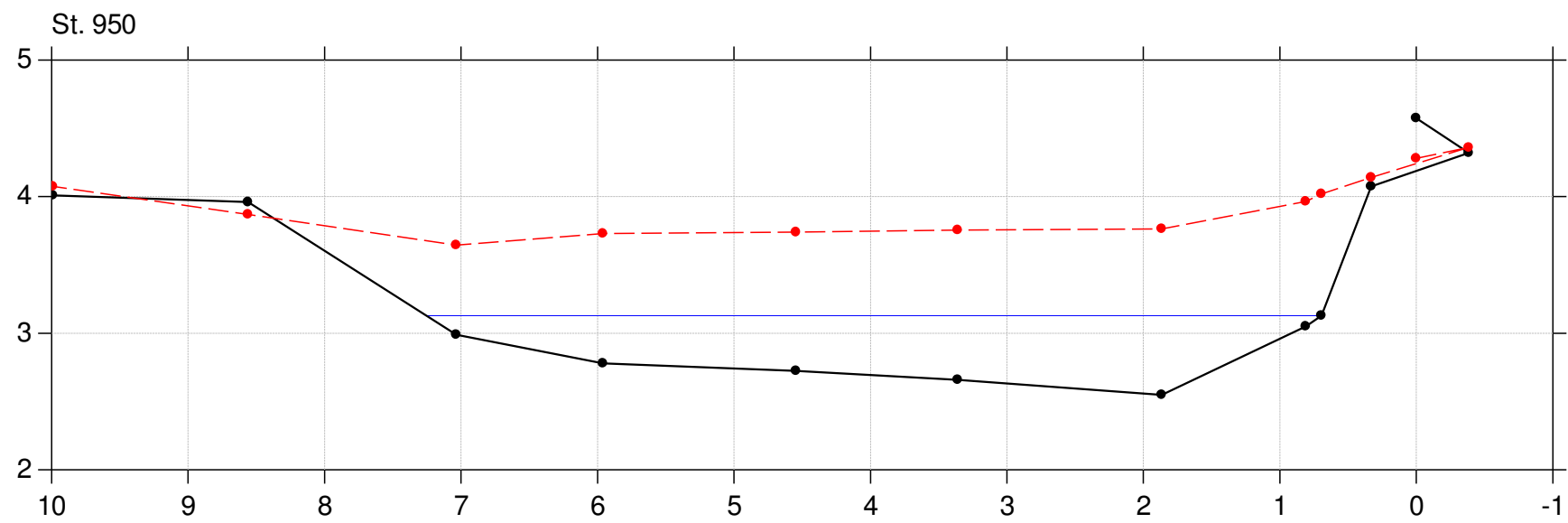
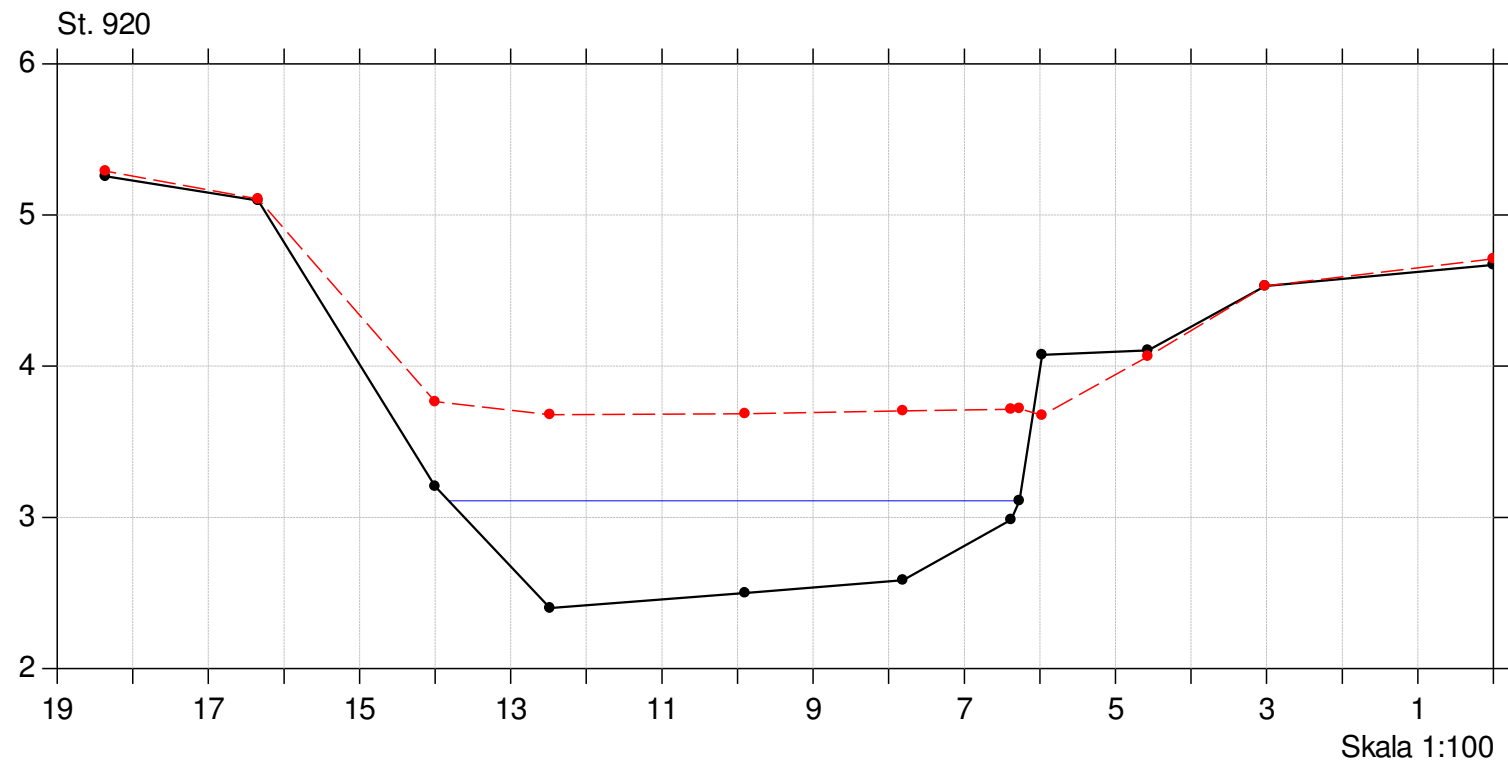
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



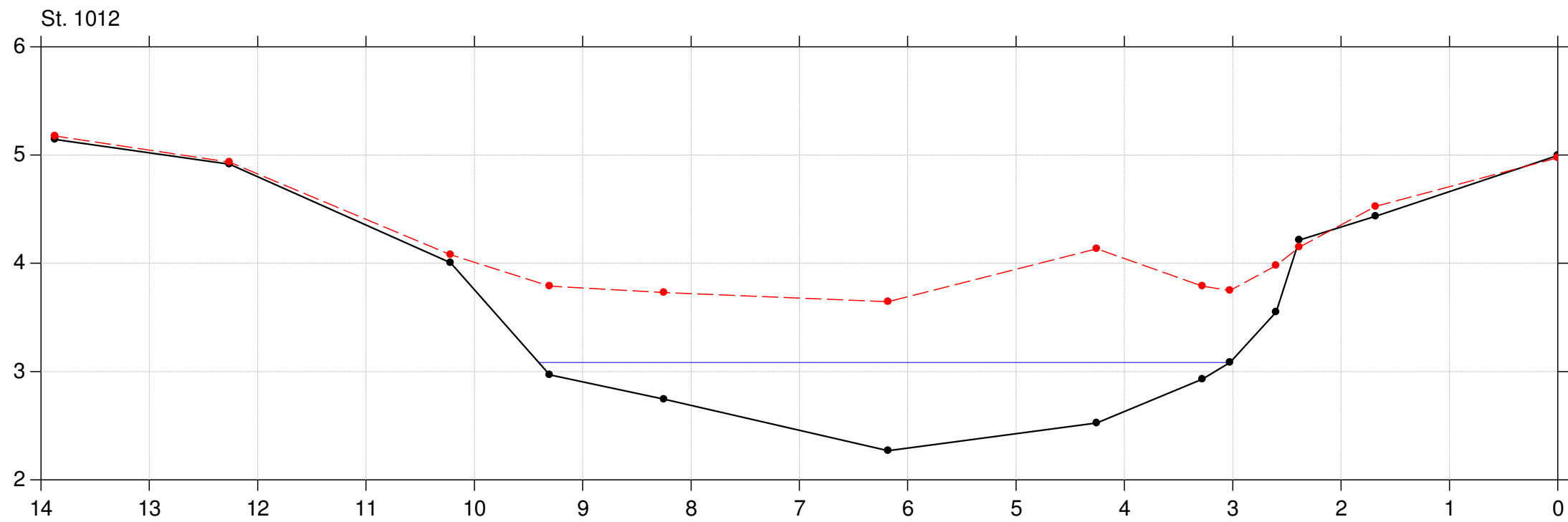
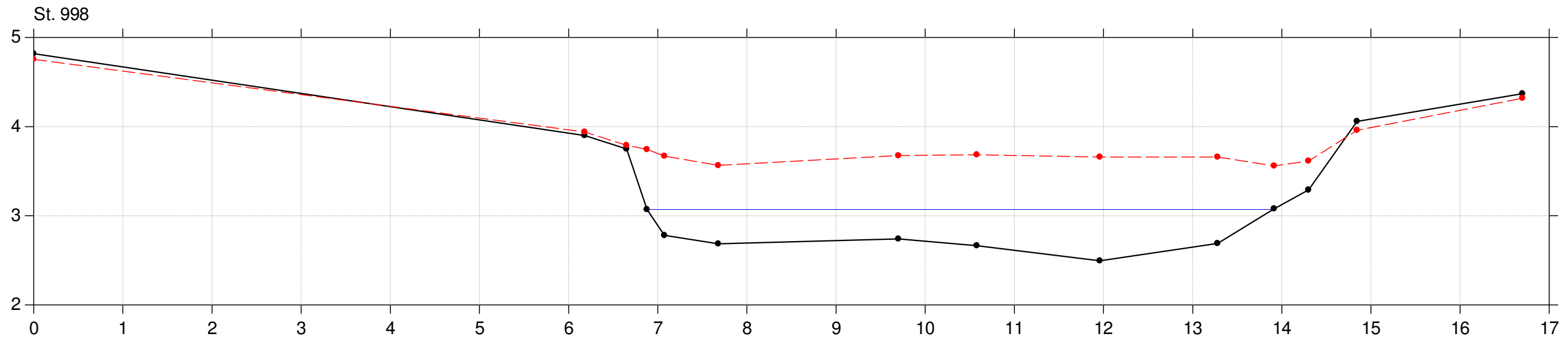
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

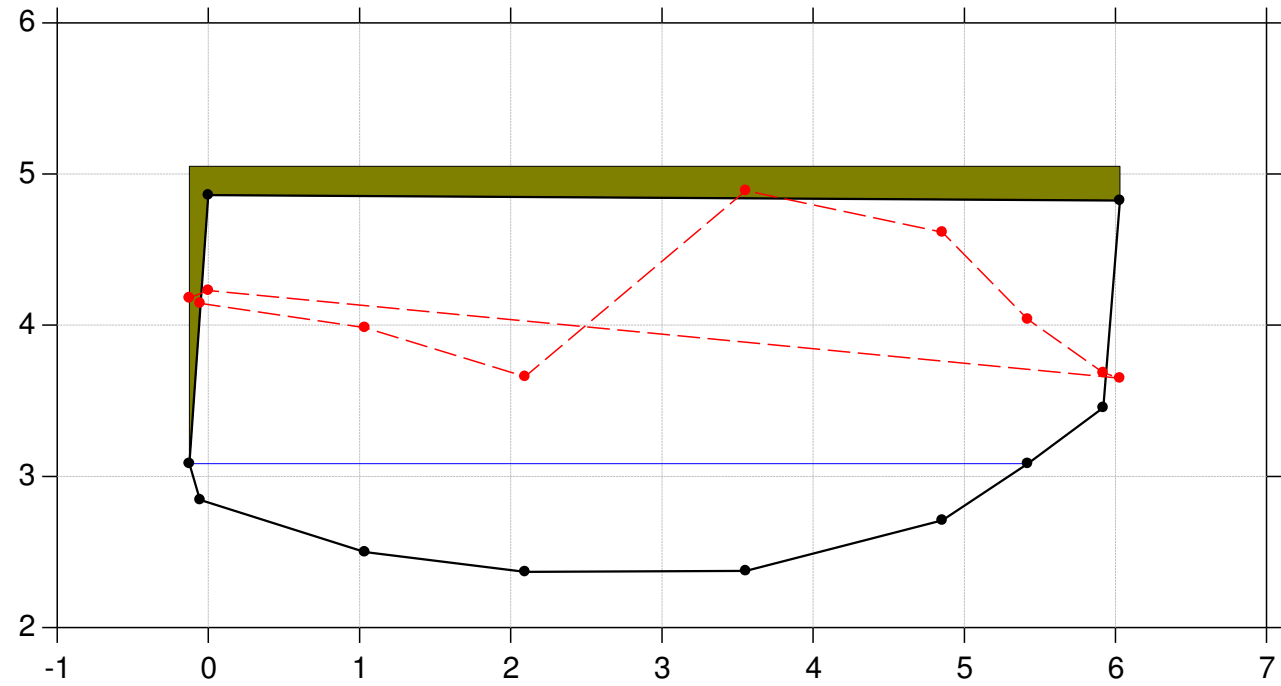
Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

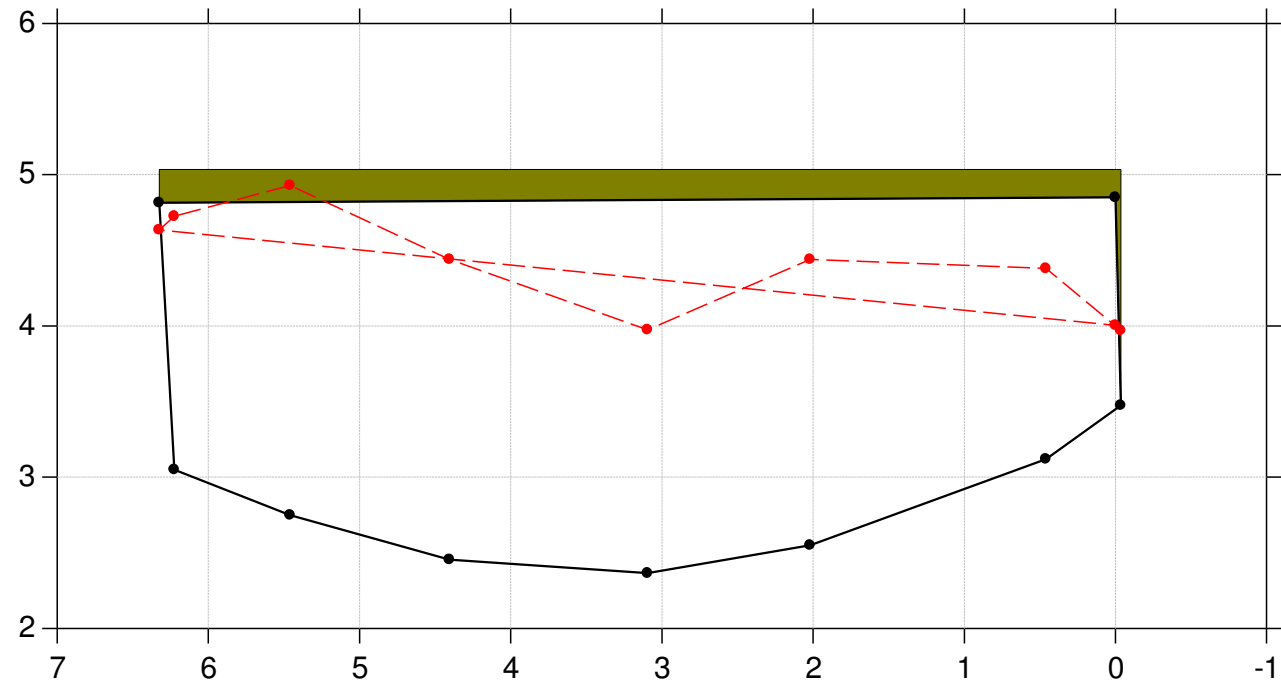
Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling

St. 1013



St. 1018



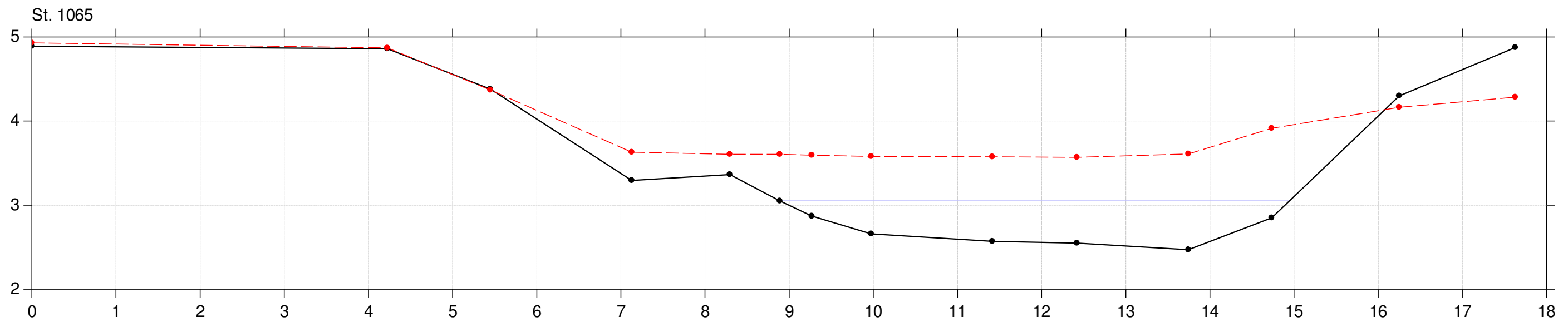
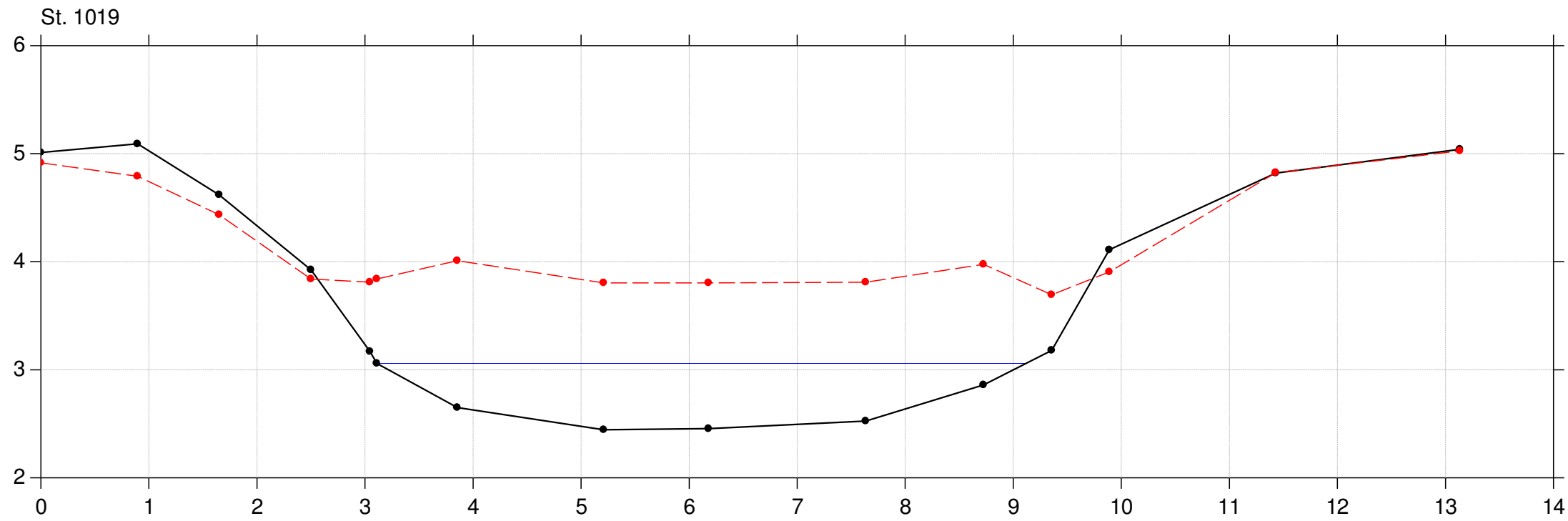
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



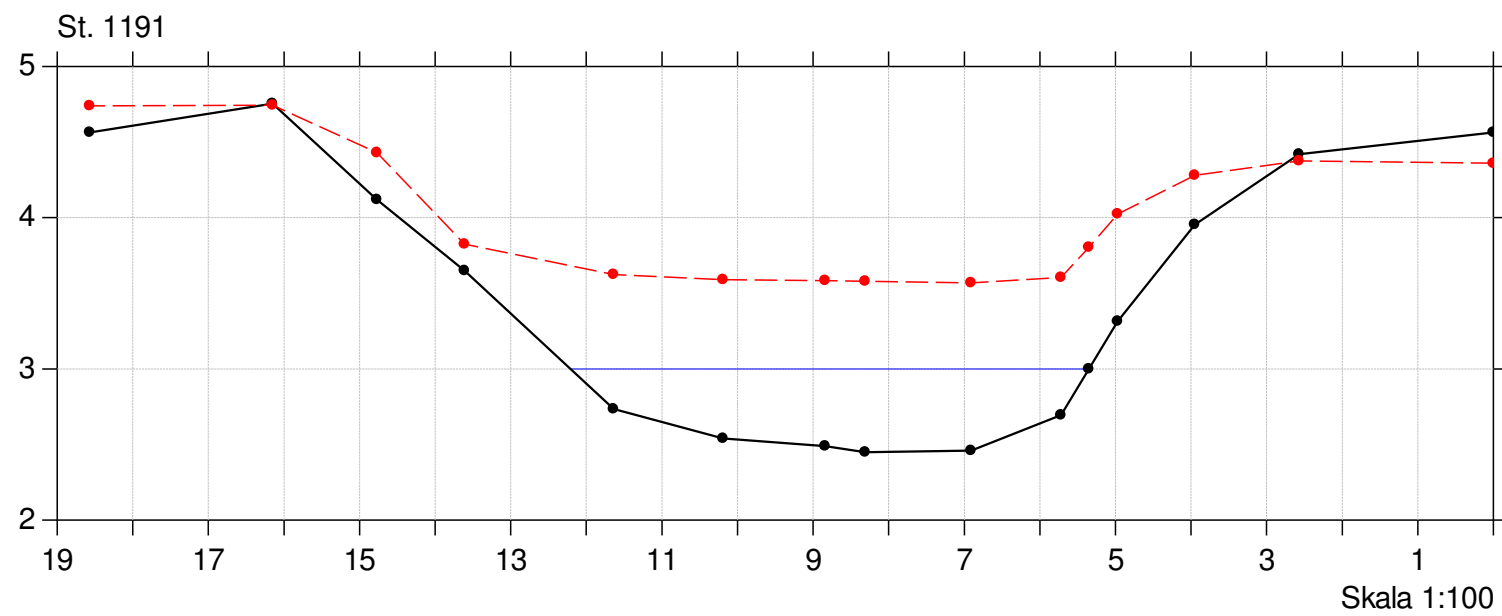
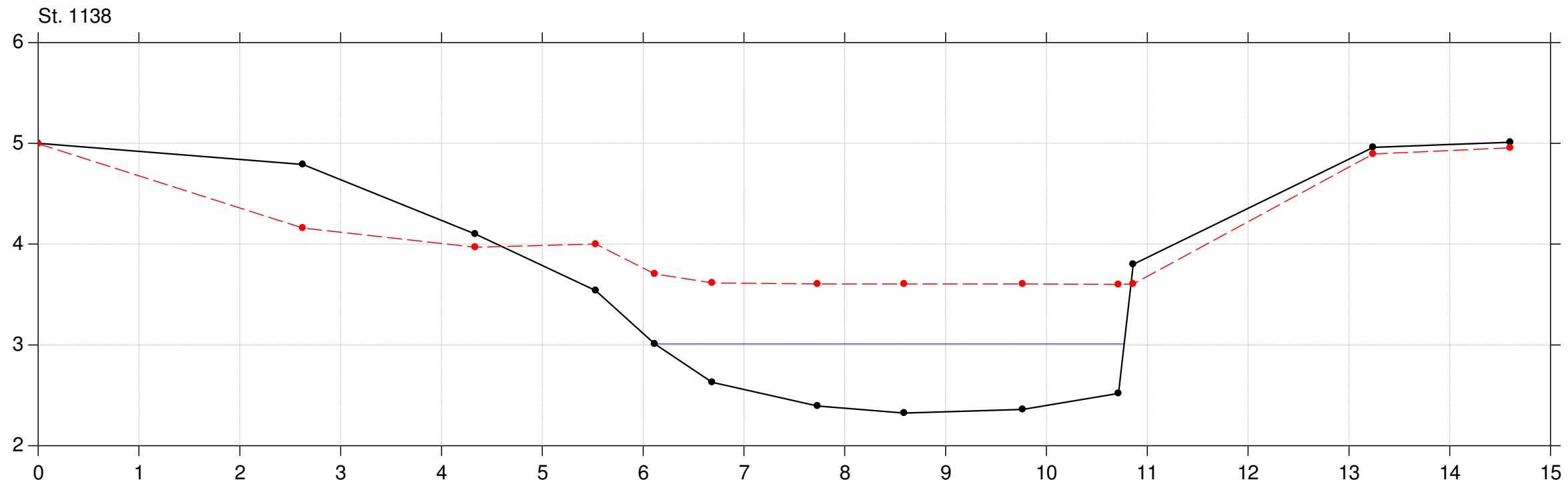
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

- - - ● DHM z punkter
- - - ● GPS opmåling



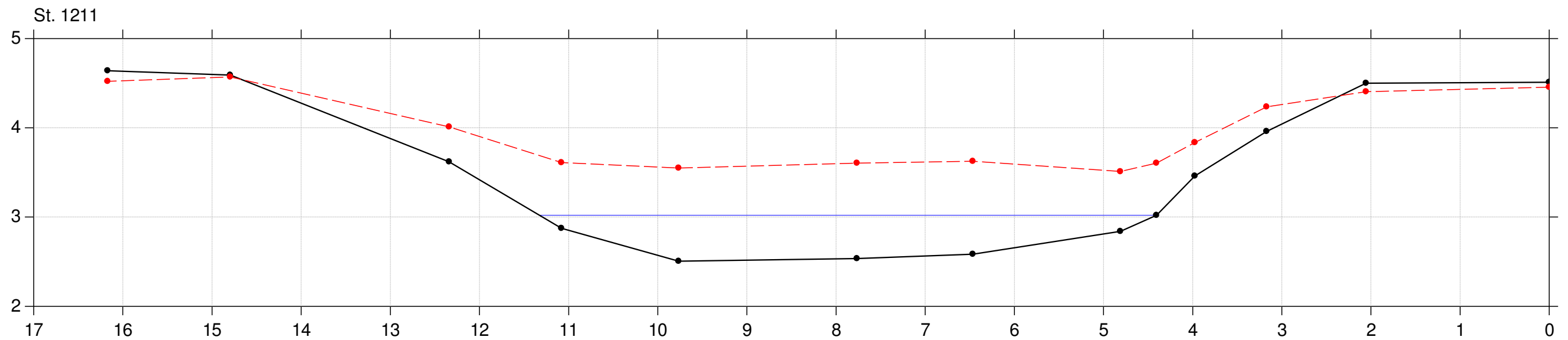
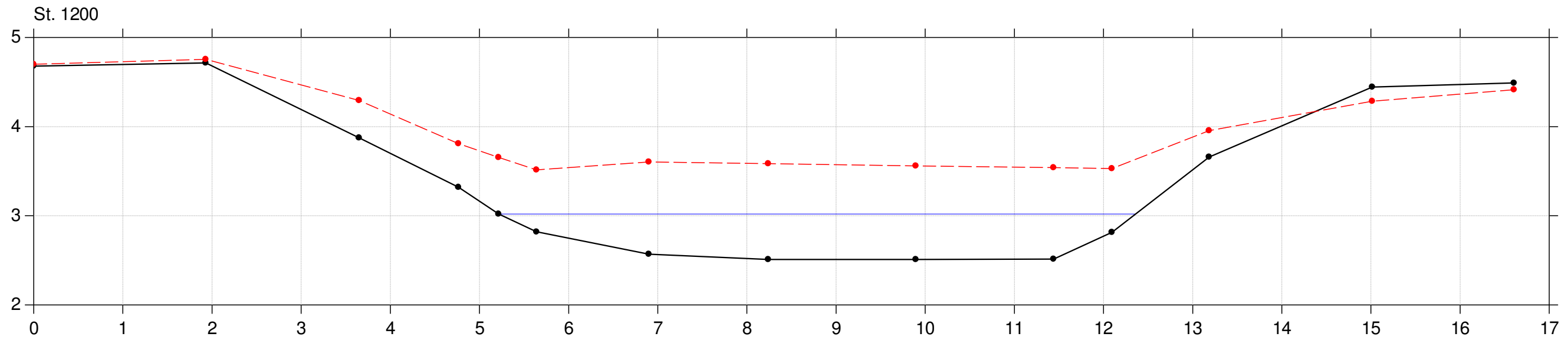
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

- - - ● DHM z punkter
- ● GPS opmåling



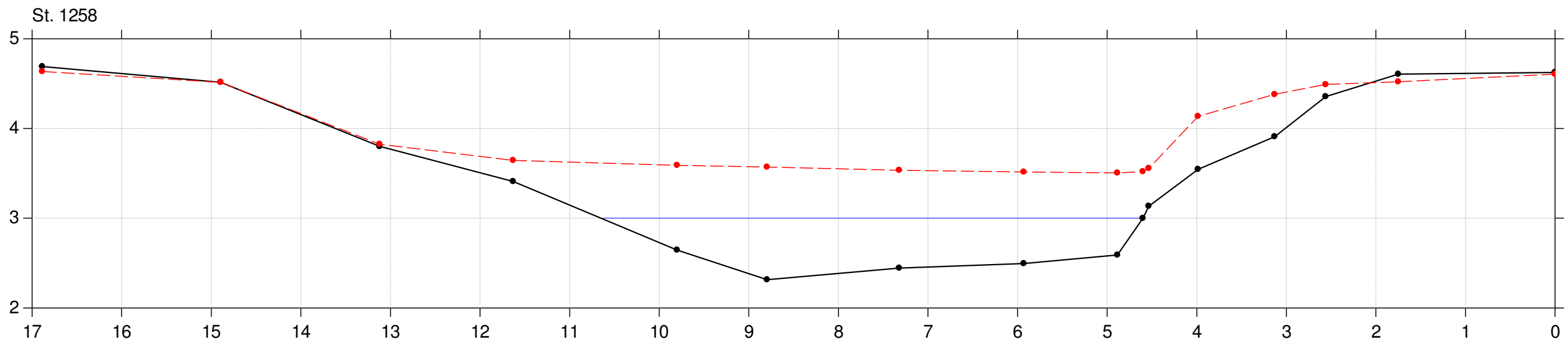
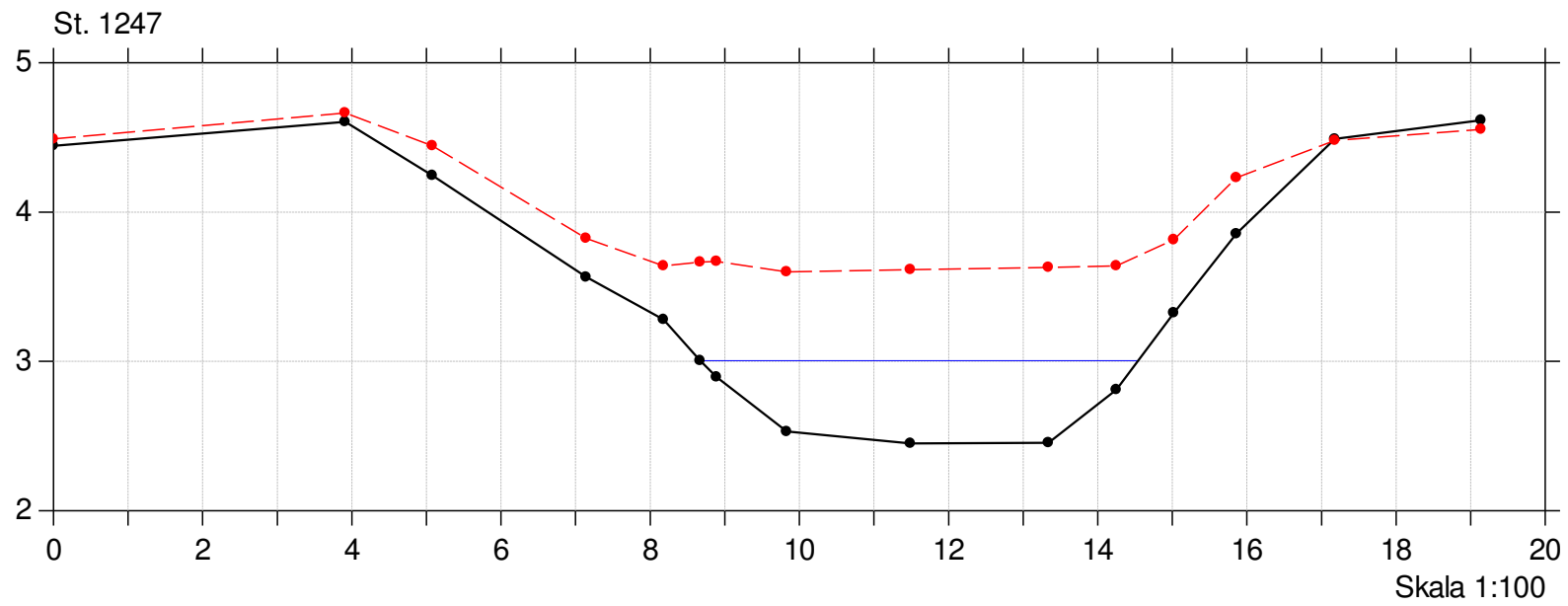
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



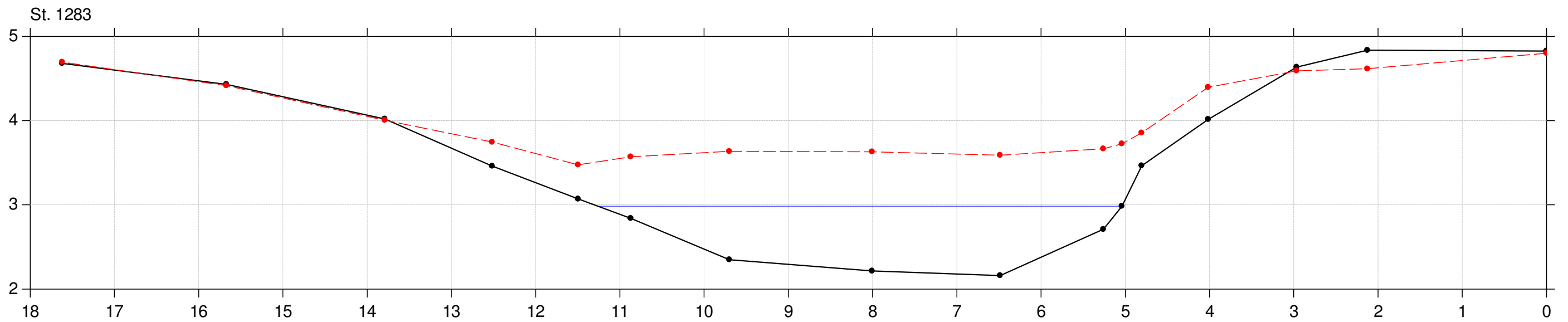
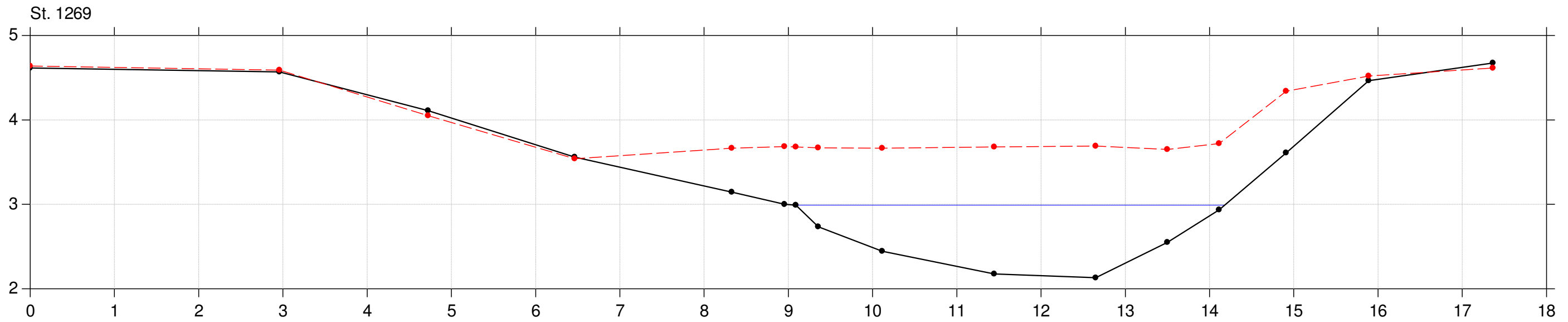
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

- - - ● DHM z punkter
- ● GPS opmåling



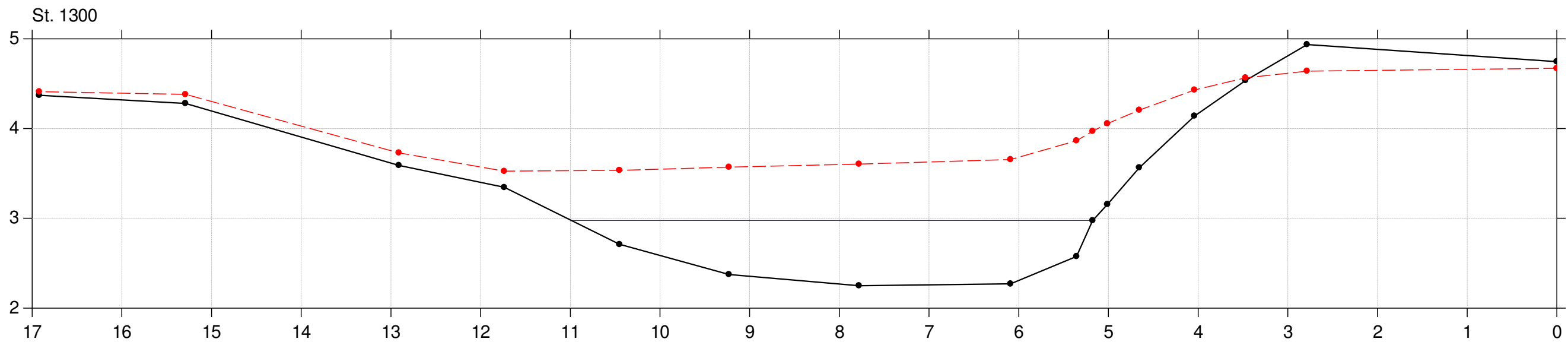
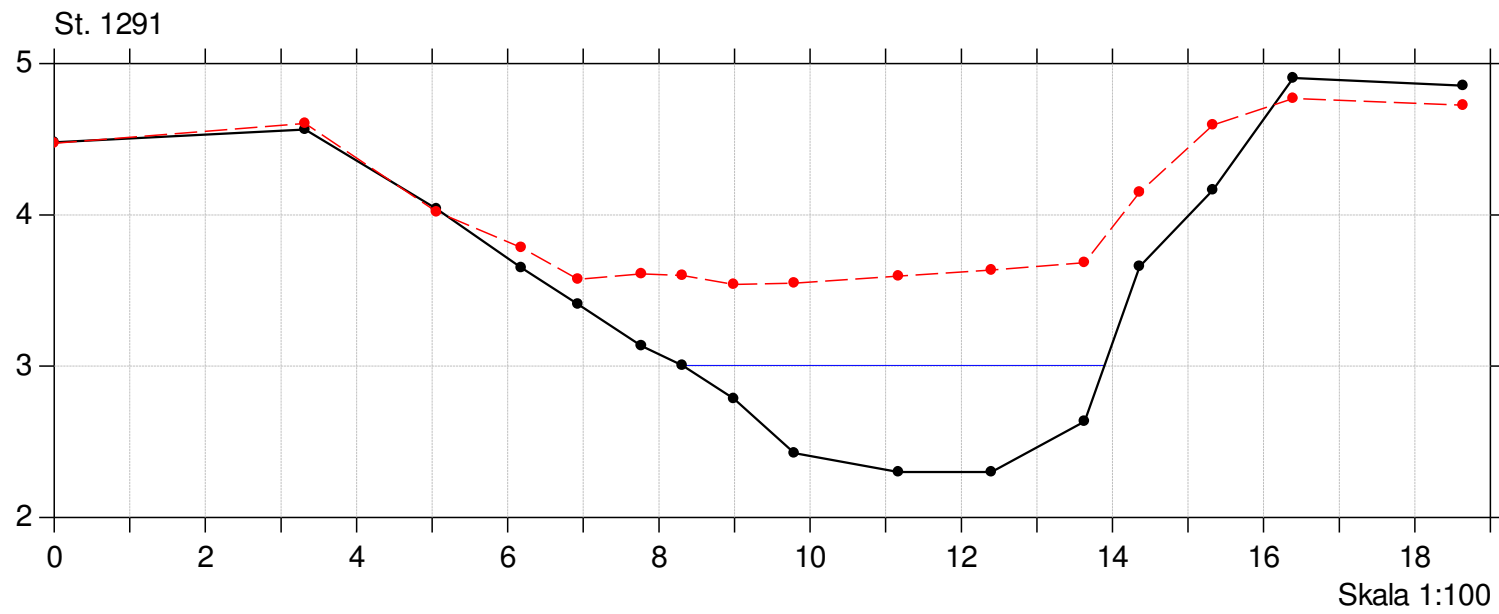
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

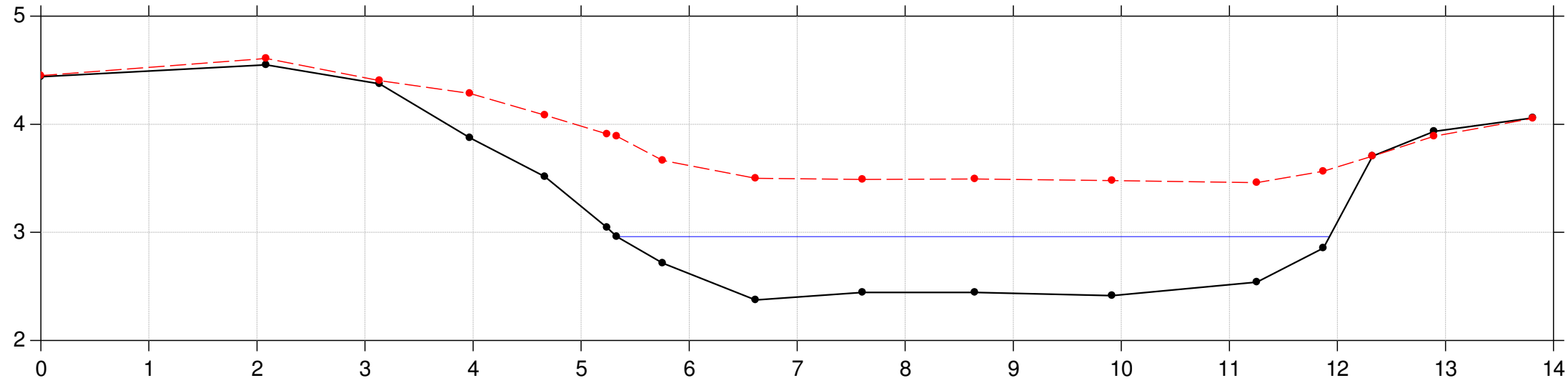
Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

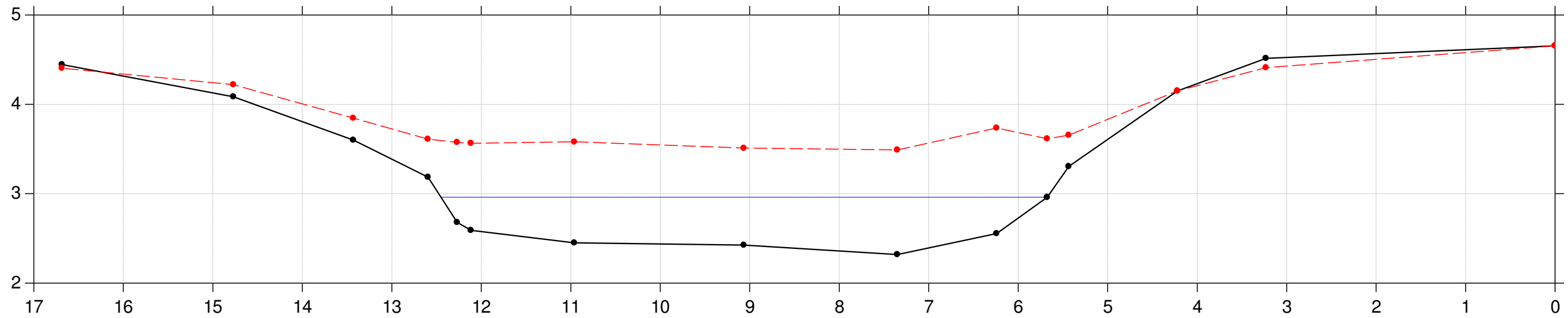
Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

- - - ● DHM z punkter
- ● GPS opmåling

St. 1319



St. 1338



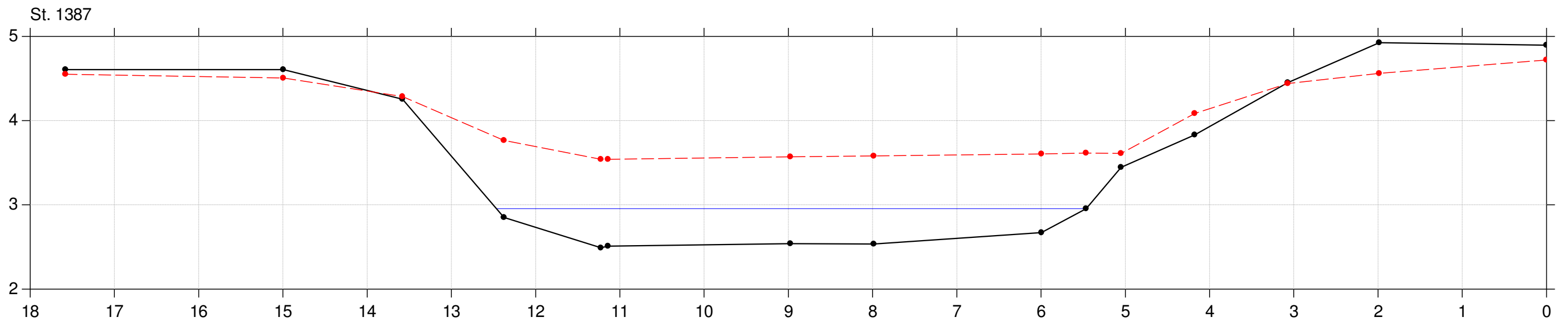
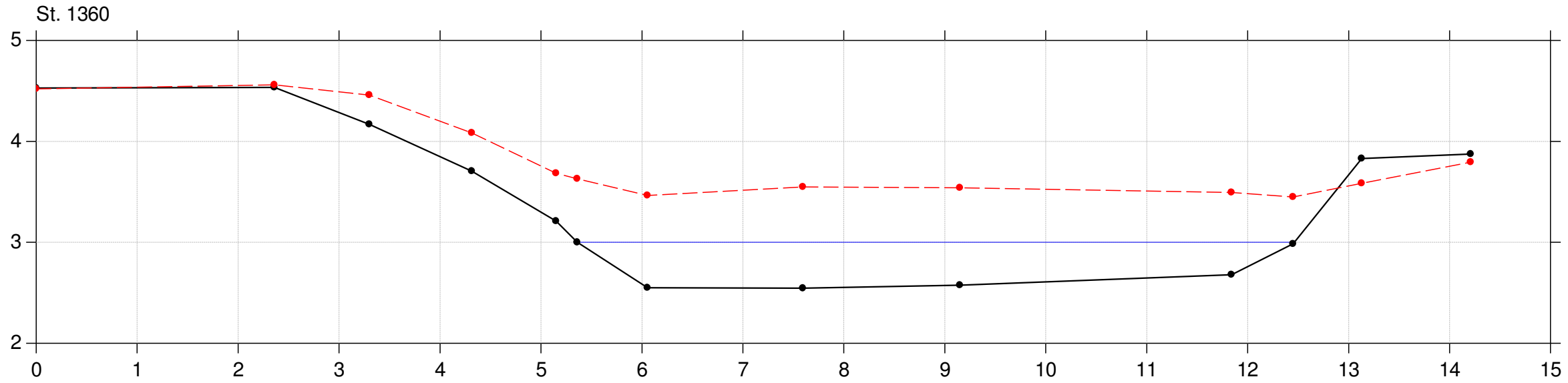
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

- DHM z punkter
- GPS opmåling



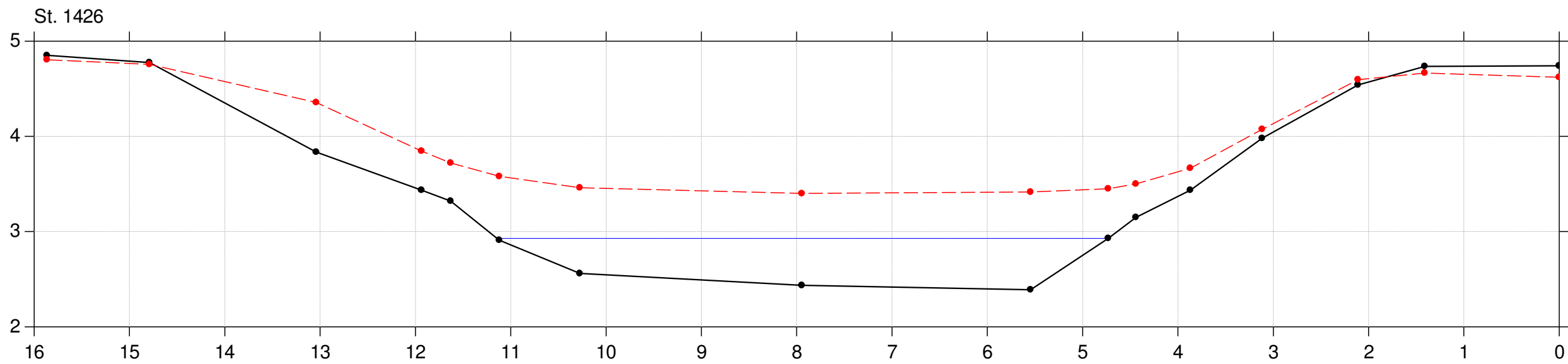
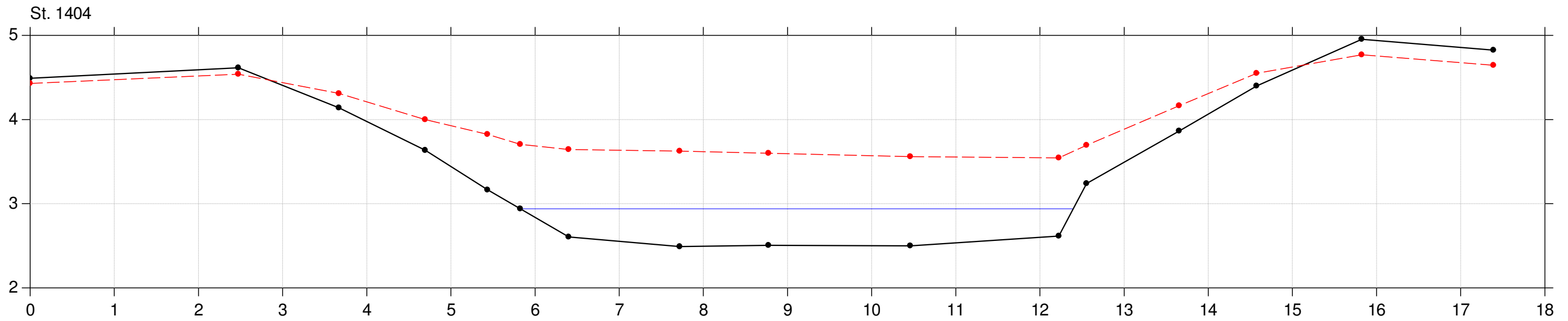
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

- - - ● DHM z punkter
- ● GPS opmåling



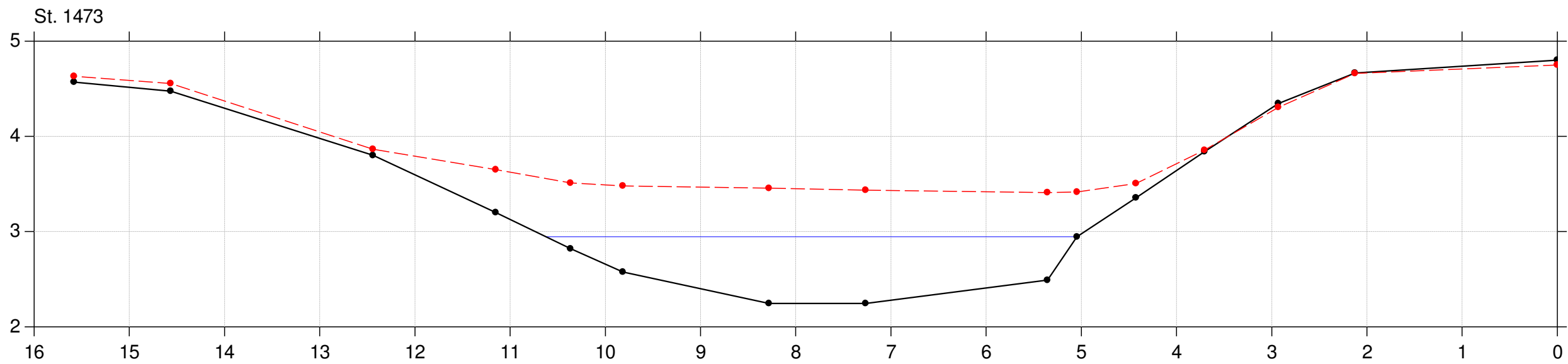
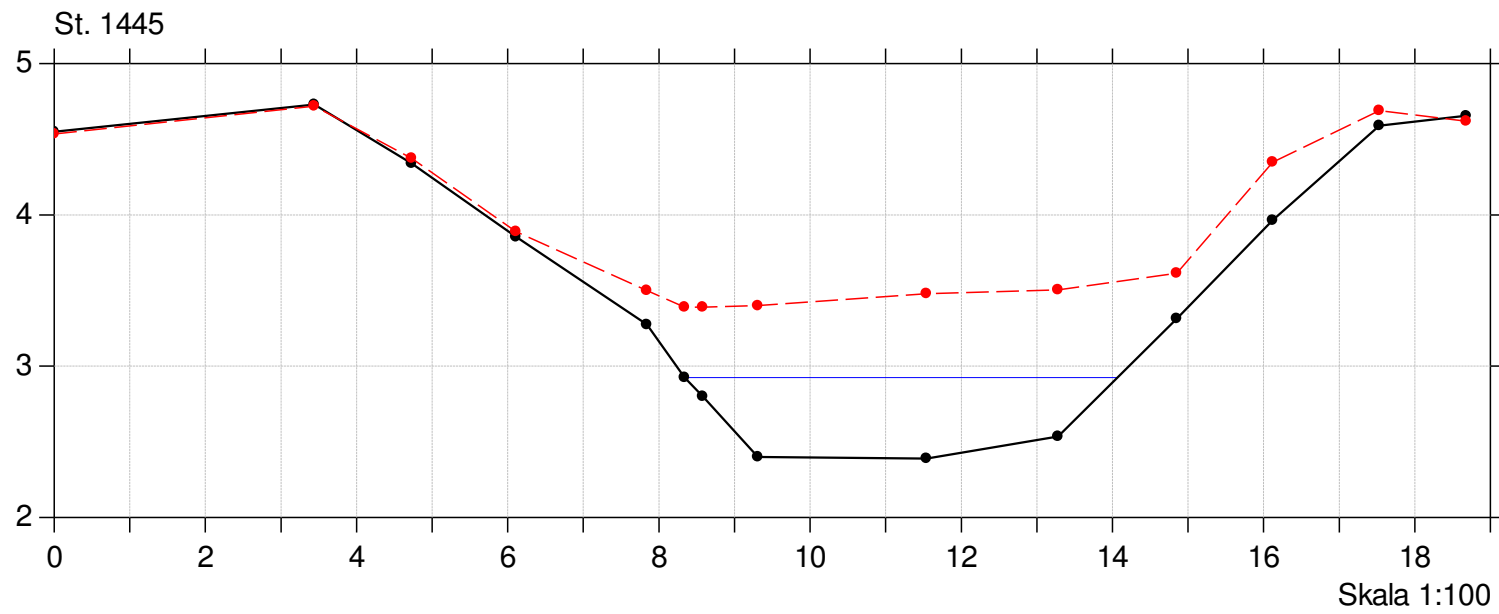
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



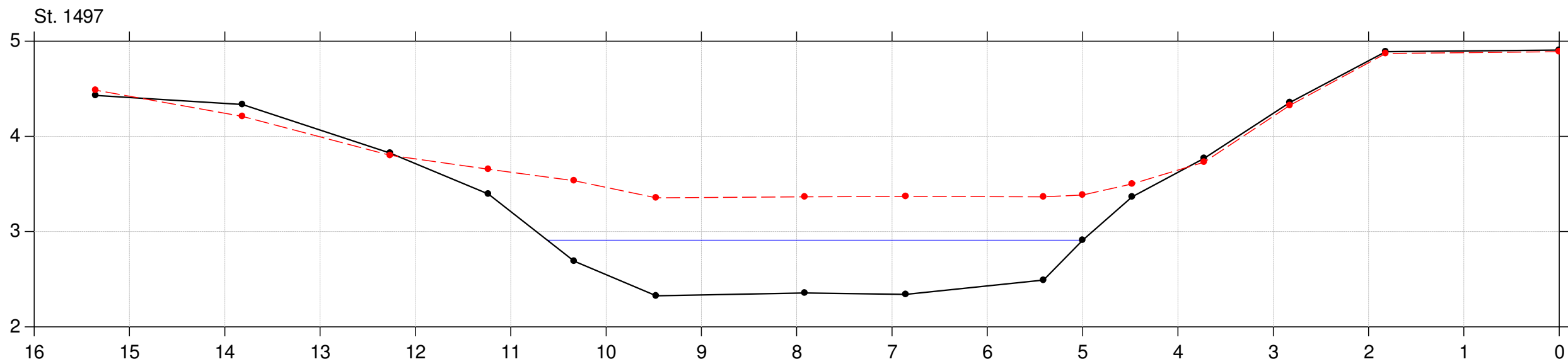
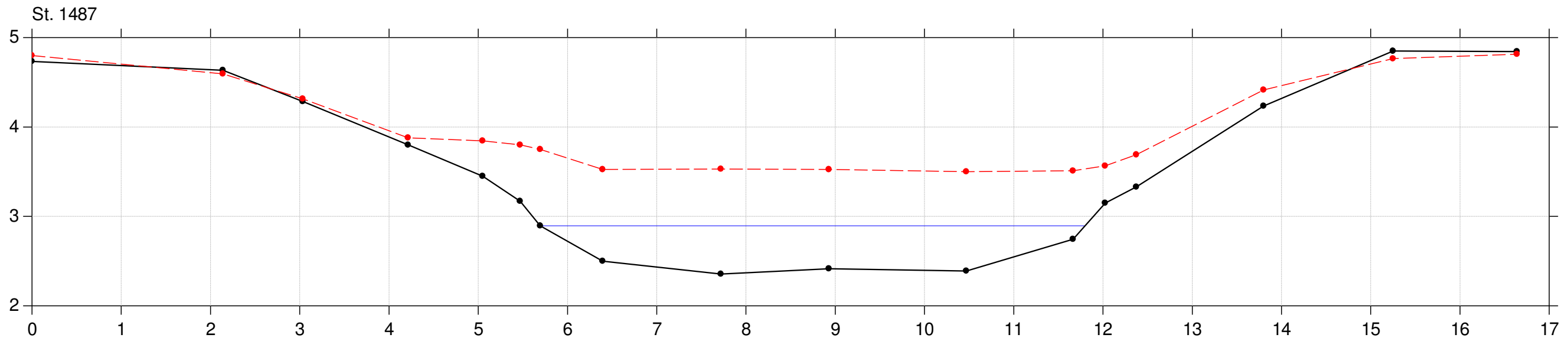
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



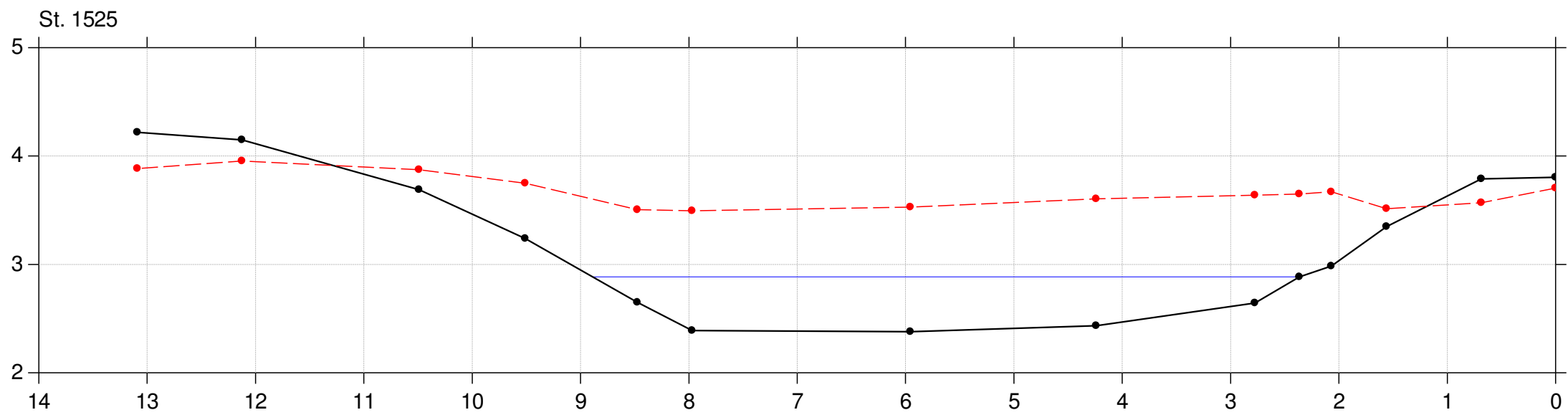
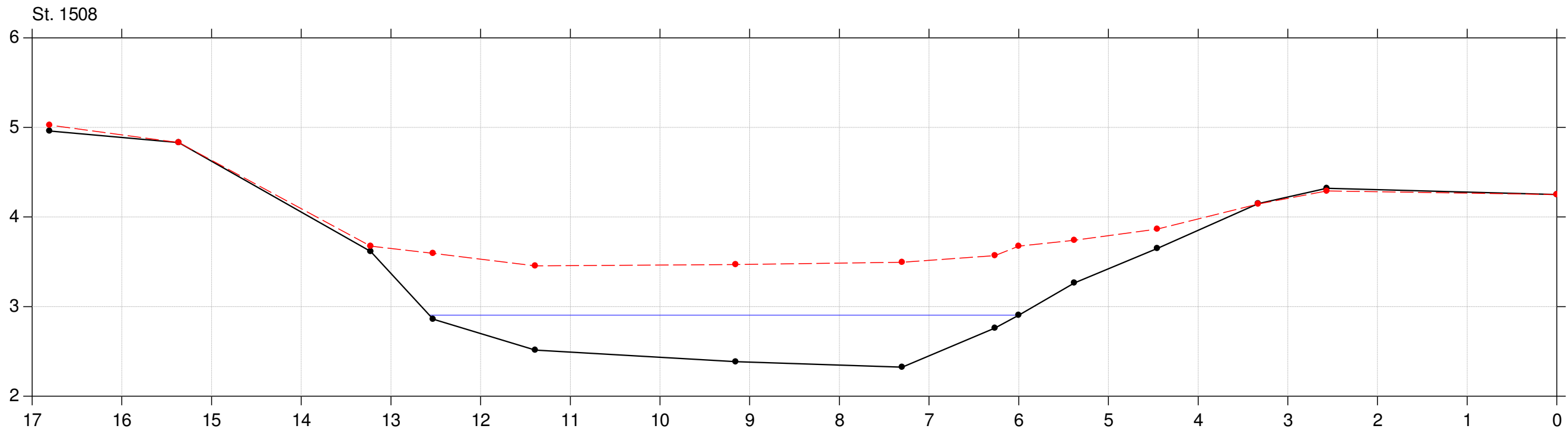
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

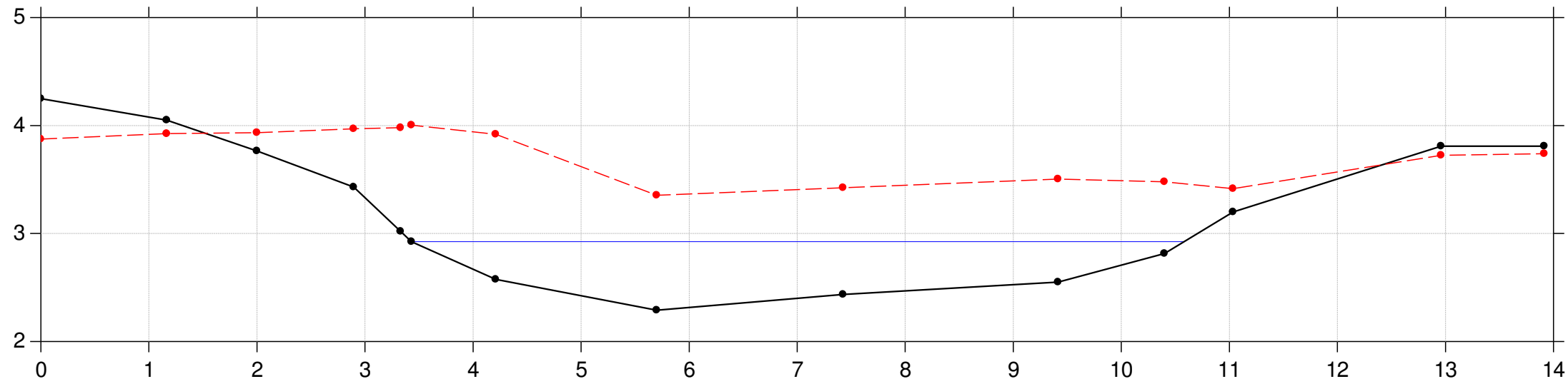
Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

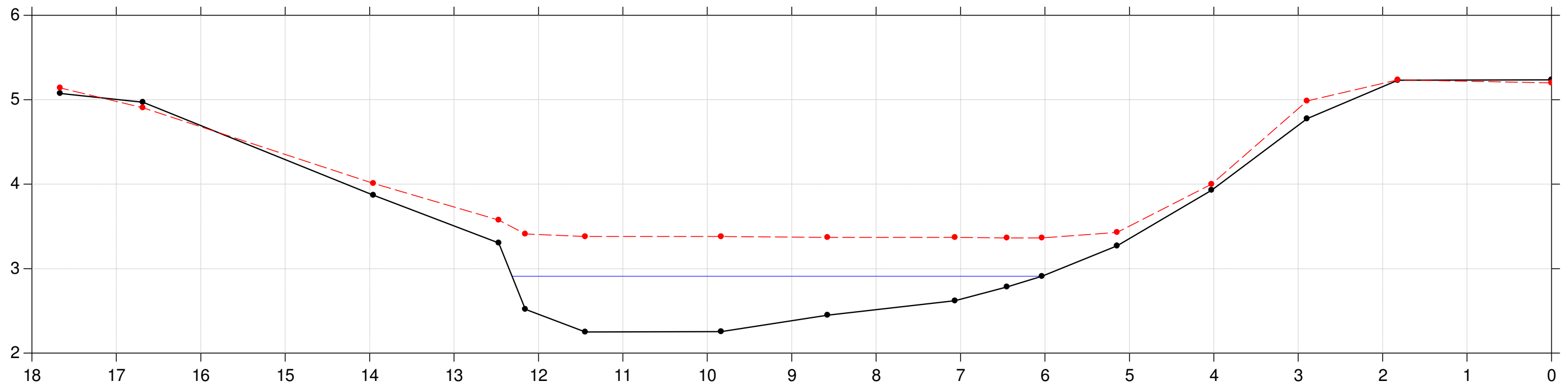
Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

- - - ● DHM z punkter
- ● GPS opmåling

St. 1527



St. 1560



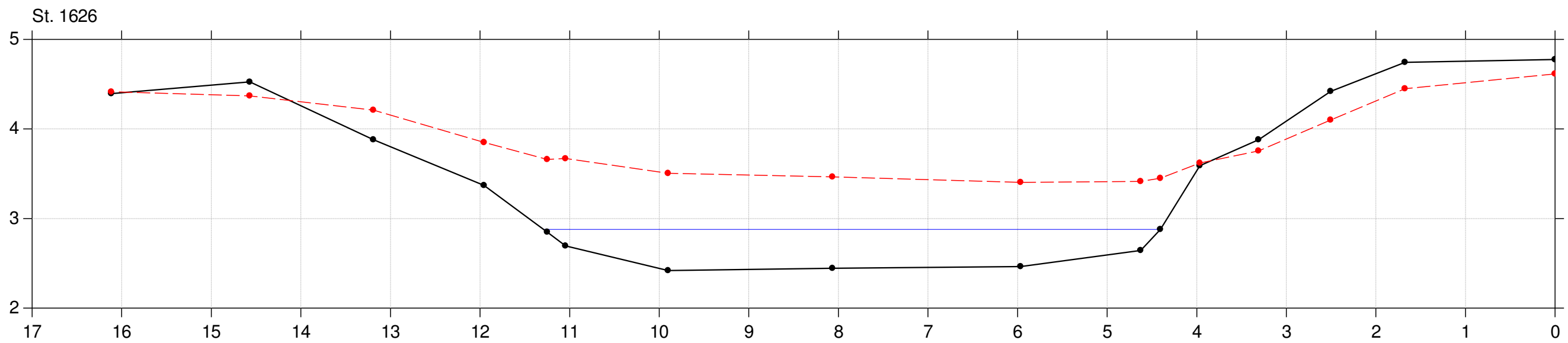
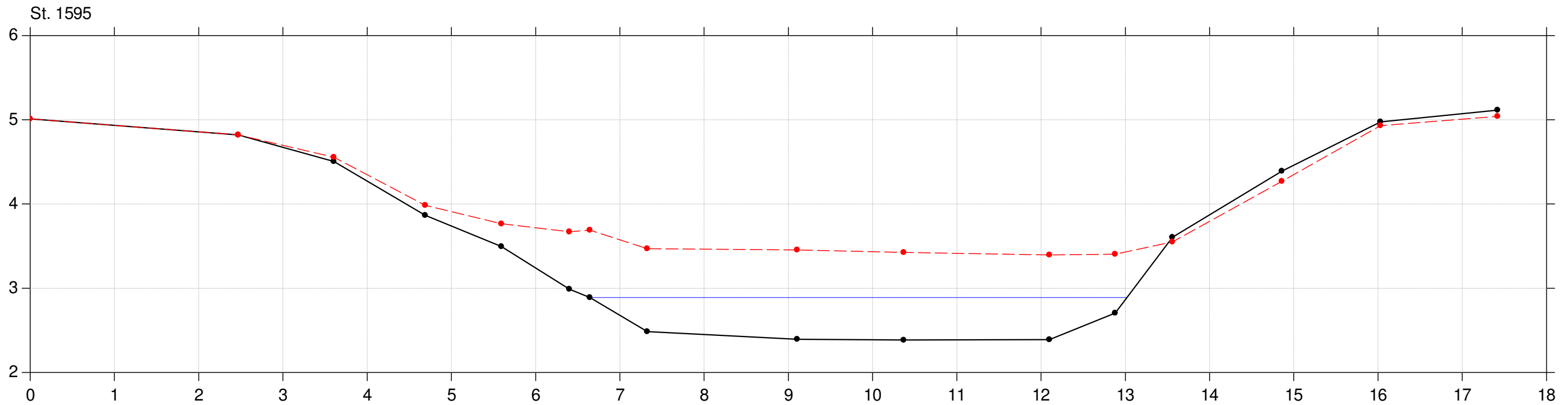
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

- - - ● DHM z punkter
- ● GPS opmåling



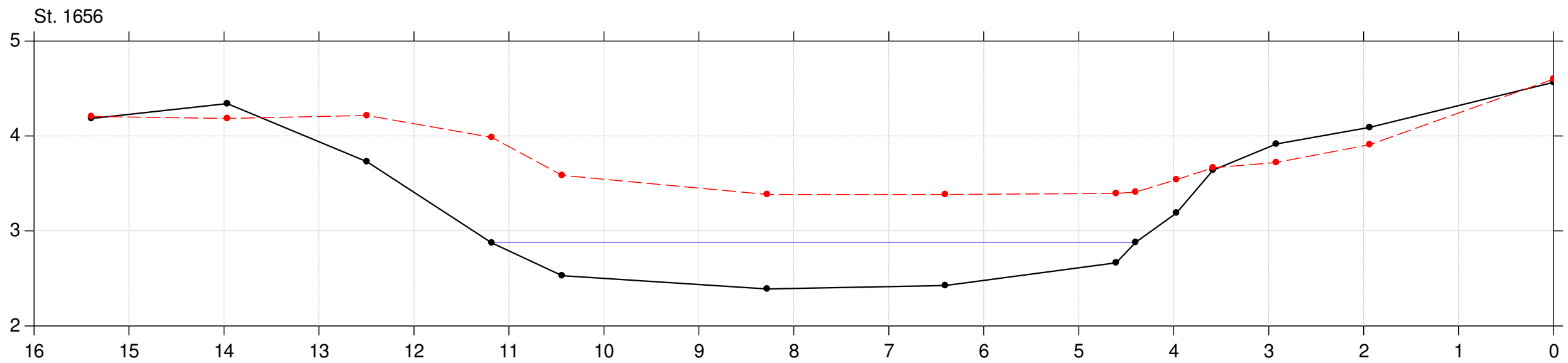
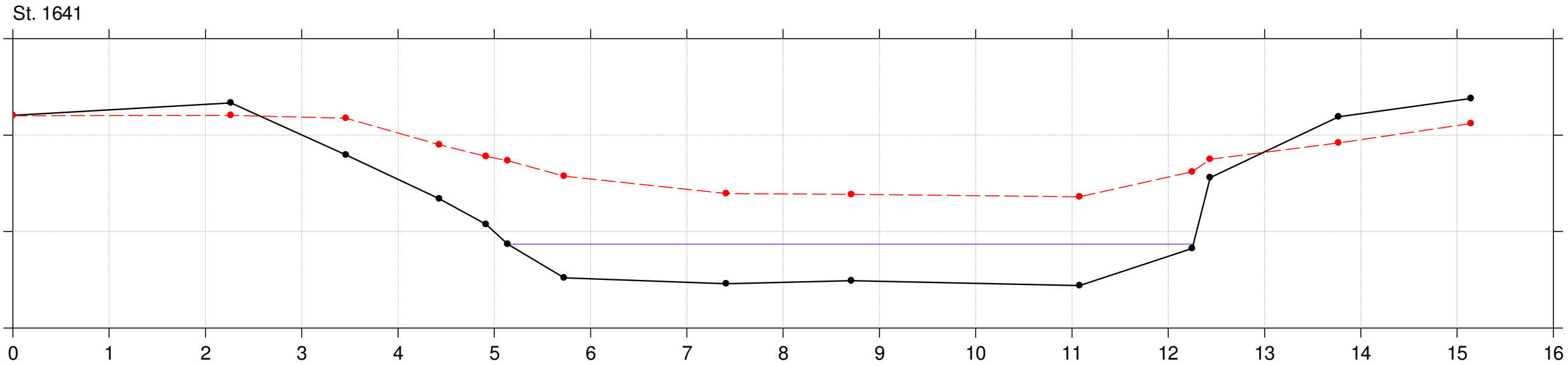
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



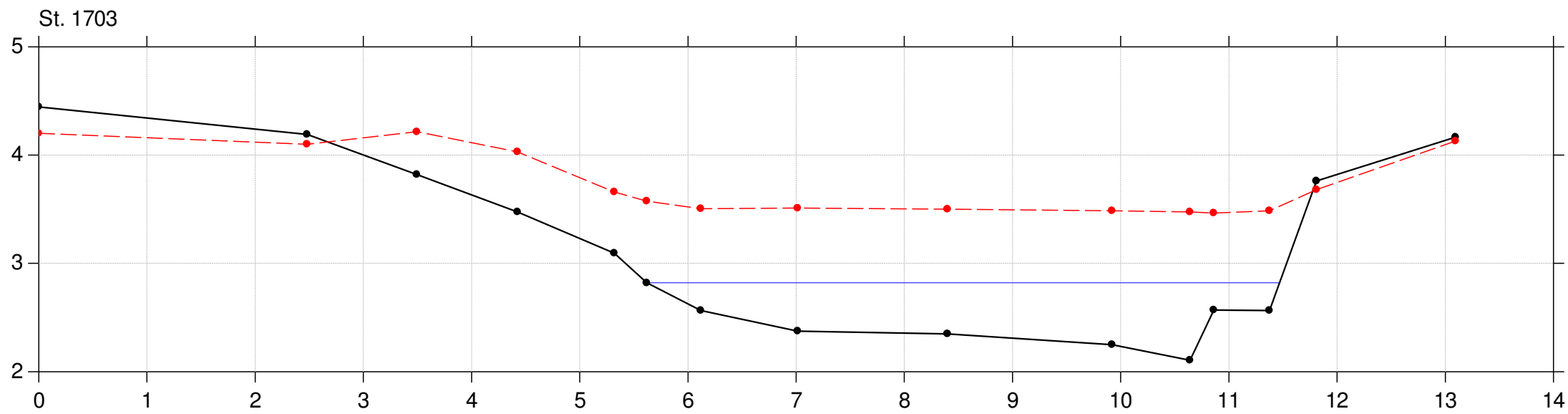
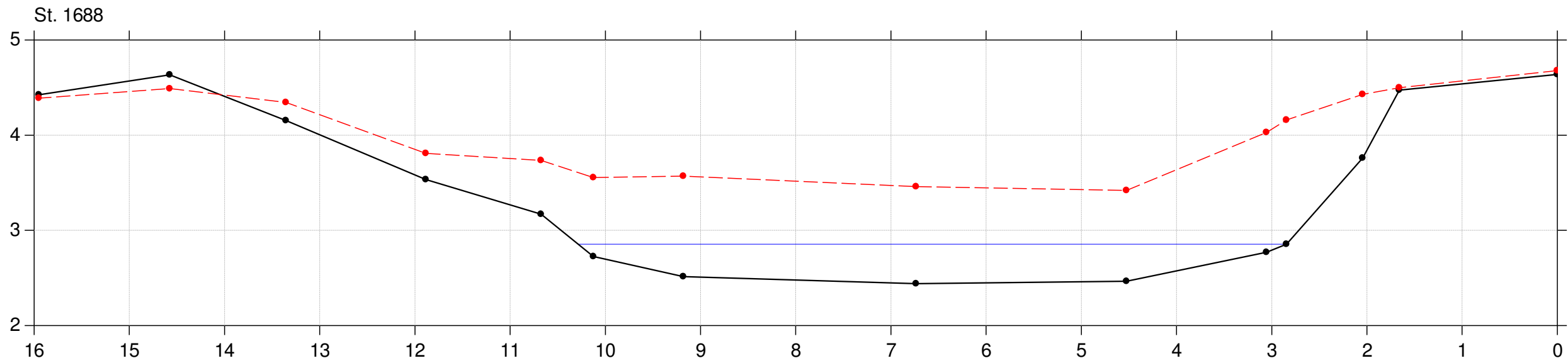
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



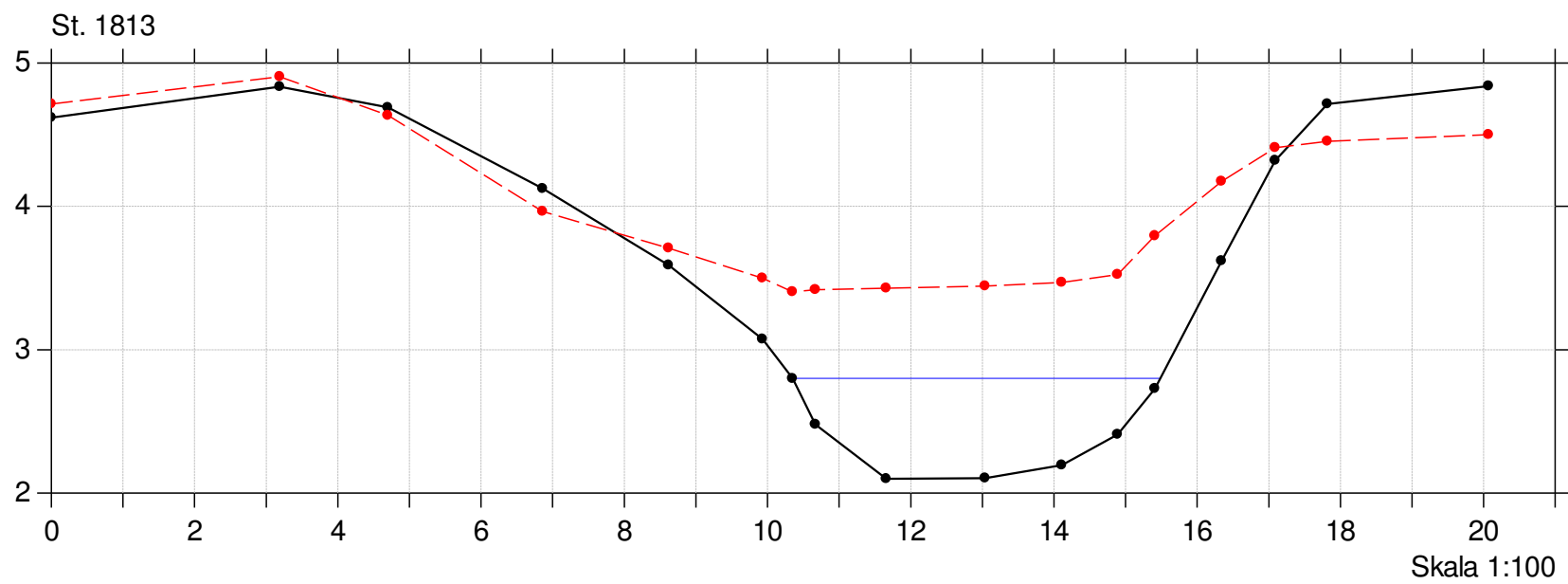
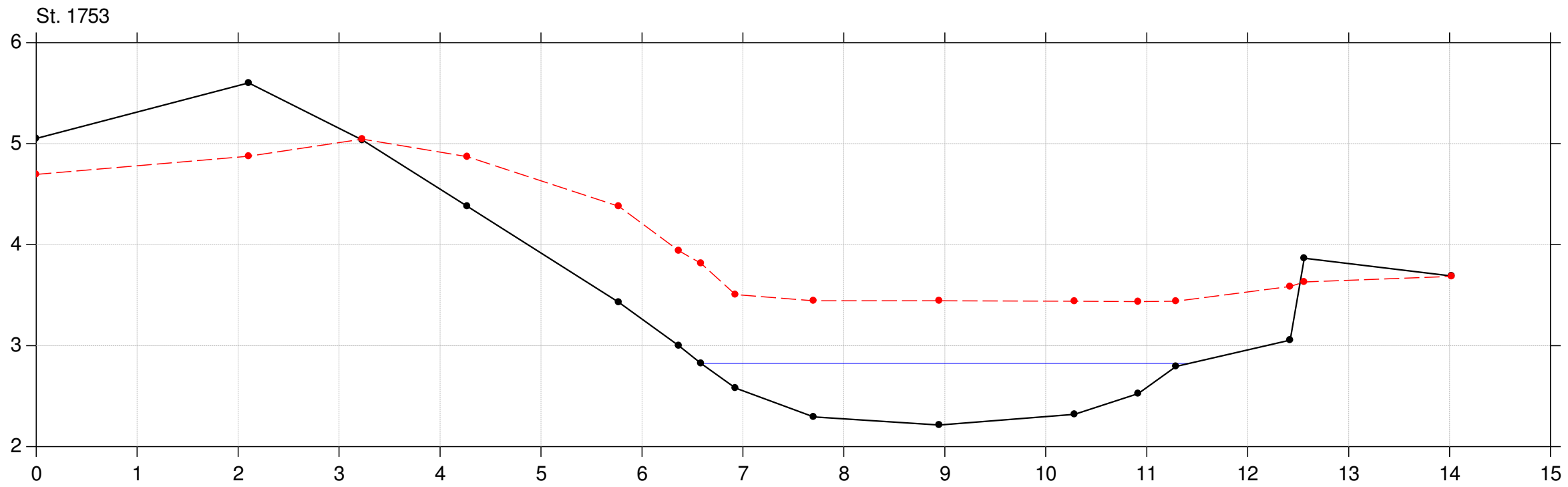
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



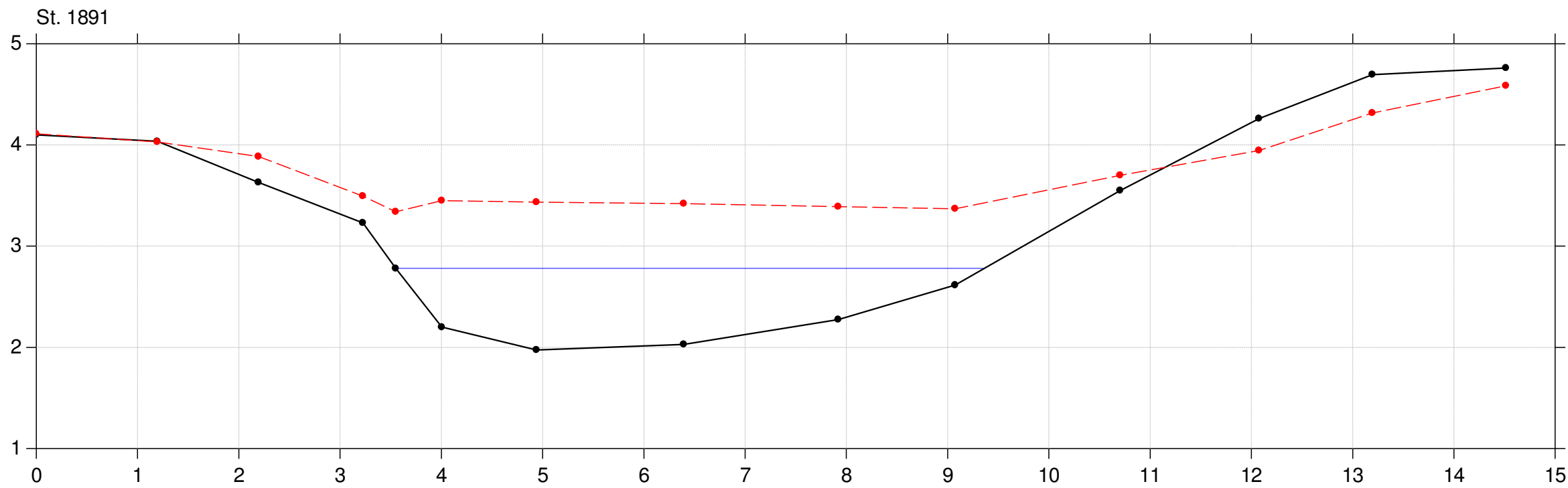
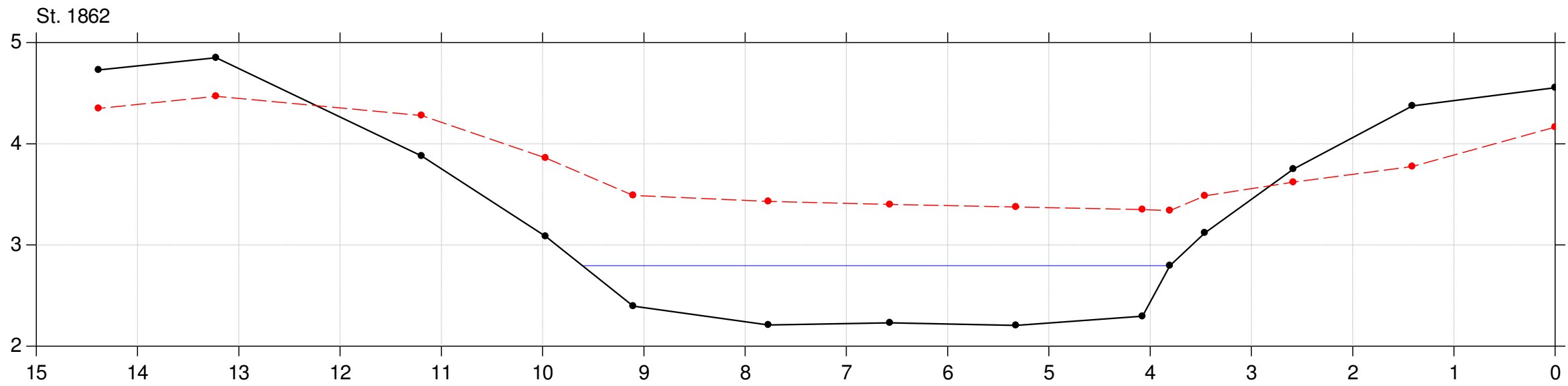
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling



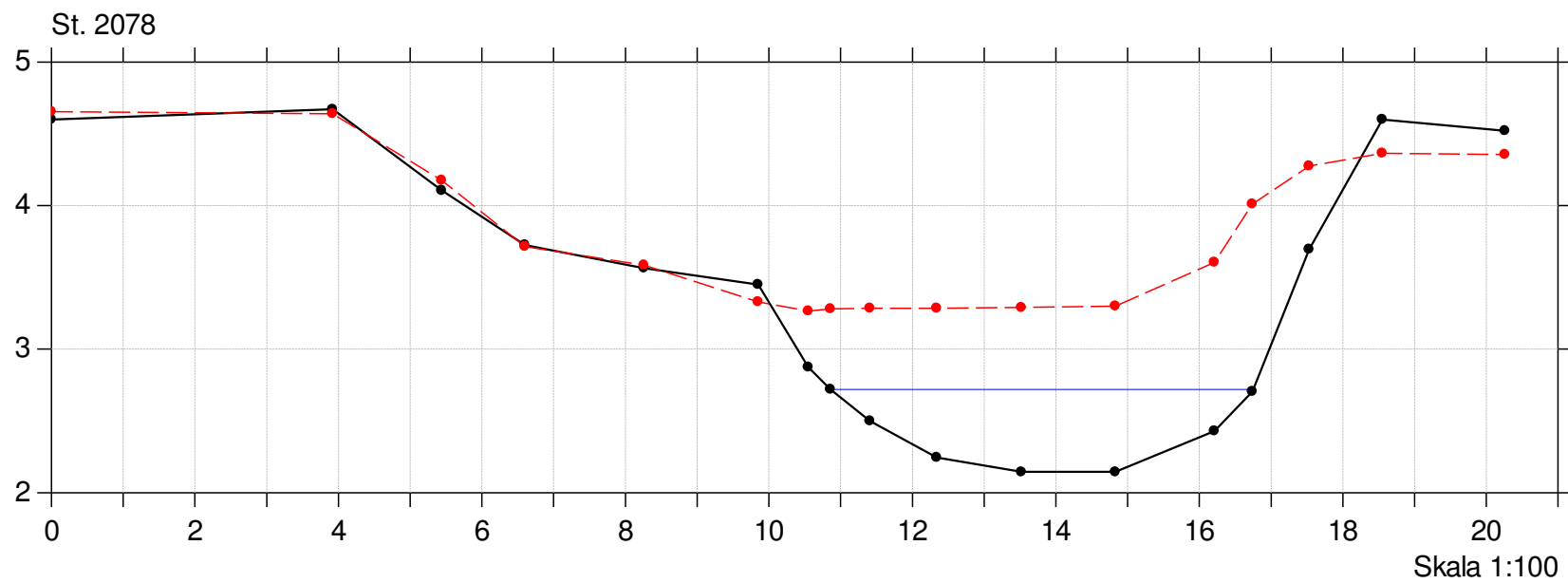
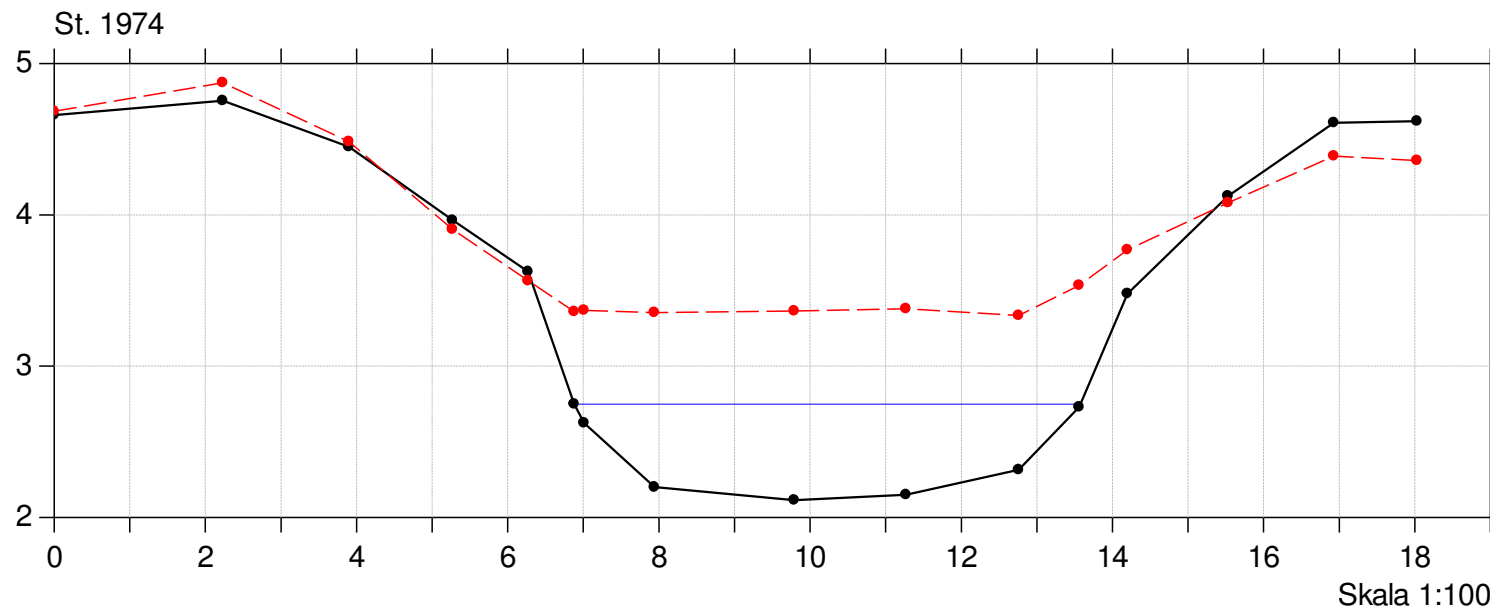
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

- - - ● DHM z punkter
- ● GPS opmåling



SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

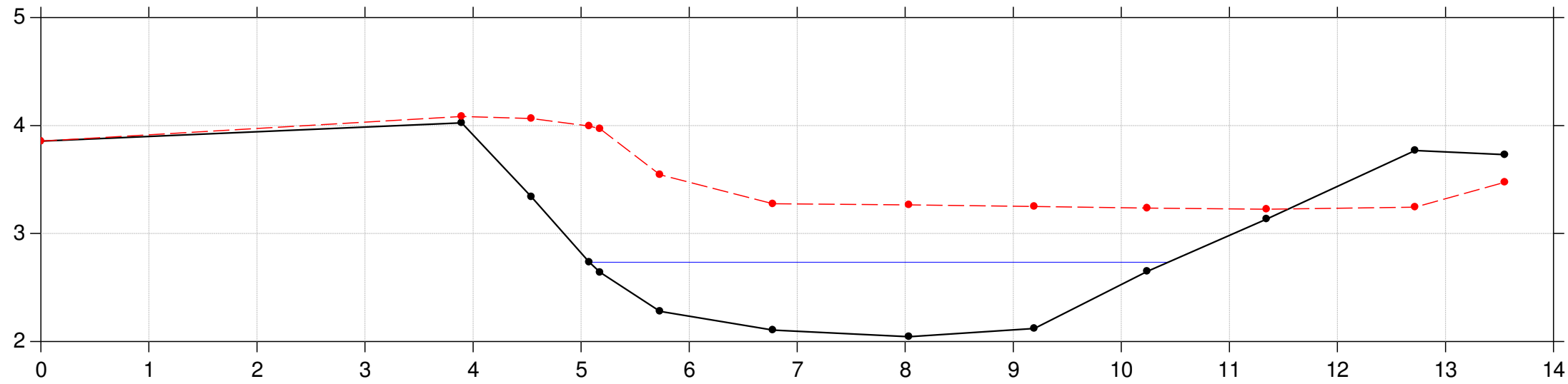
Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

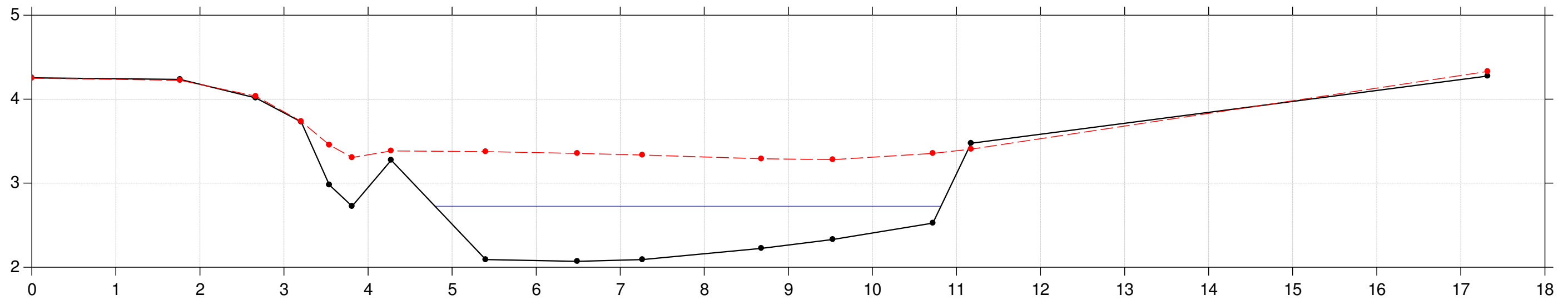
Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

- - - ● DHM z punkter
- ● GPS opmåling

St. 2137



St. 2175



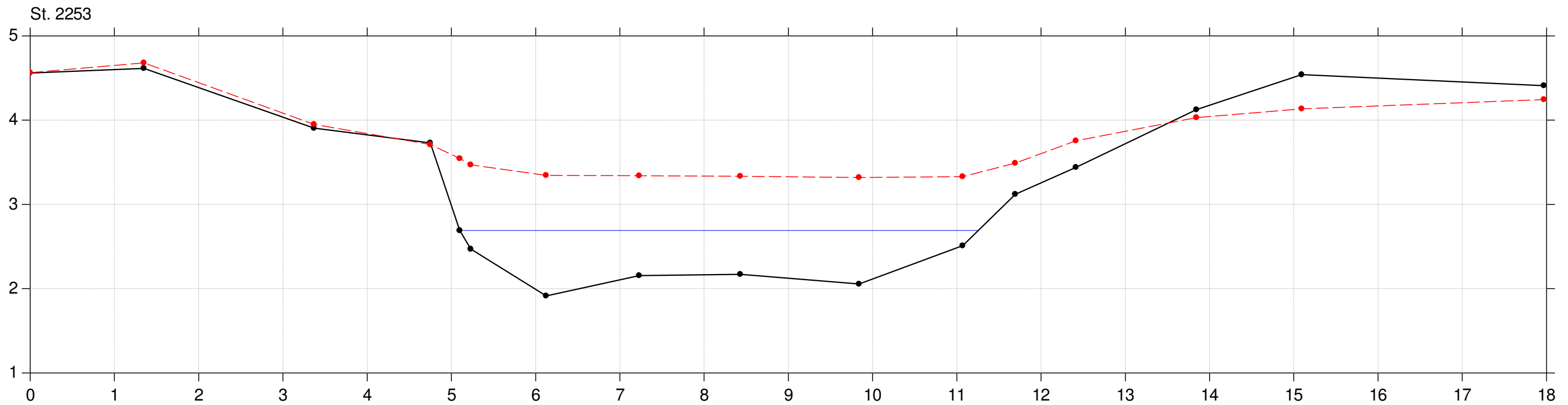
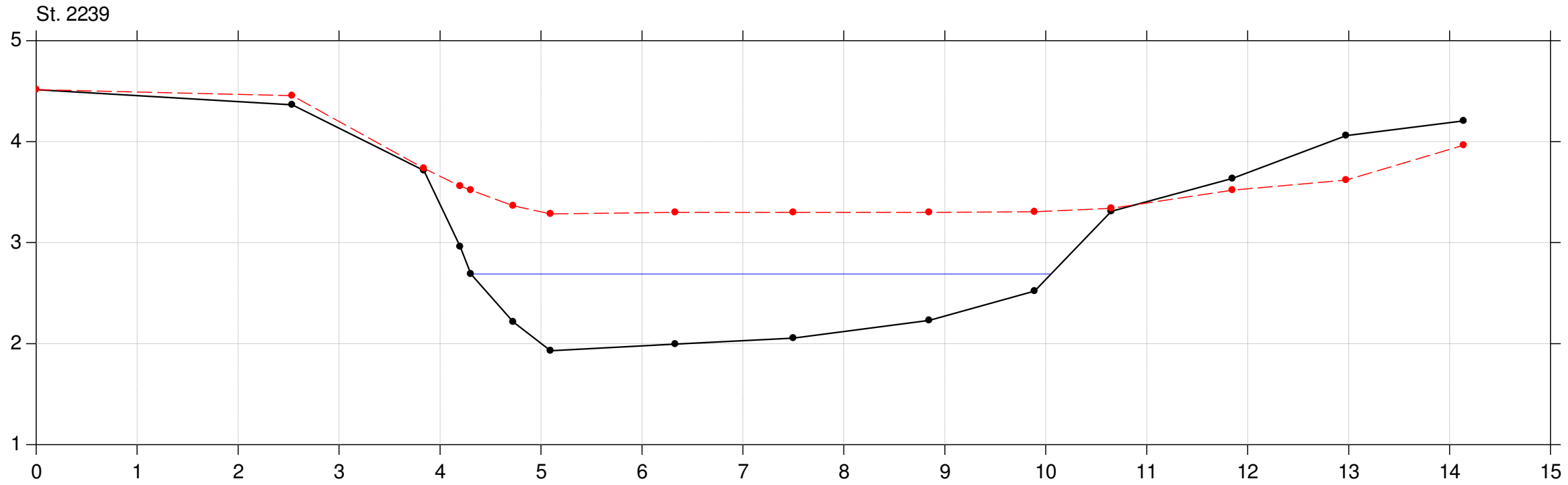
SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

Blå Streg viser vandspejl på dagen for GPS opmålingen.

---•--- DHM z punkter
—•— GPS opmåling

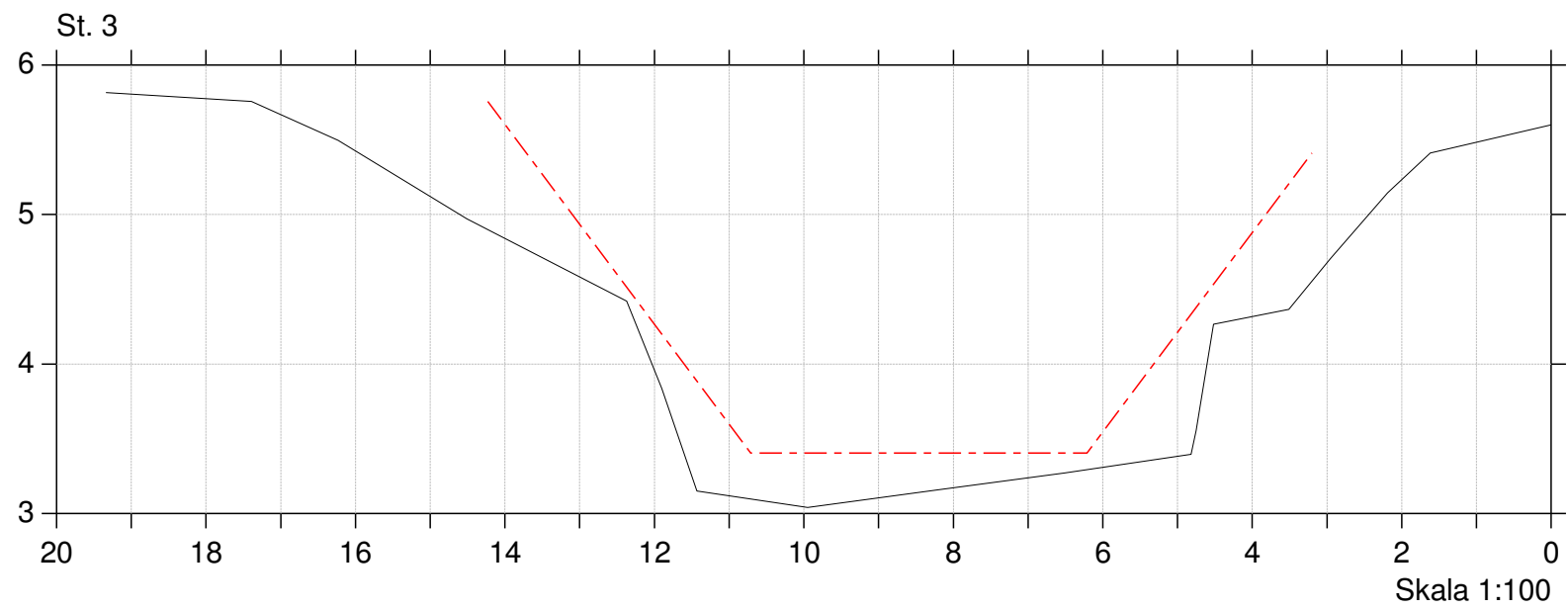
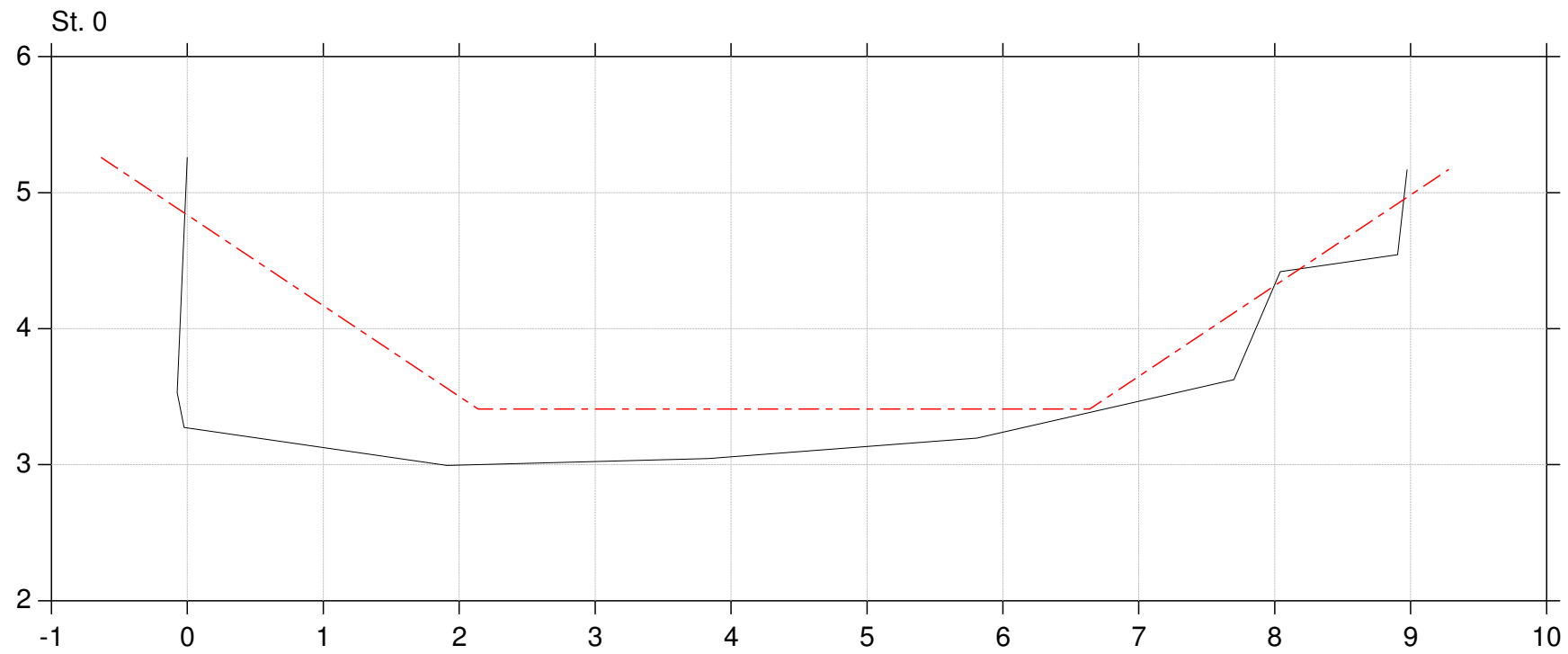


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

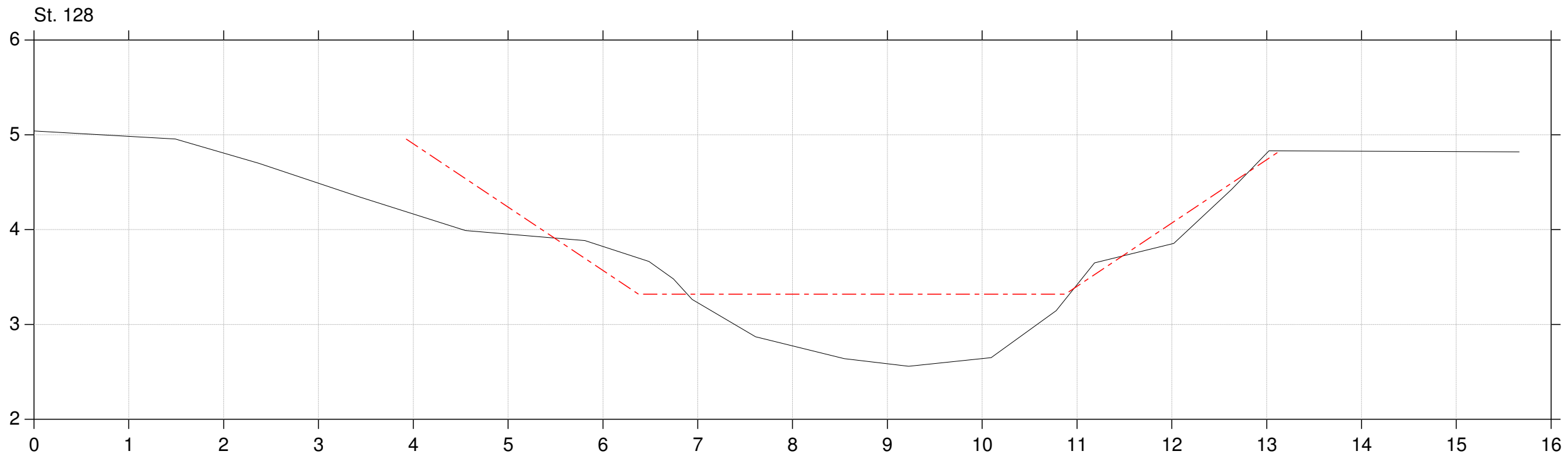
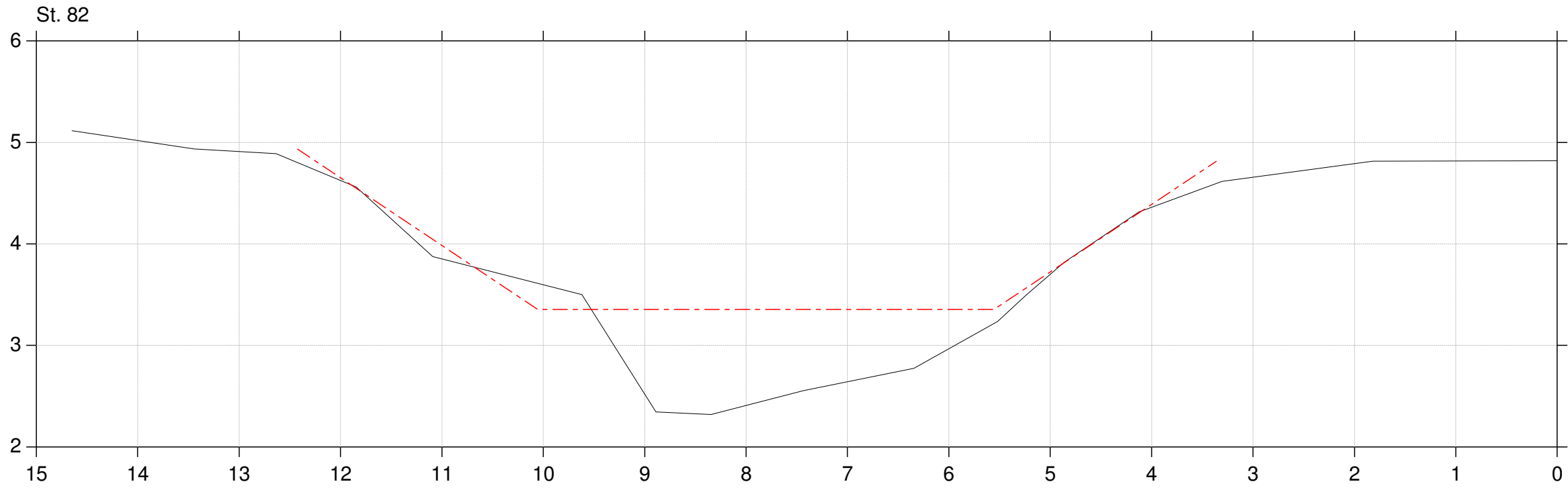


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

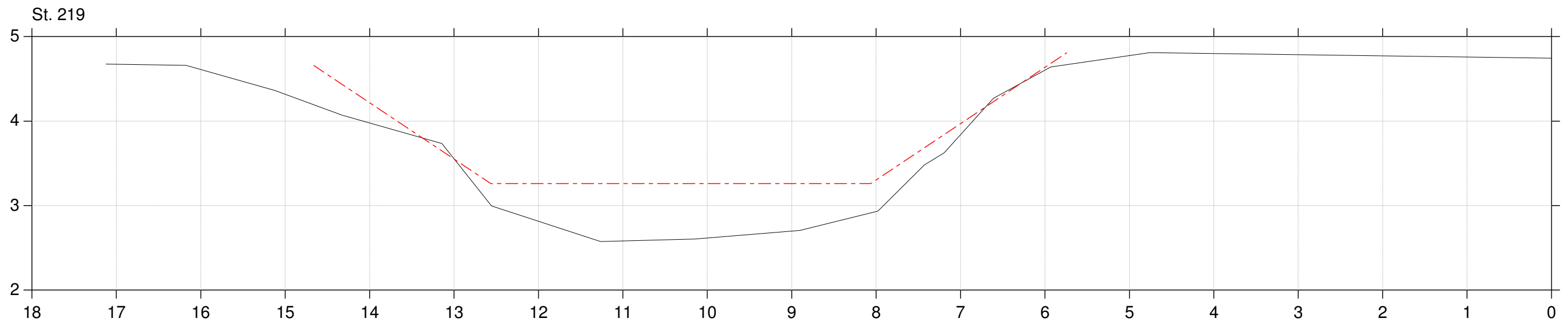
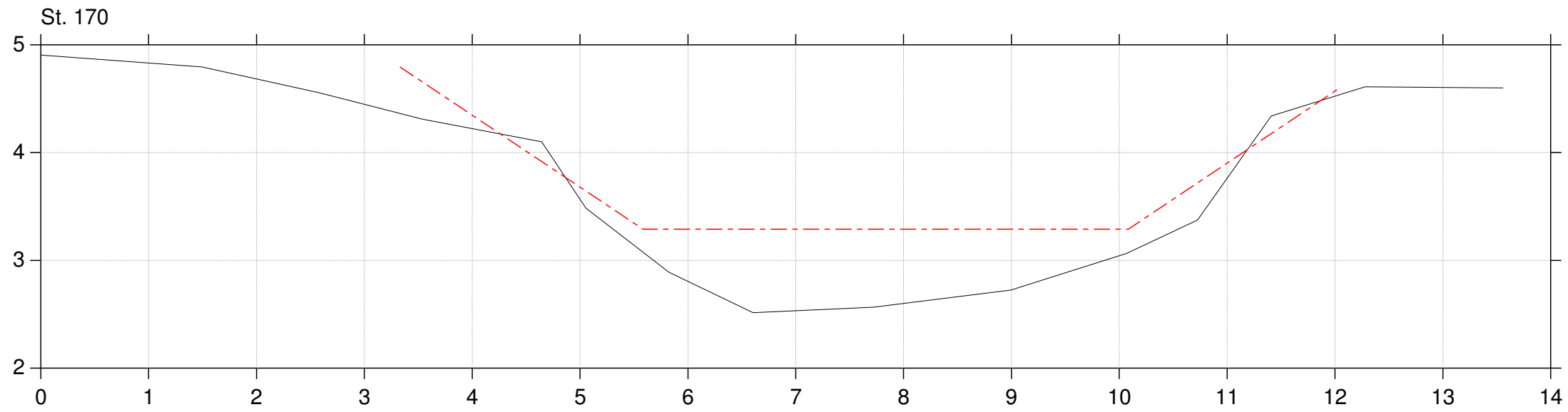


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

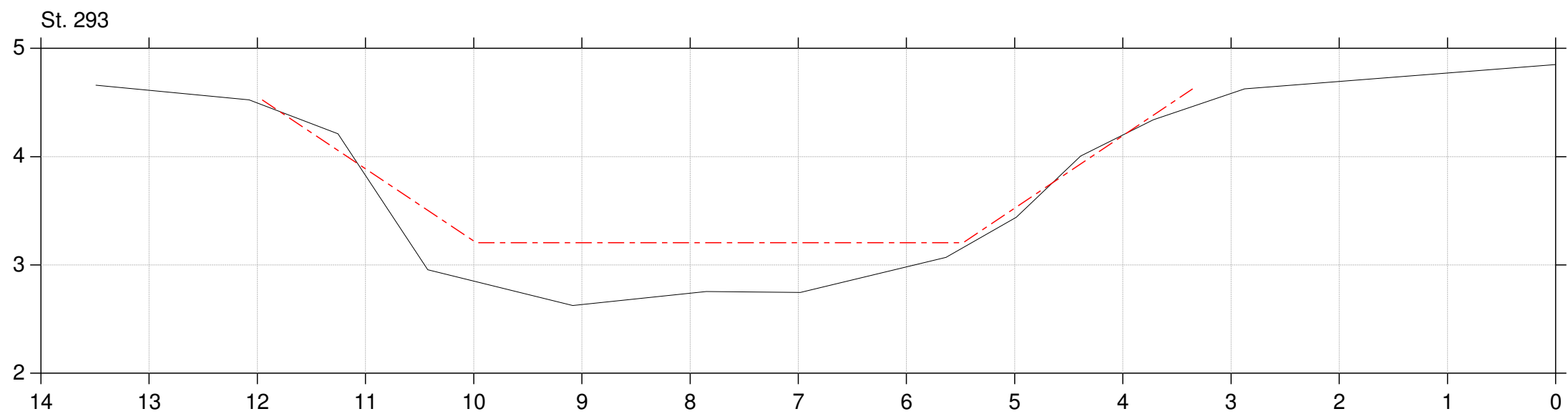
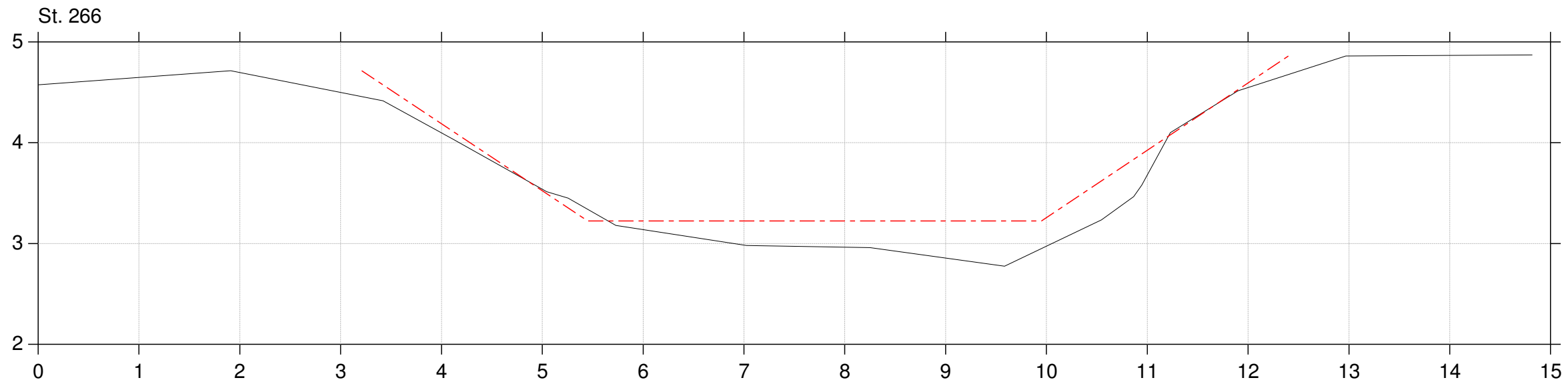


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

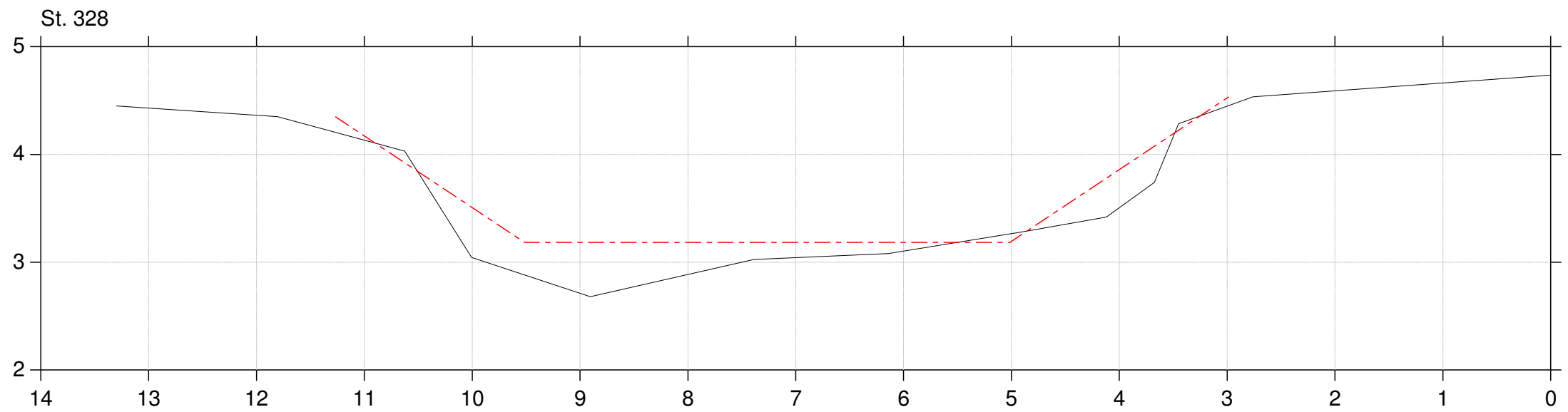
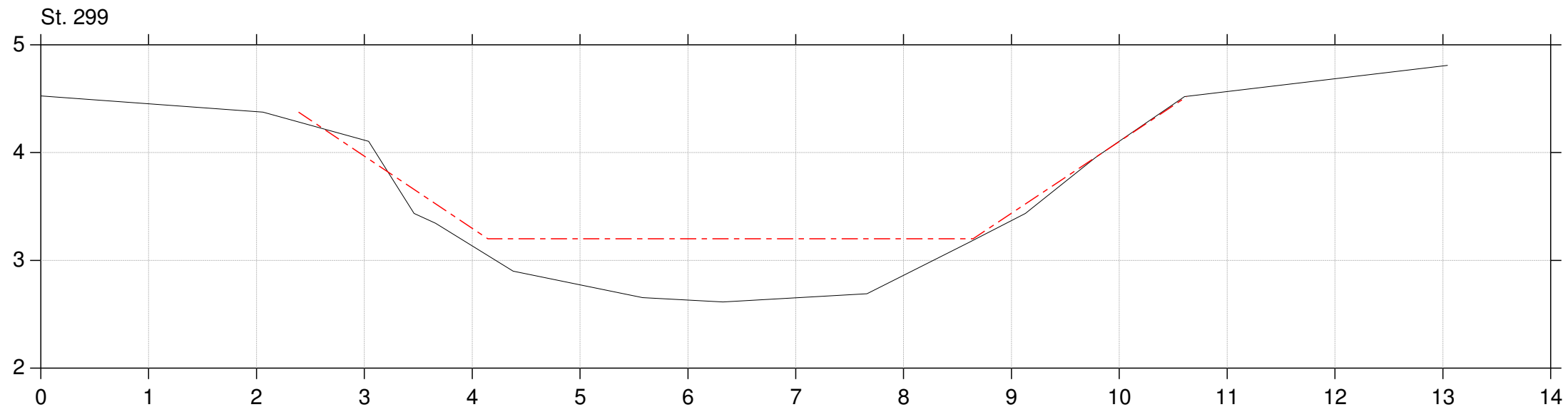


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

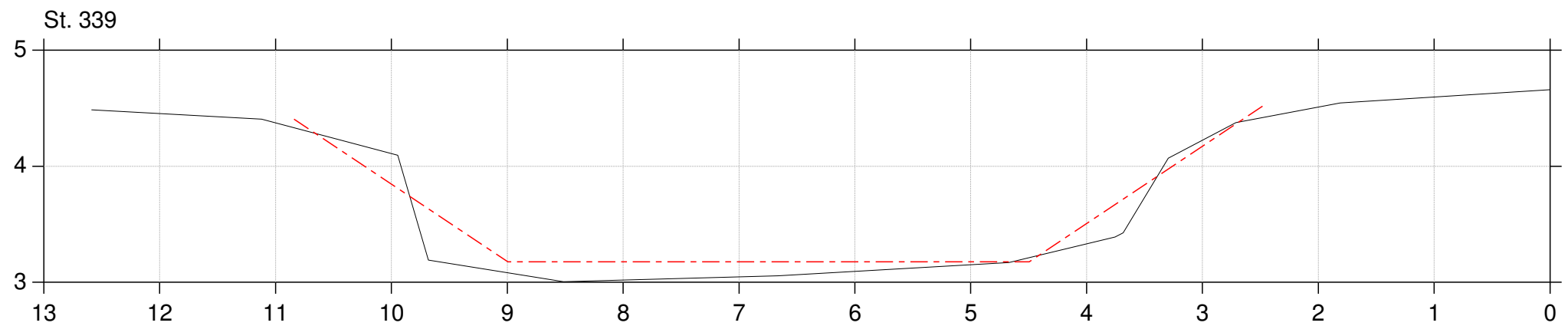
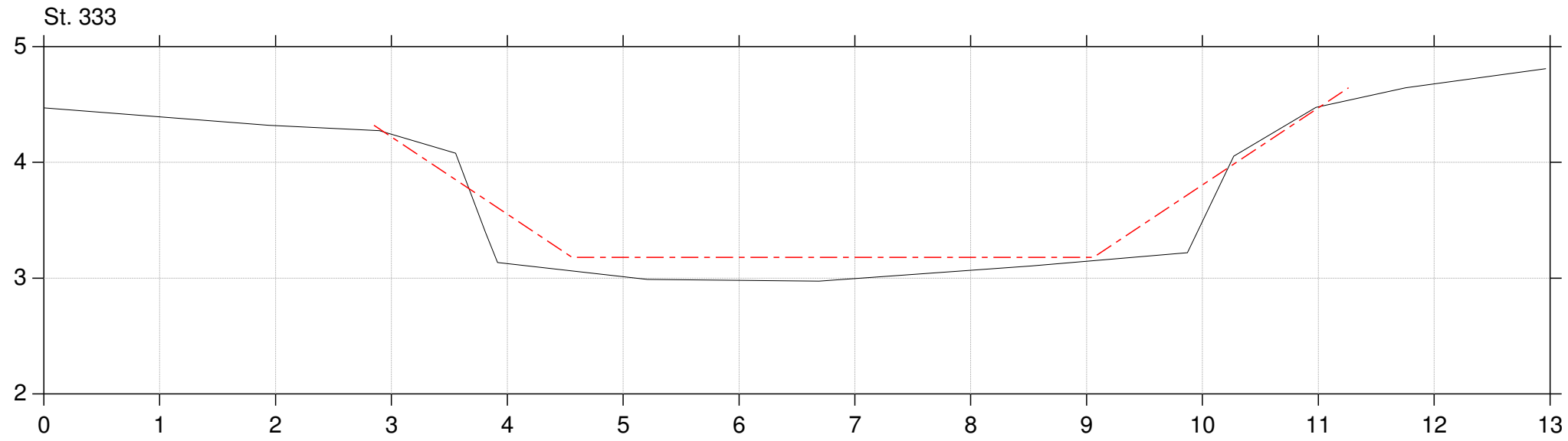


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

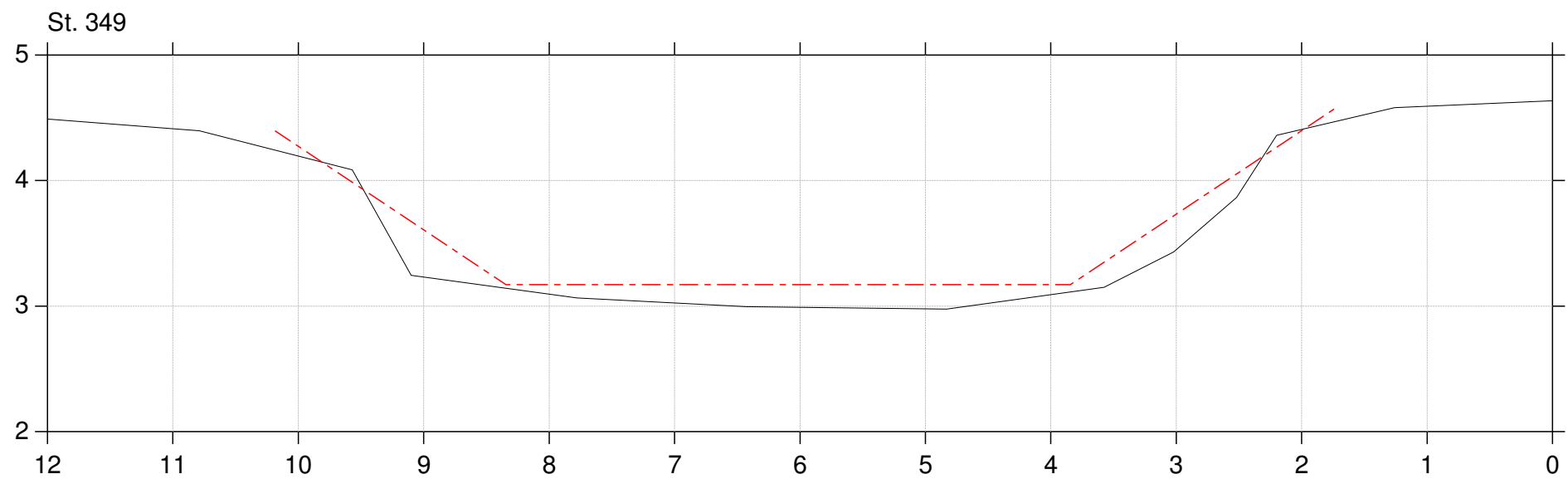
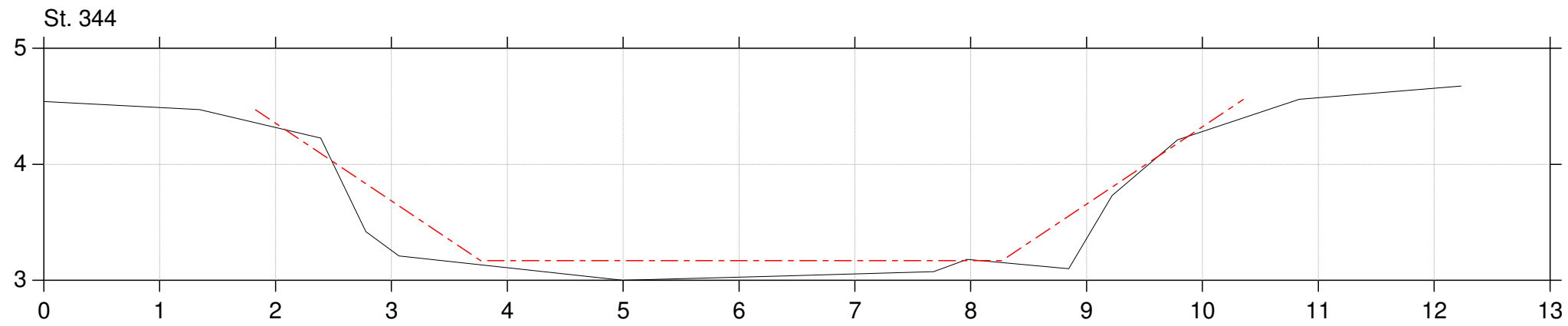


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

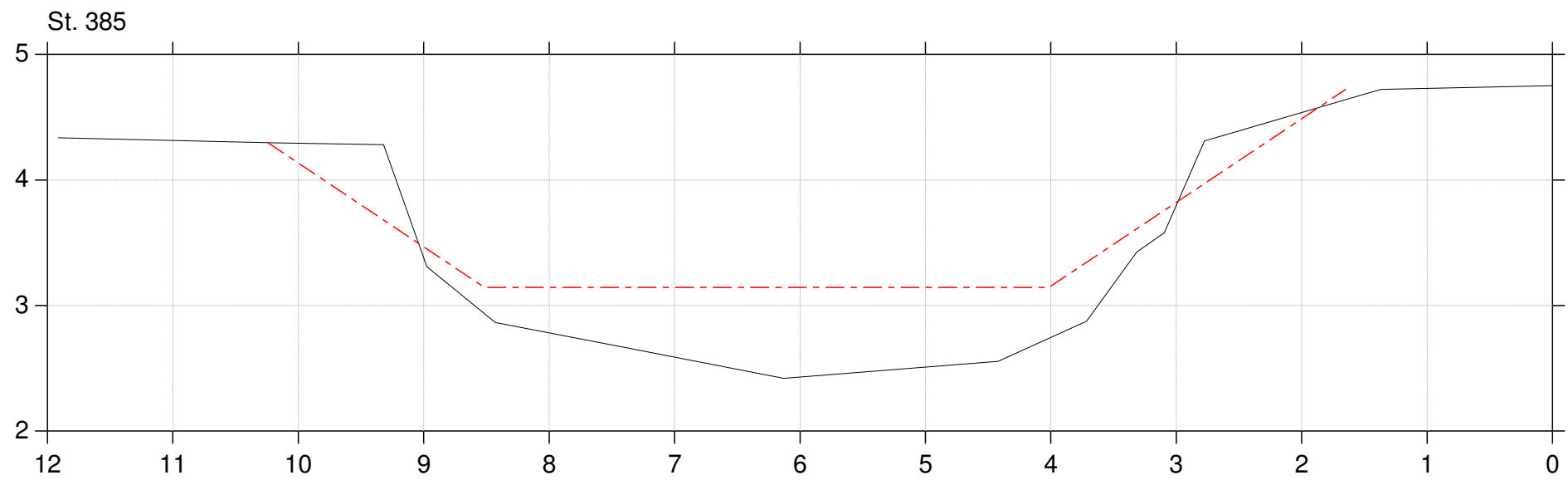
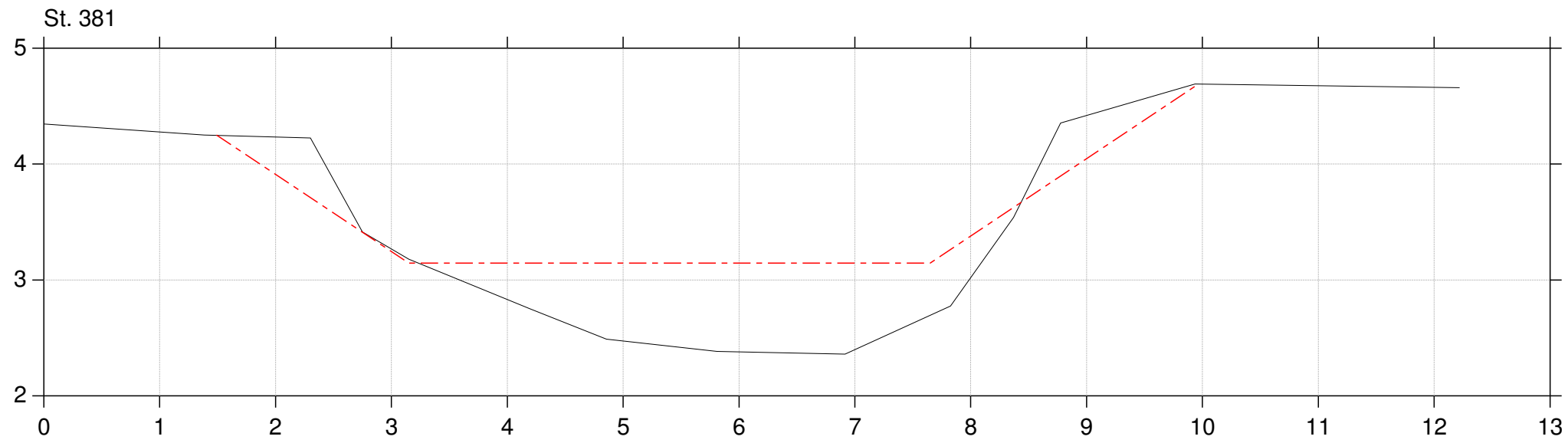


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

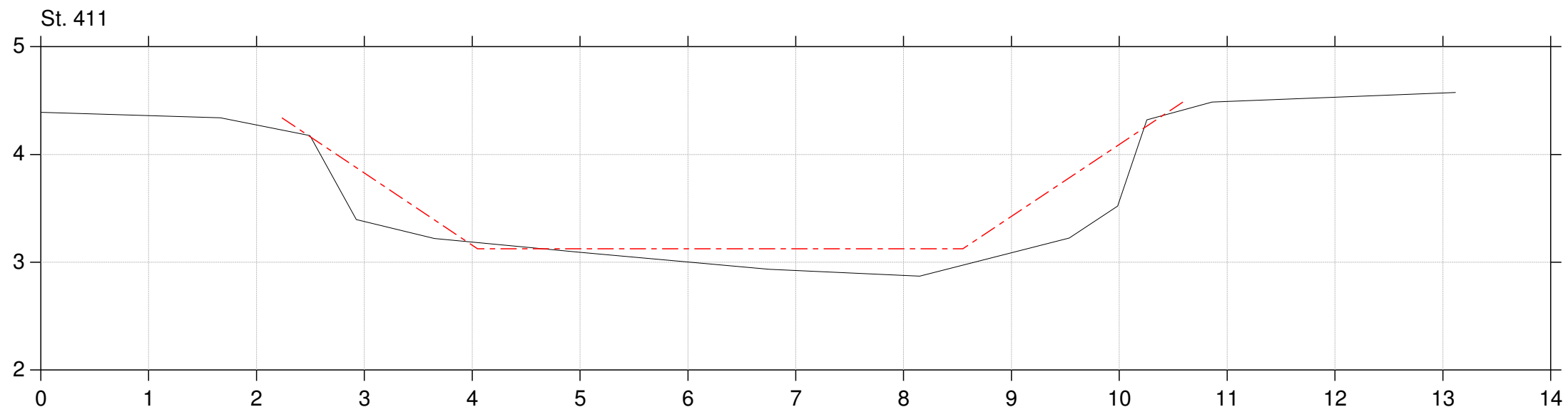
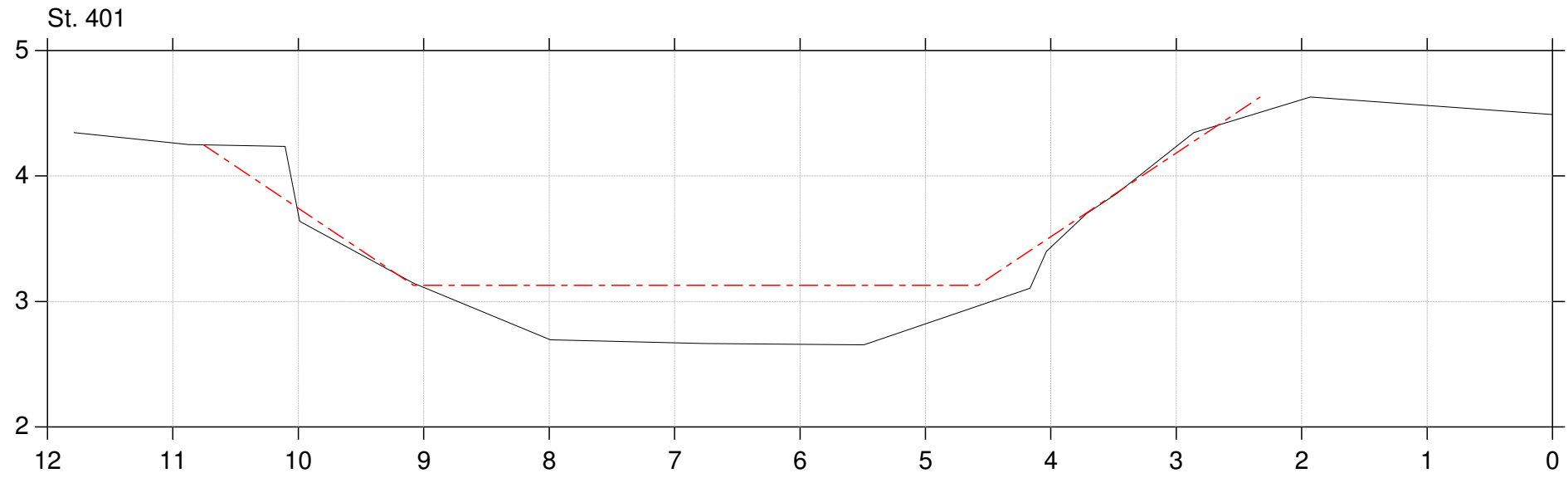


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

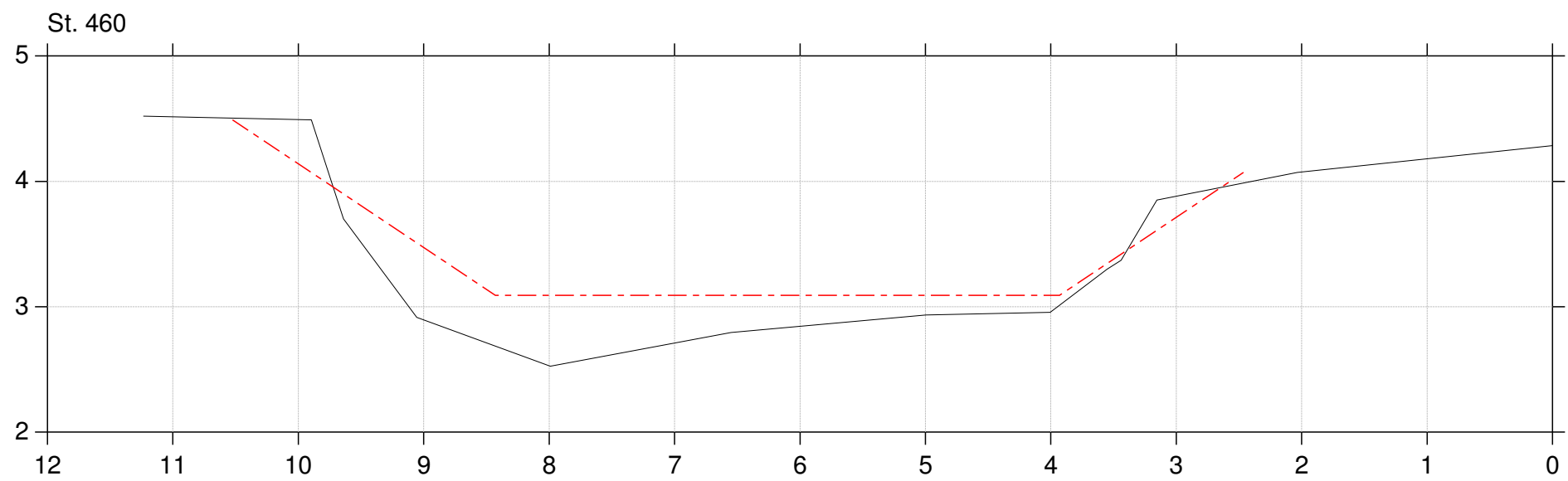
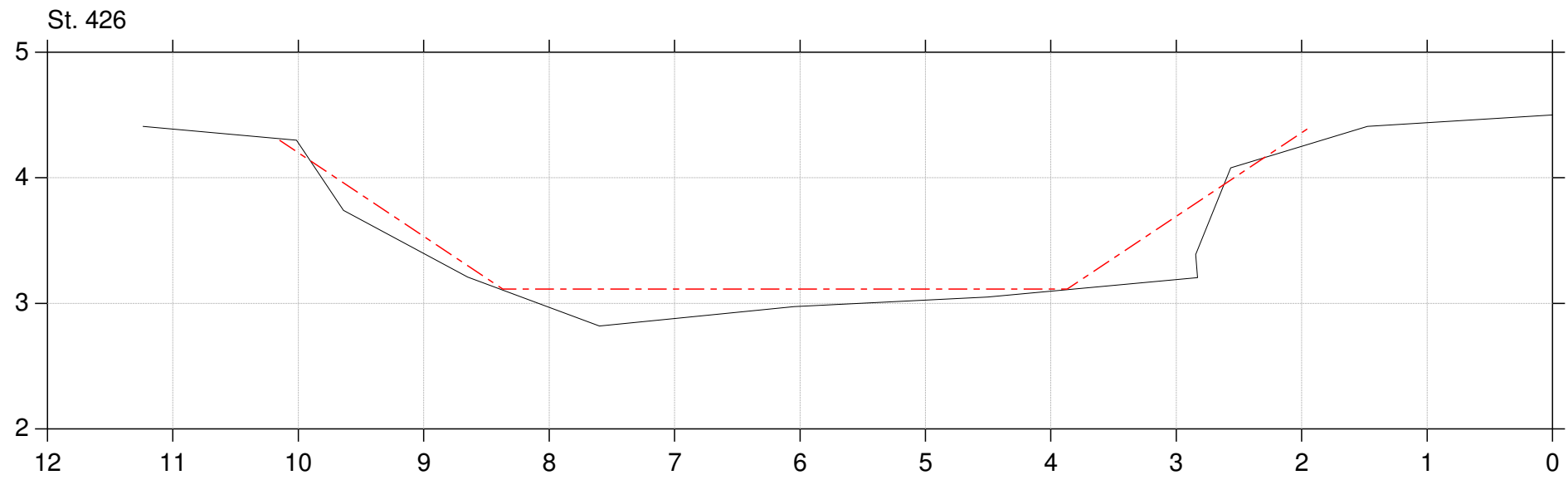


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

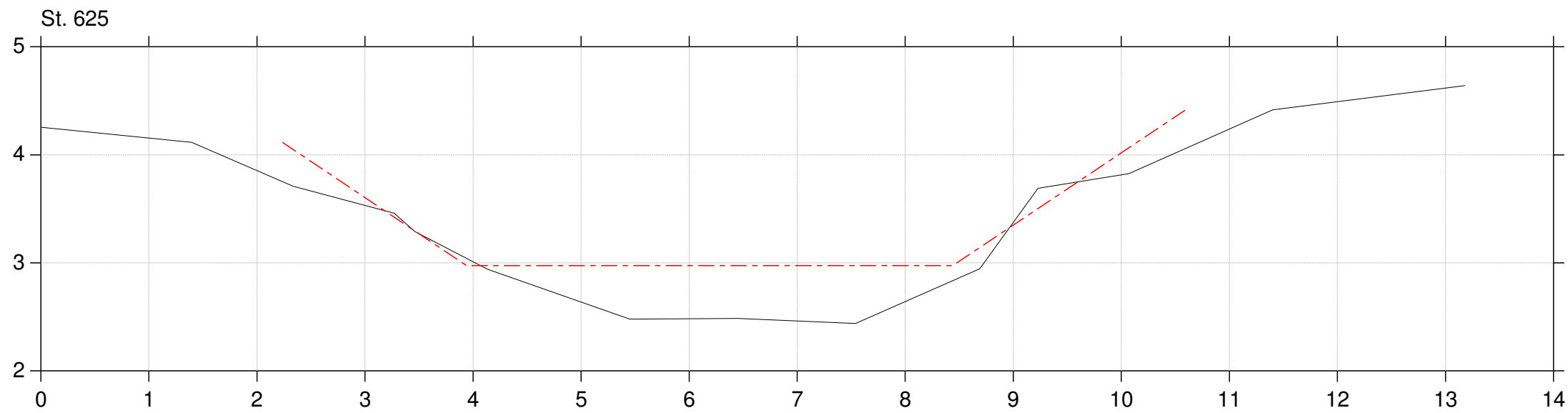
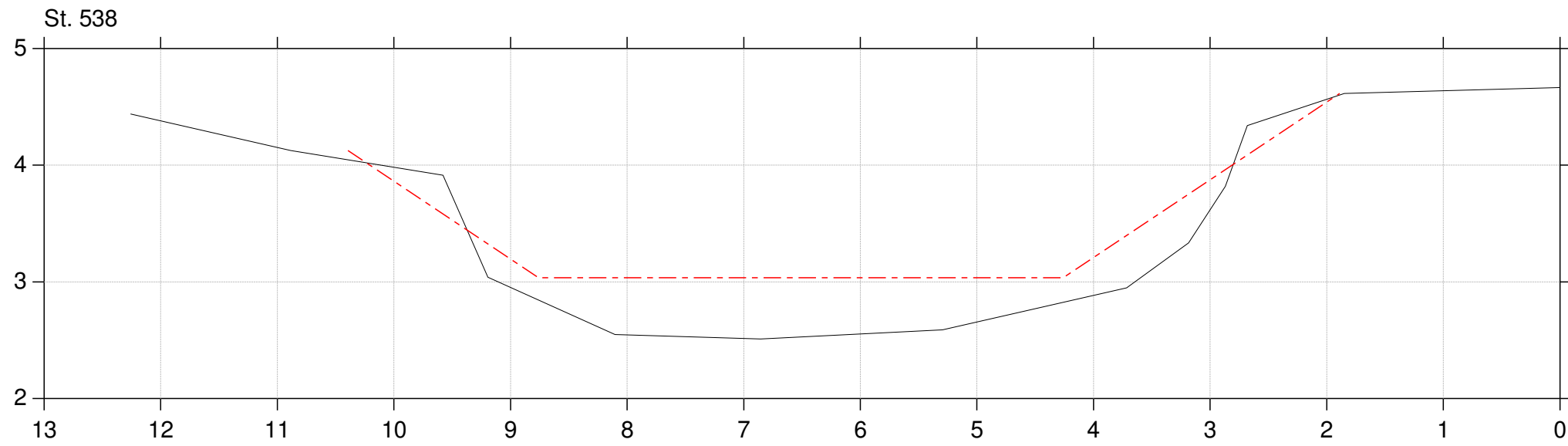


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

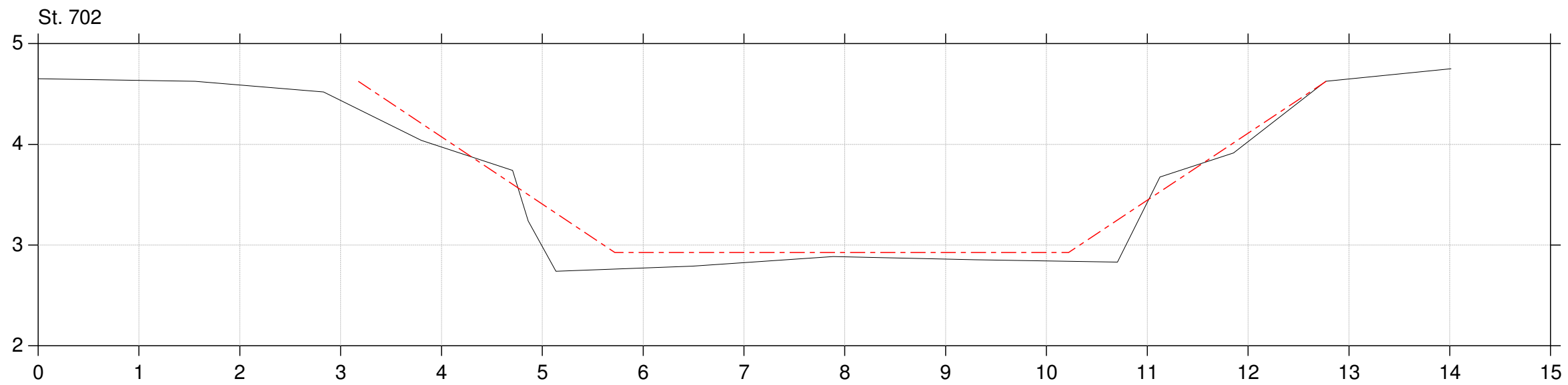
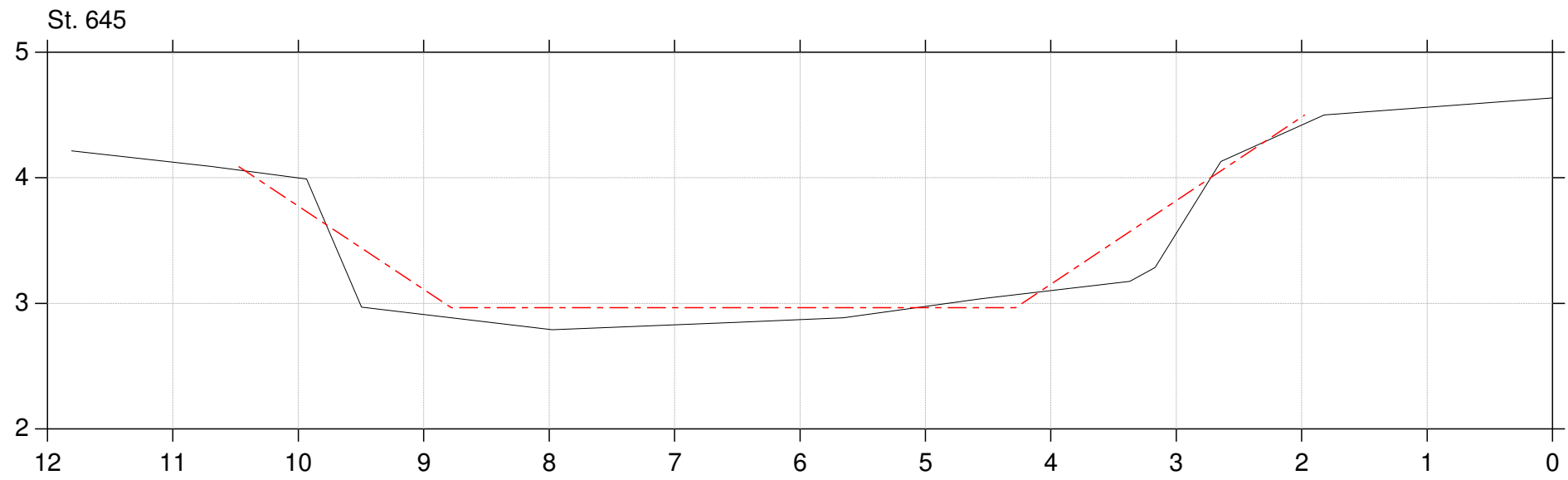


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

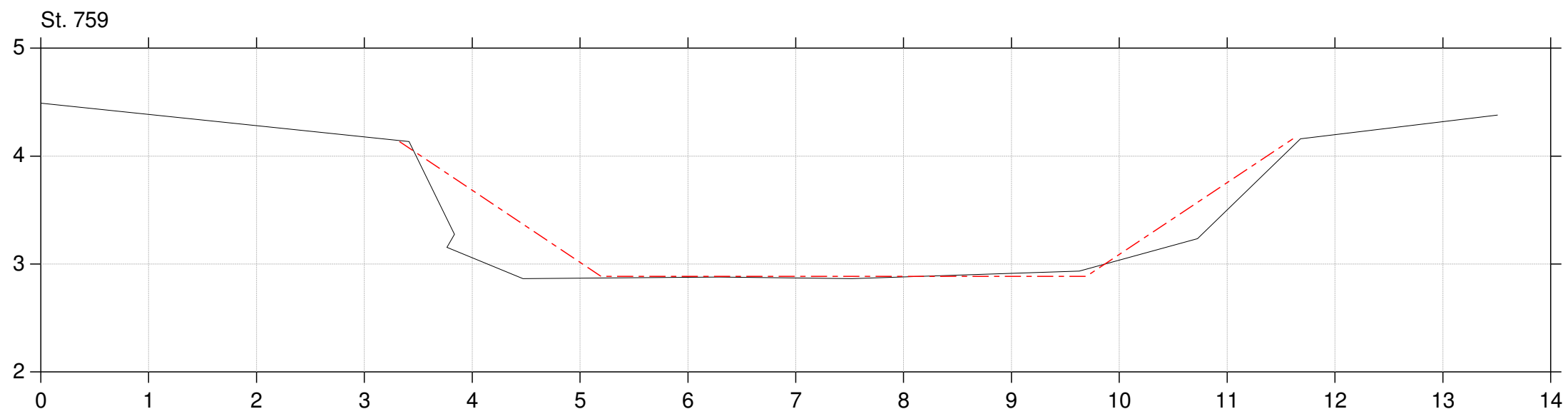
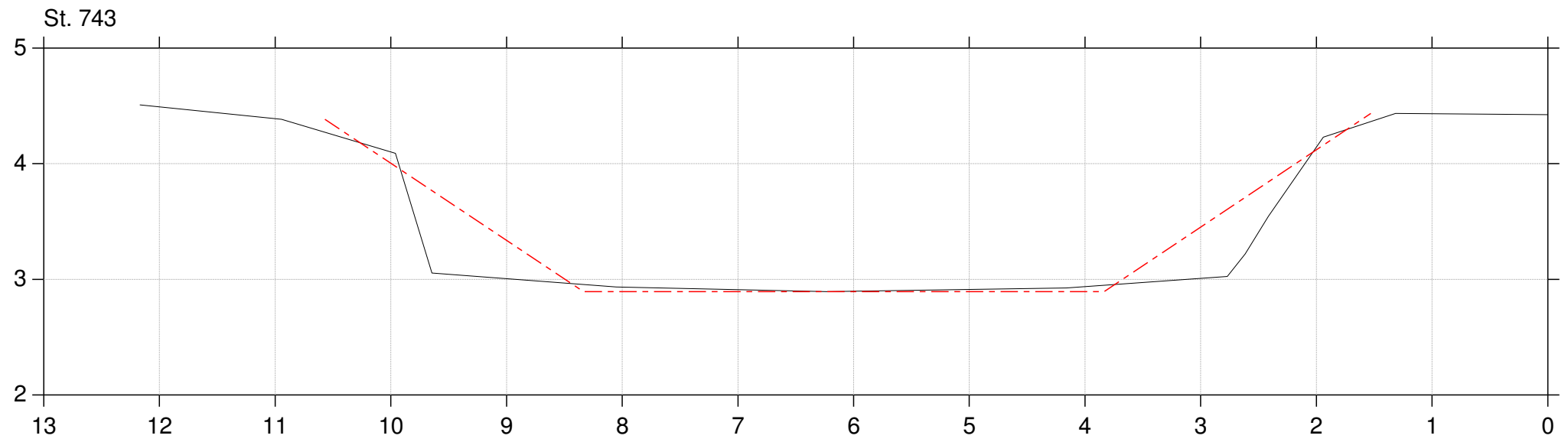


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

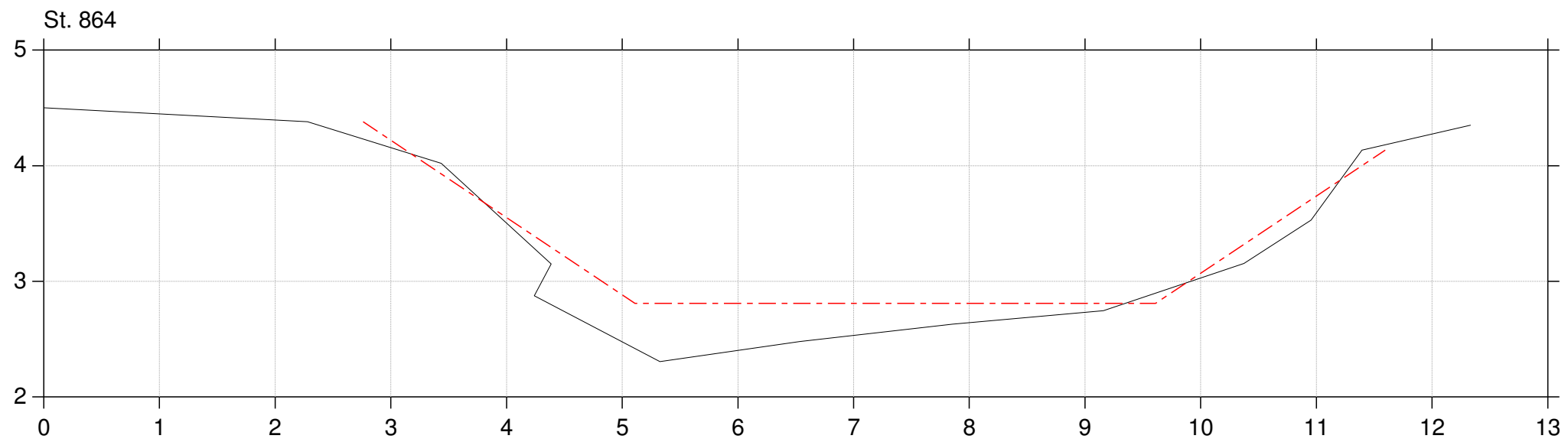
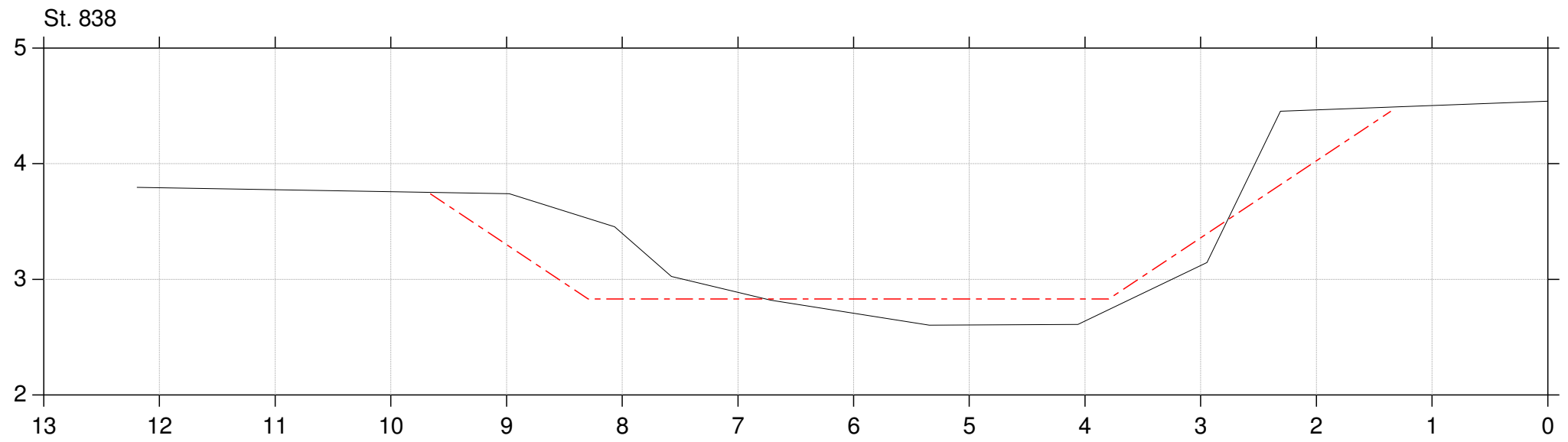


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

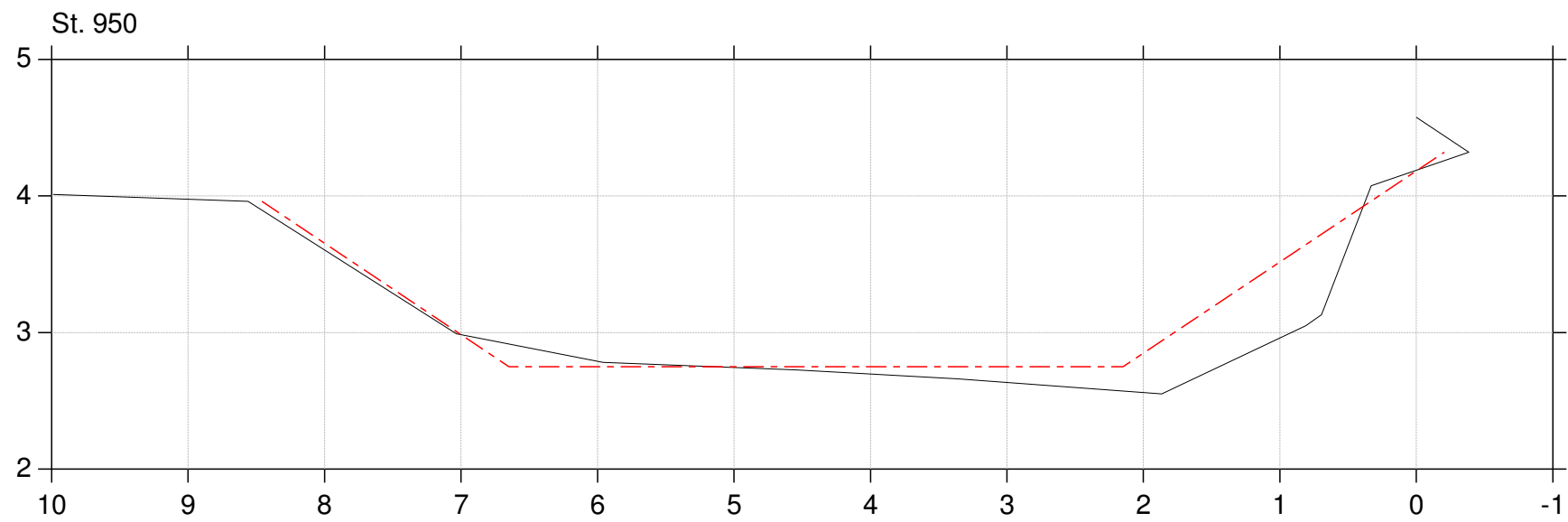
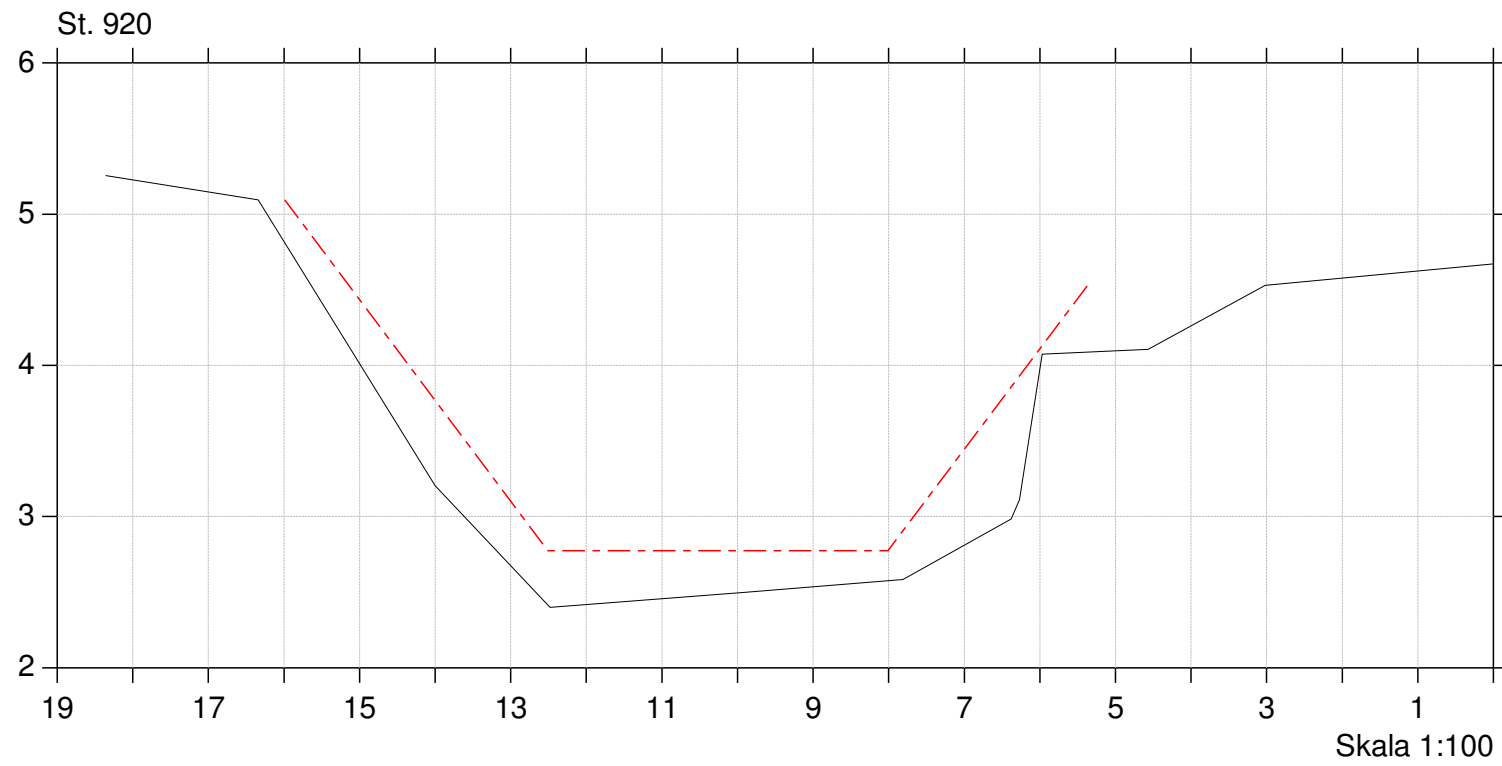


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

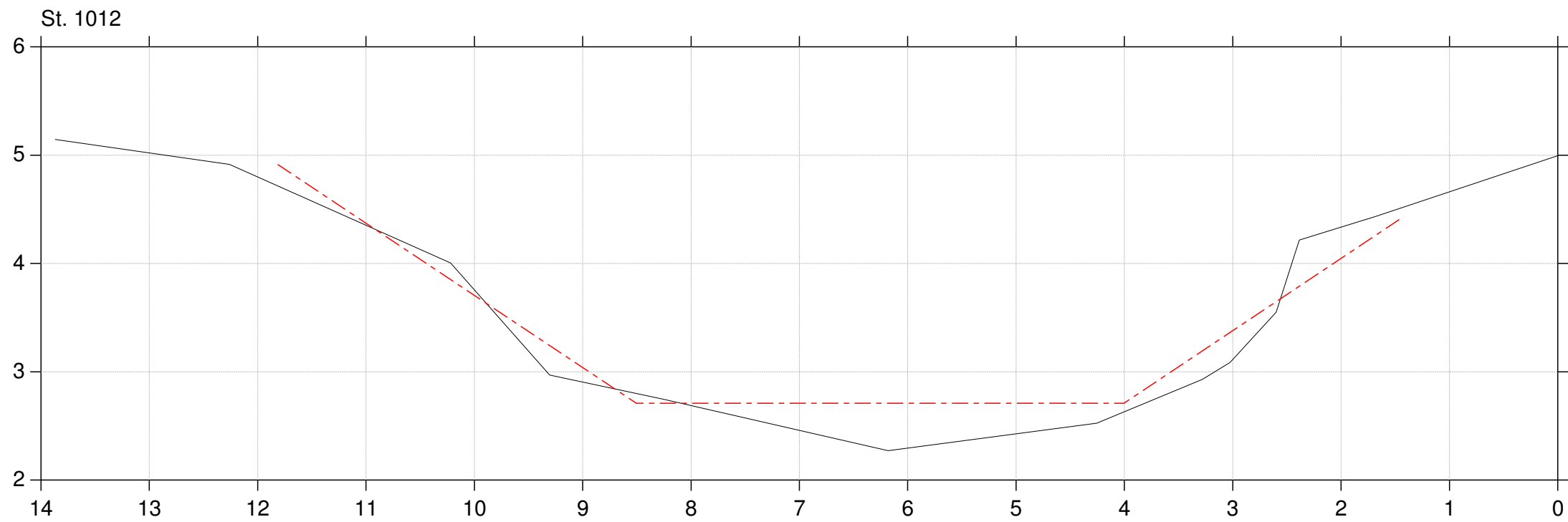
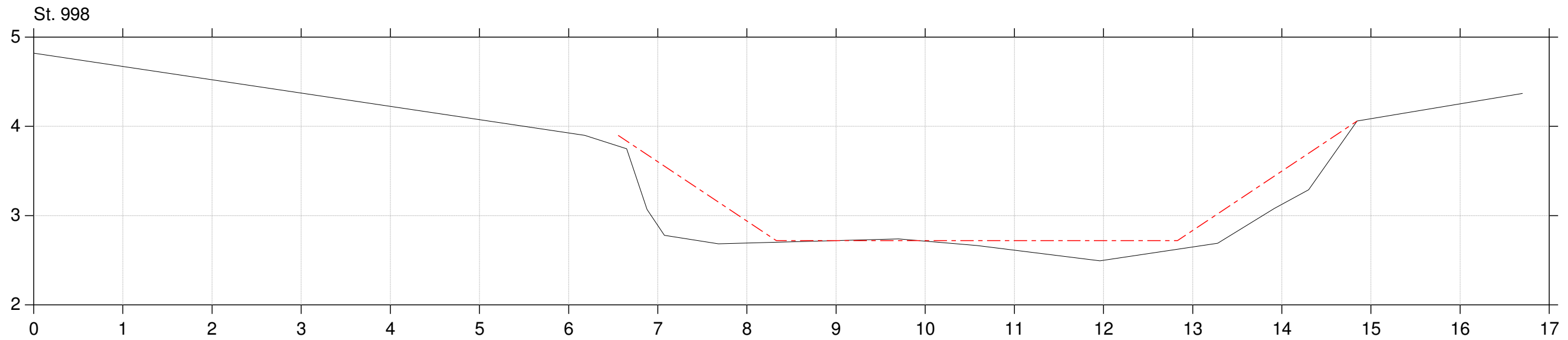


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

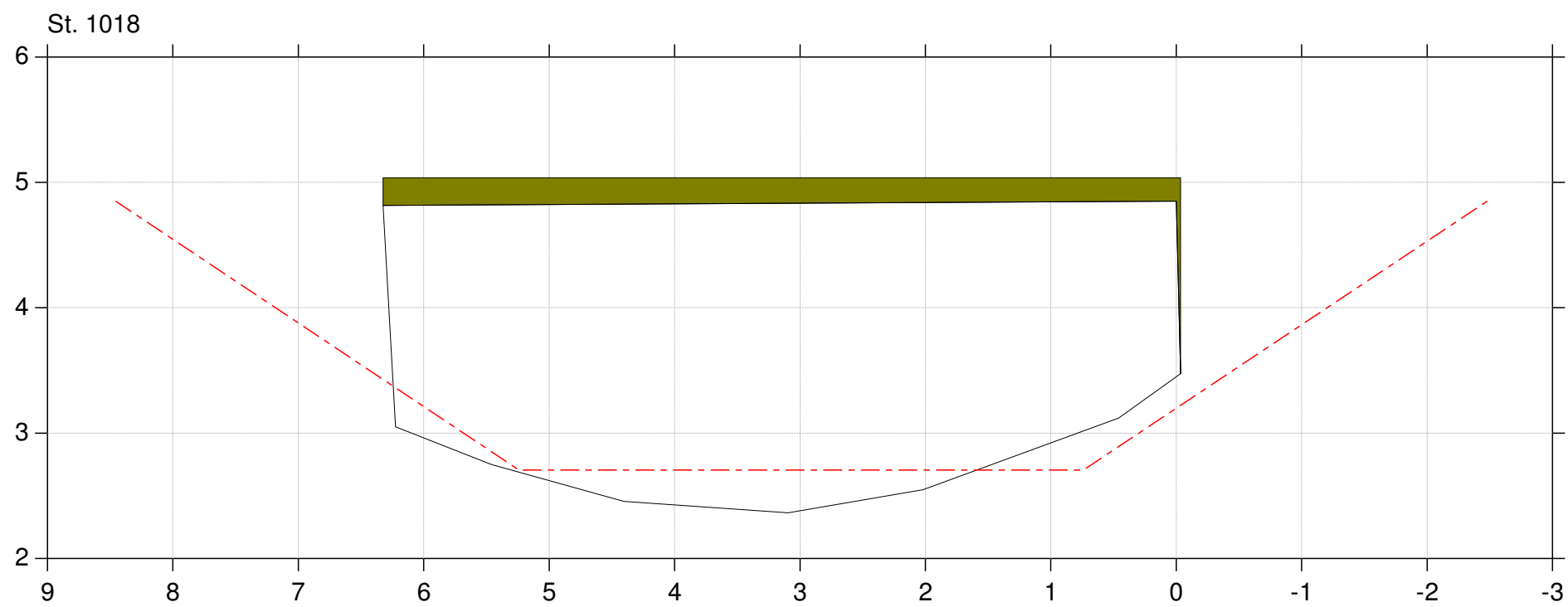
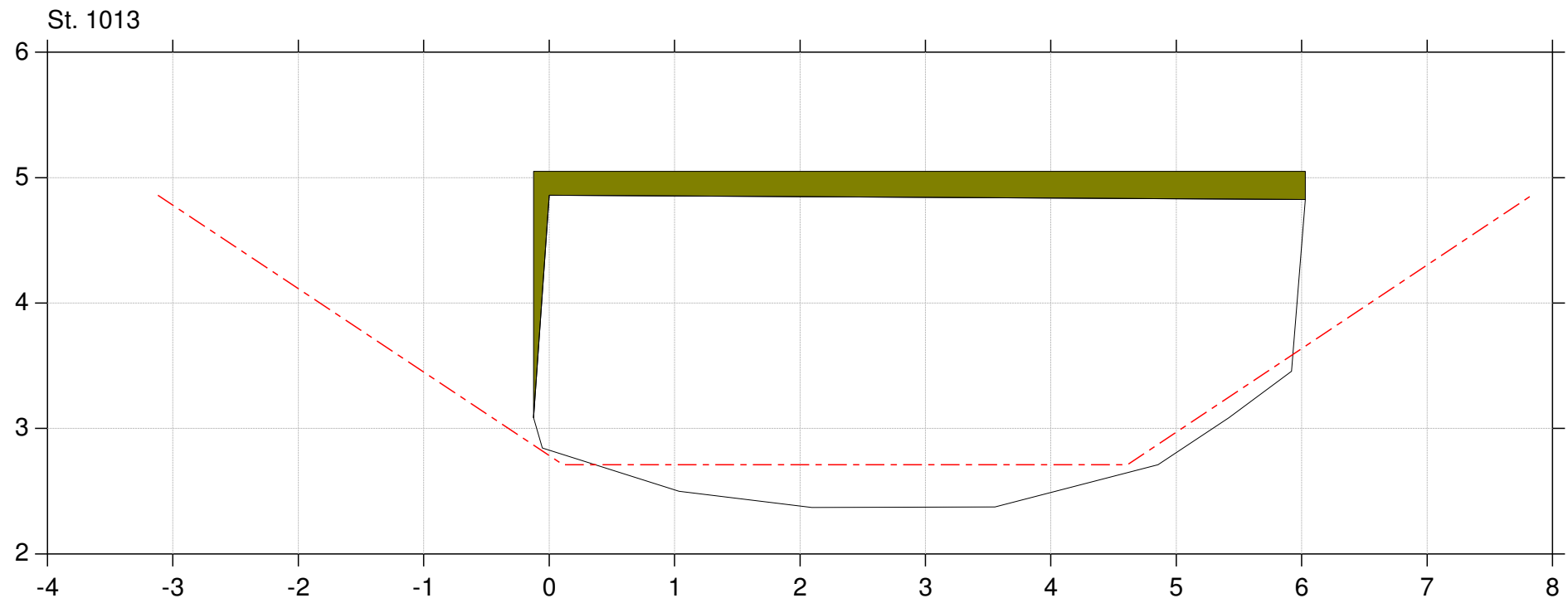


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

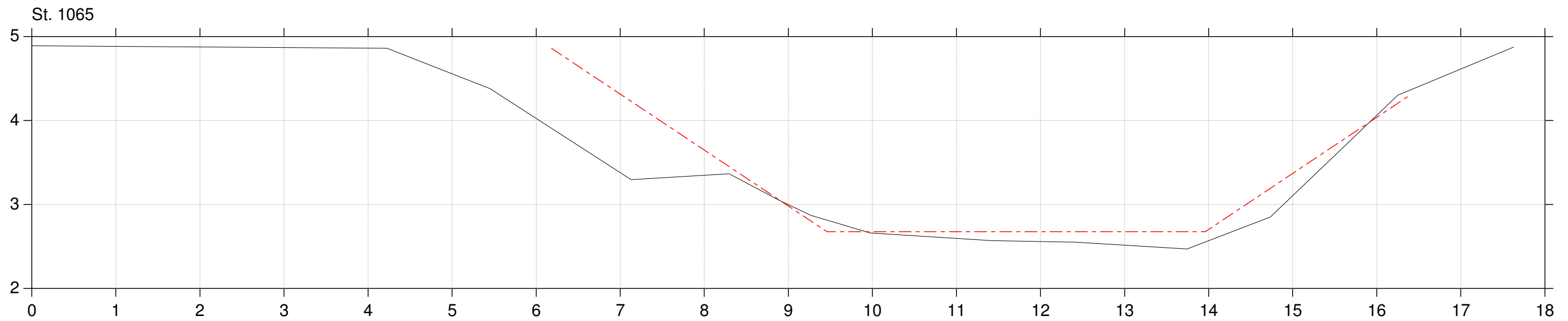
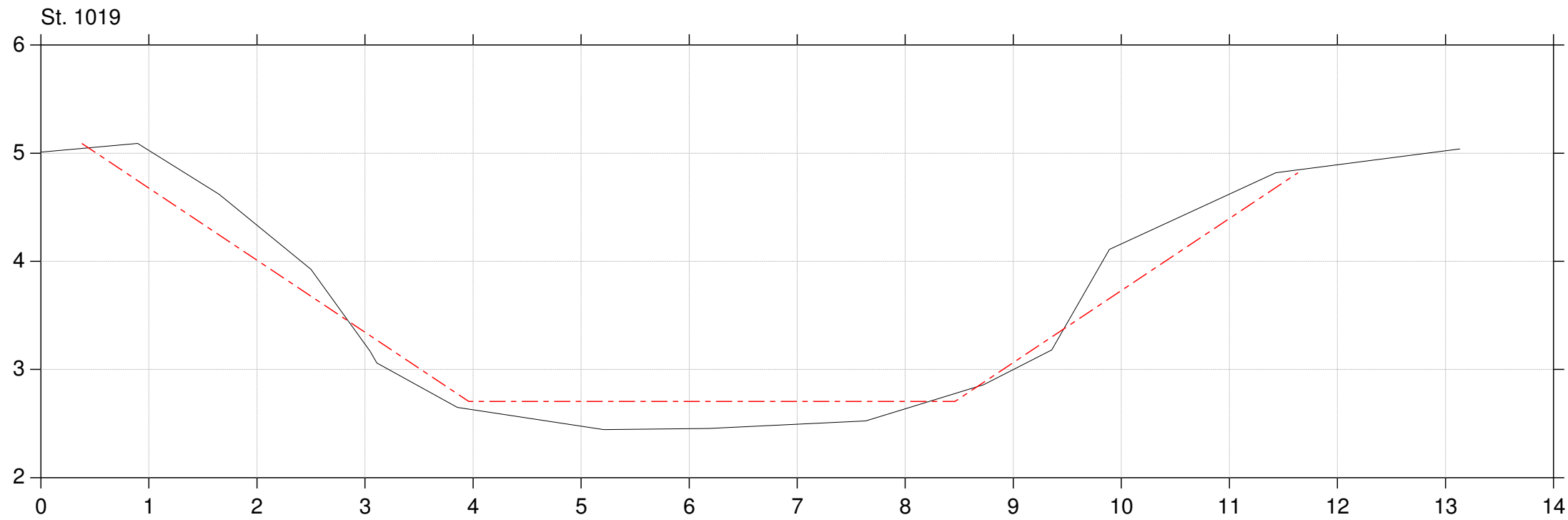


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

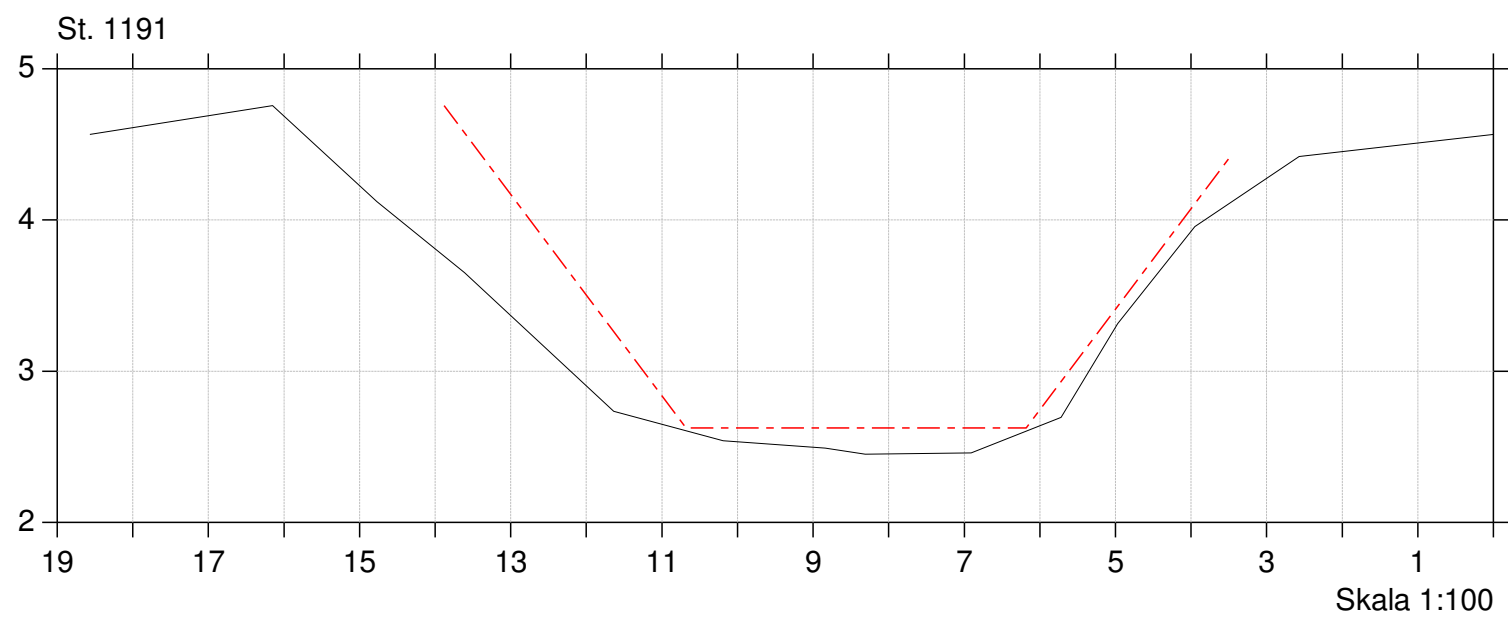
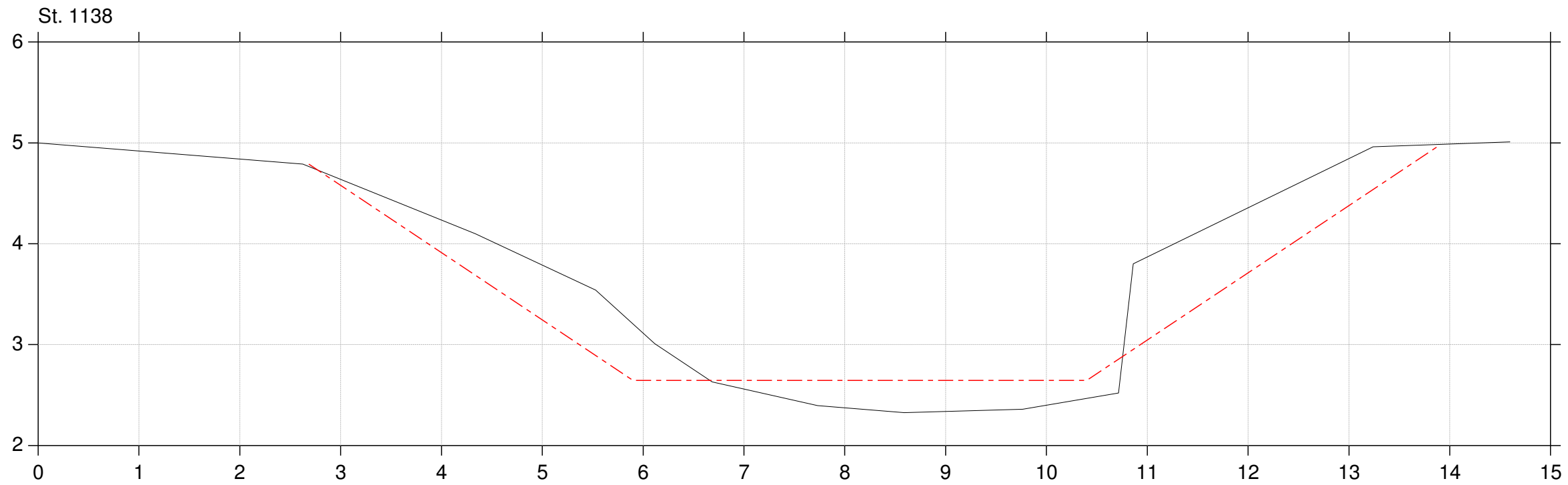


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

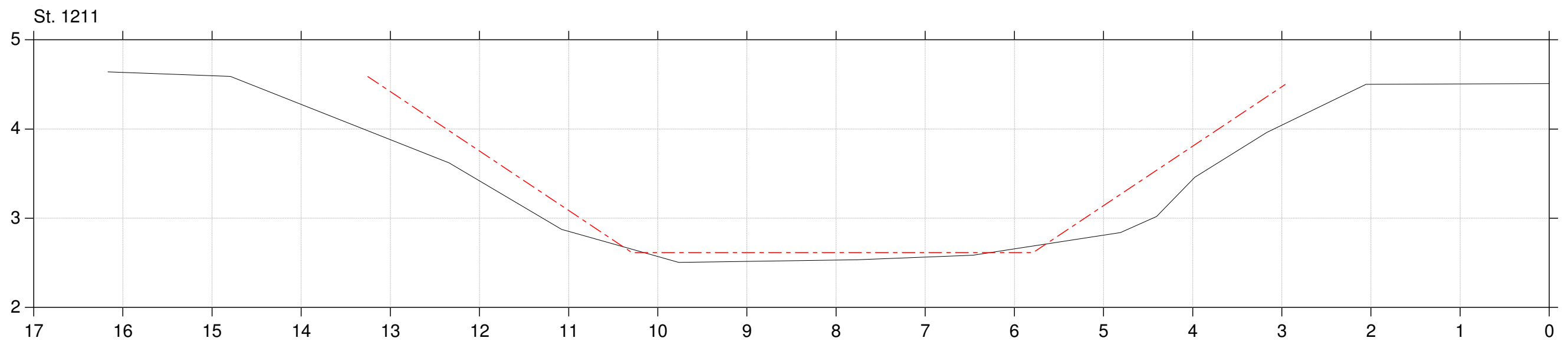
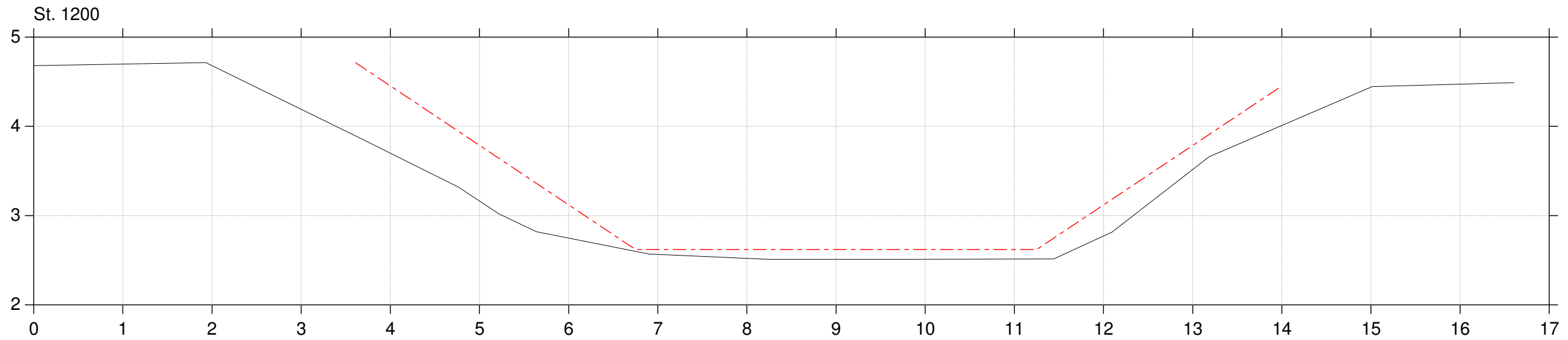


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

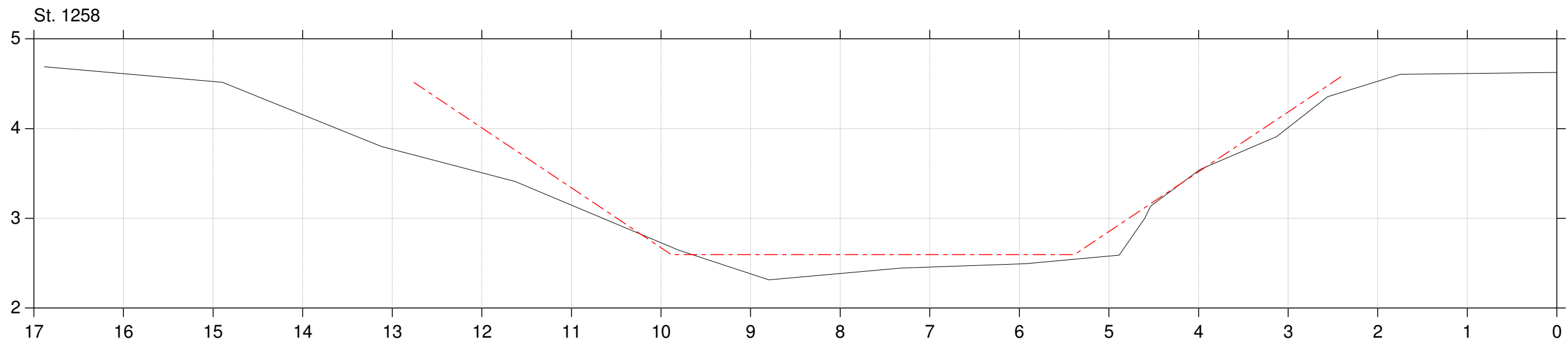
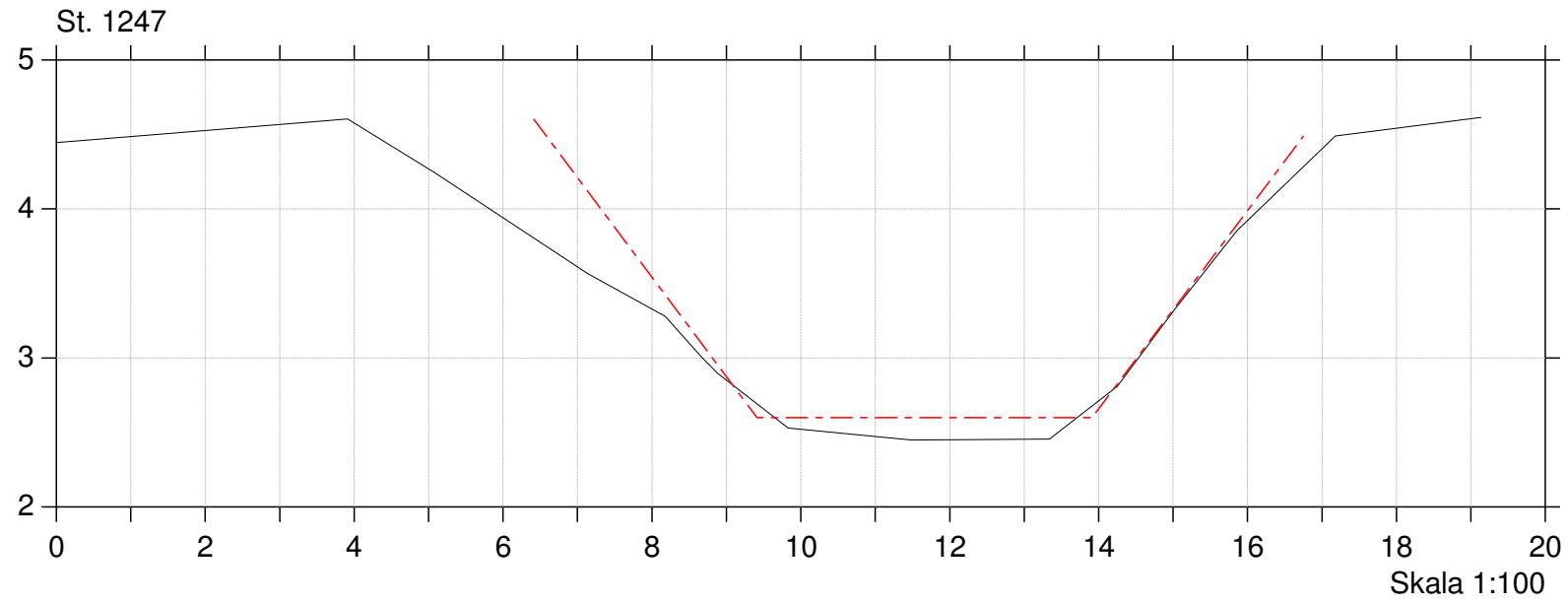


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

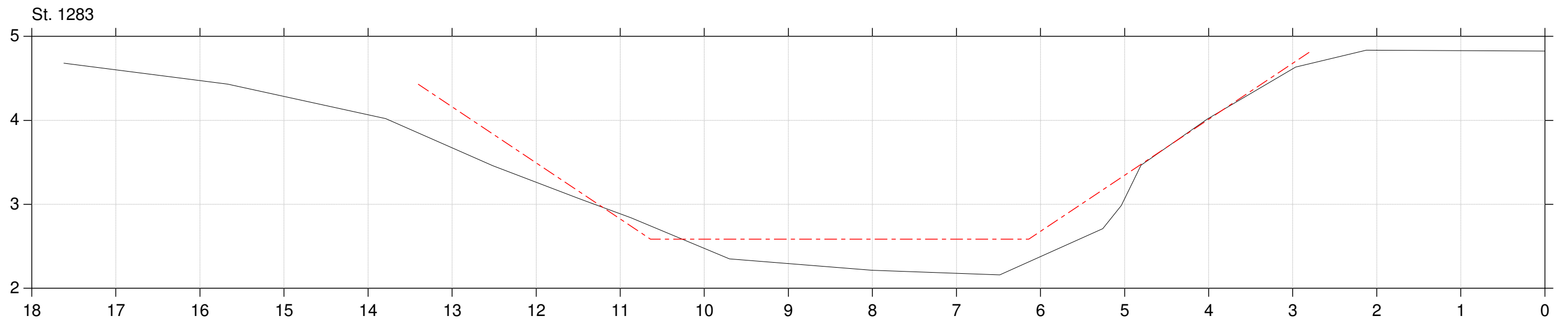
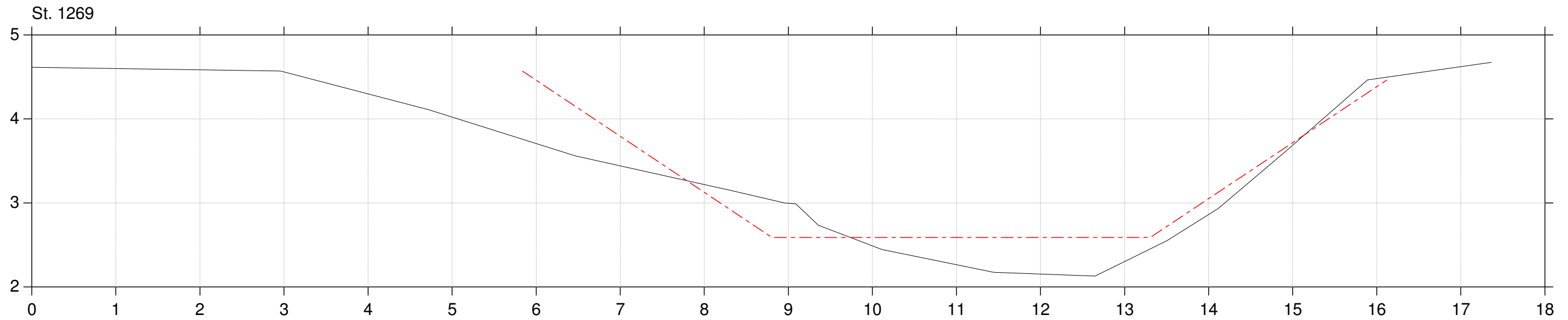


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

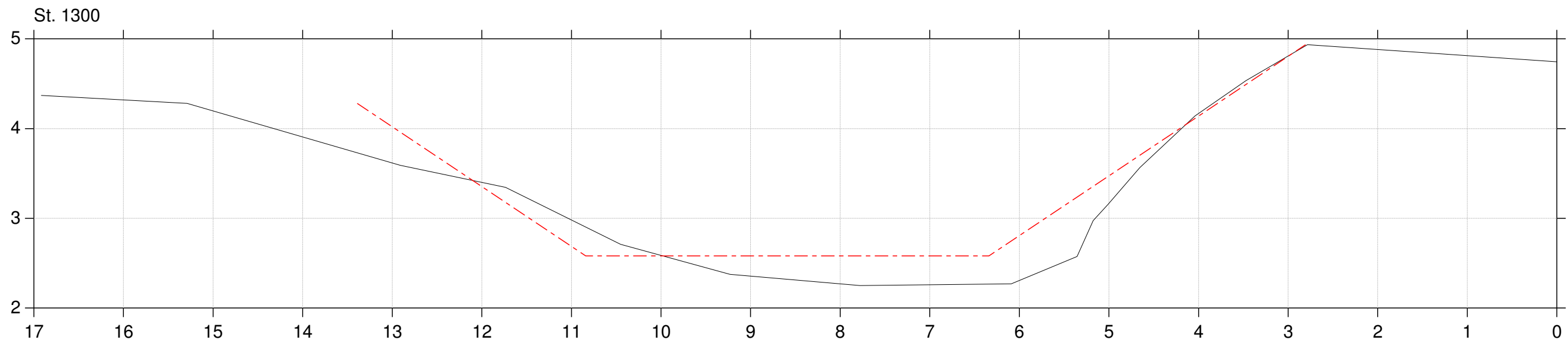
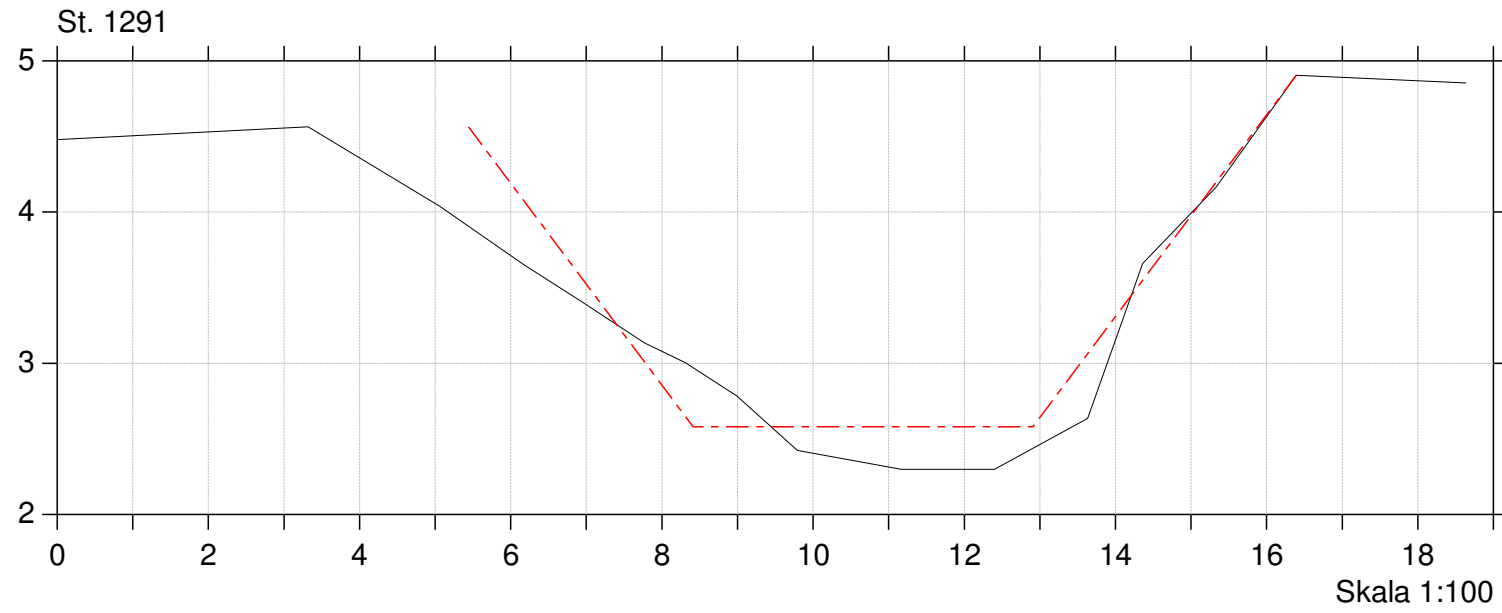


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

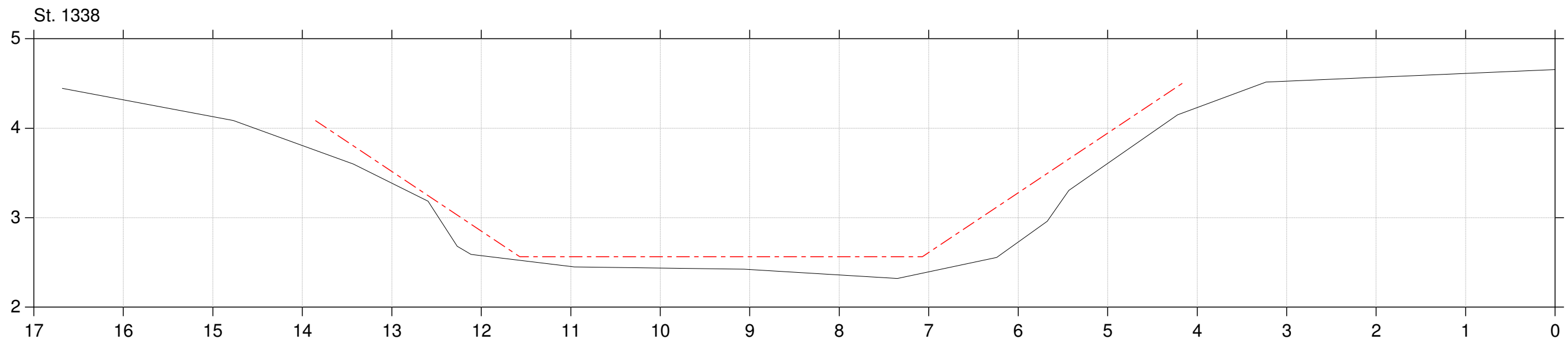
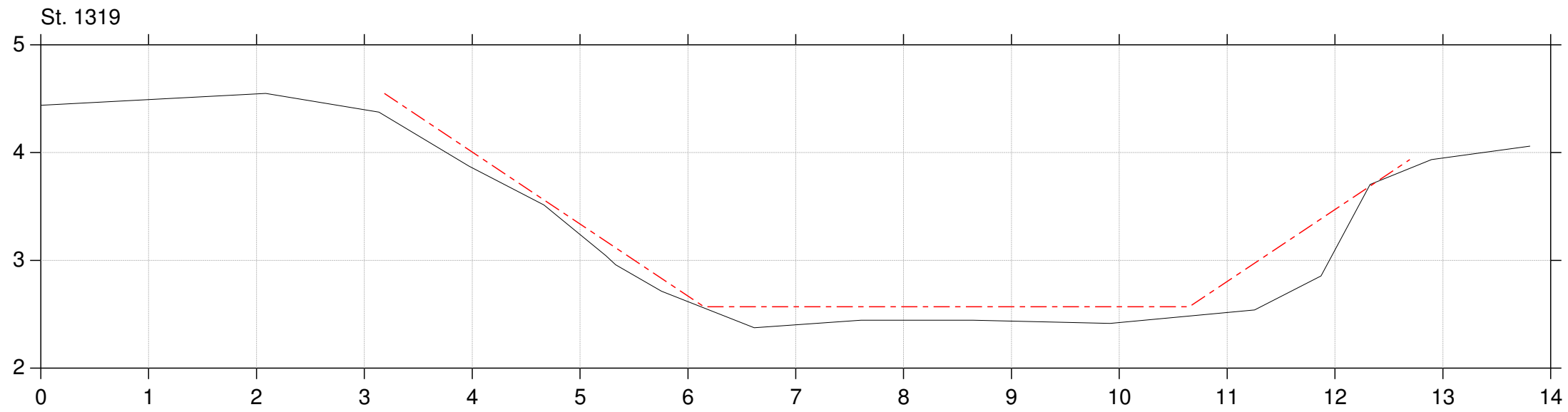


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

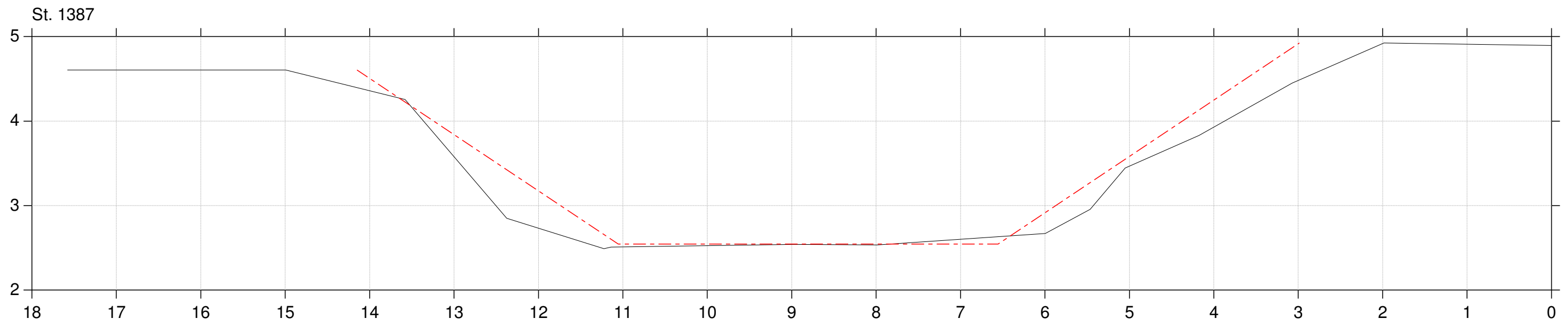
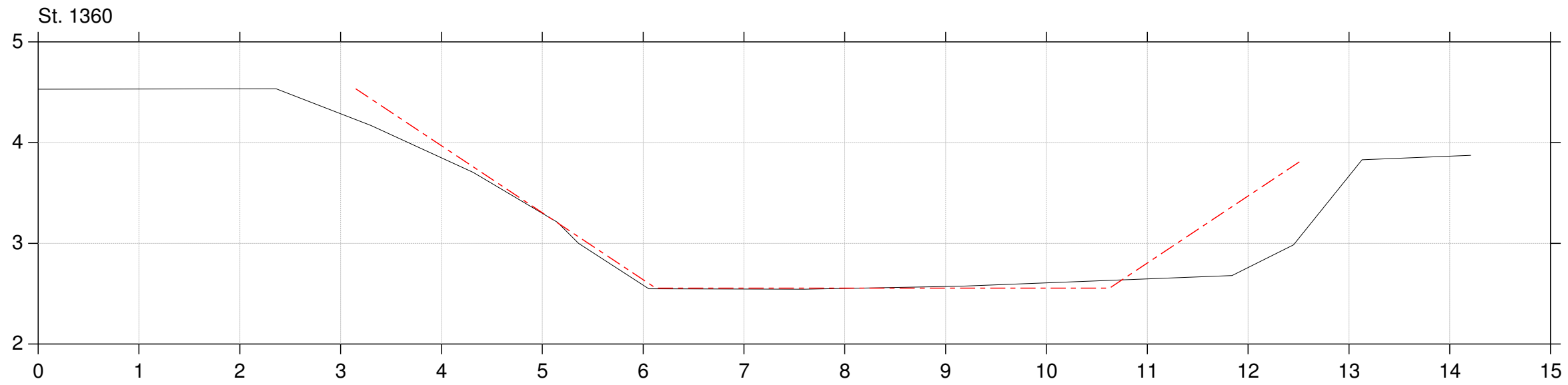


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

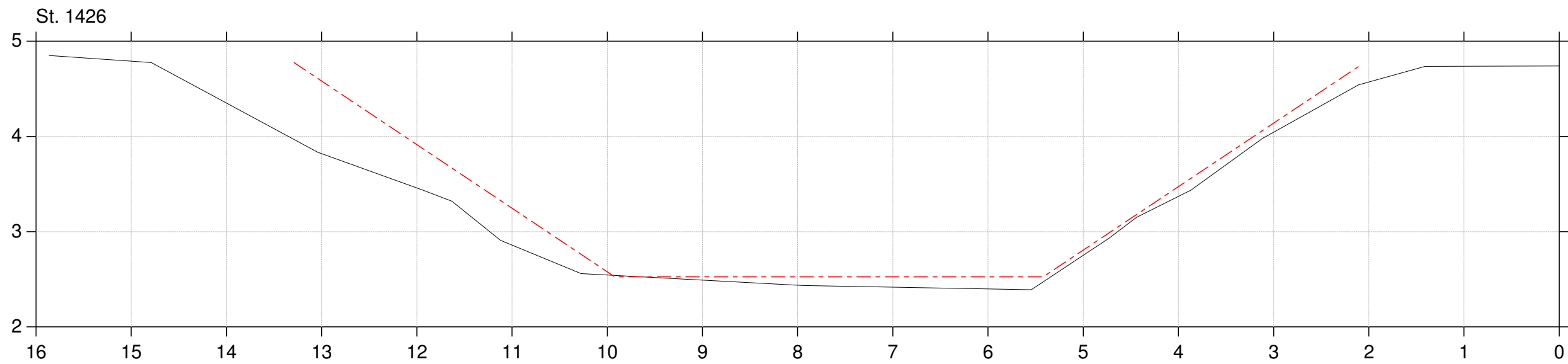
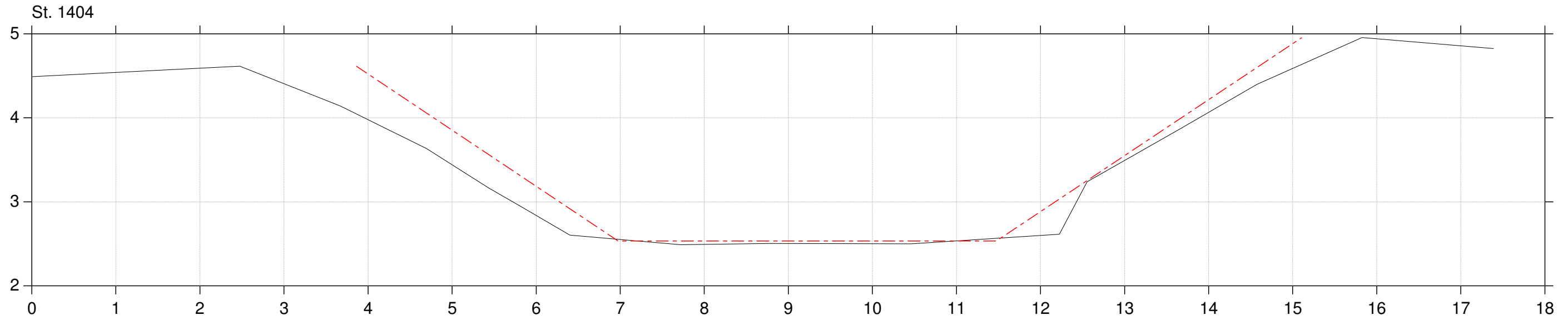


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

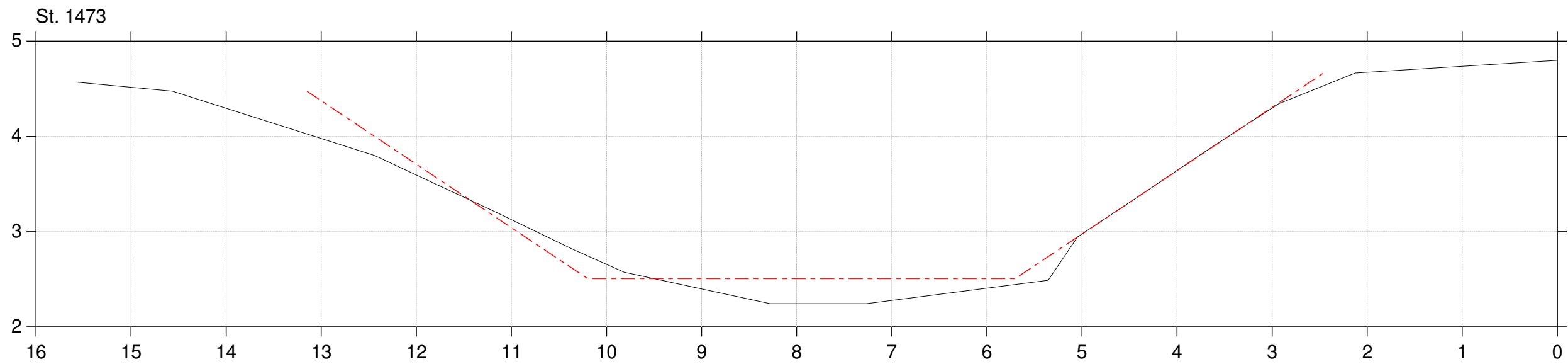
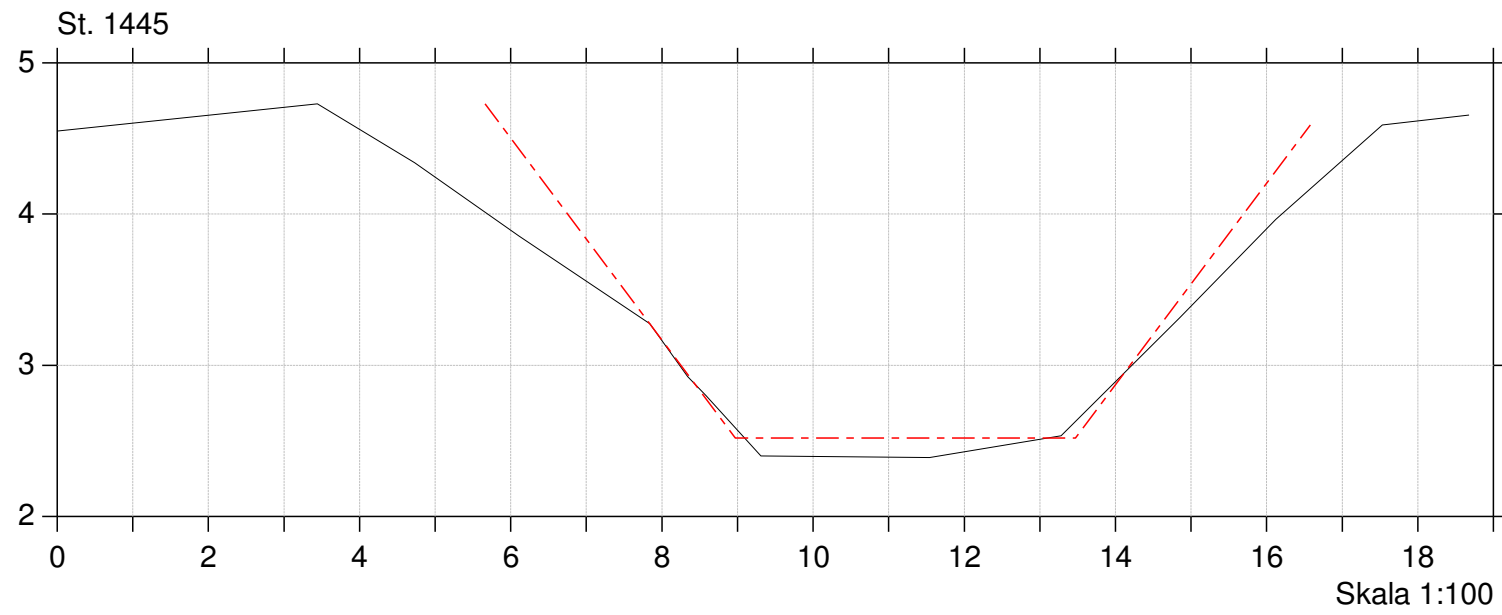


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

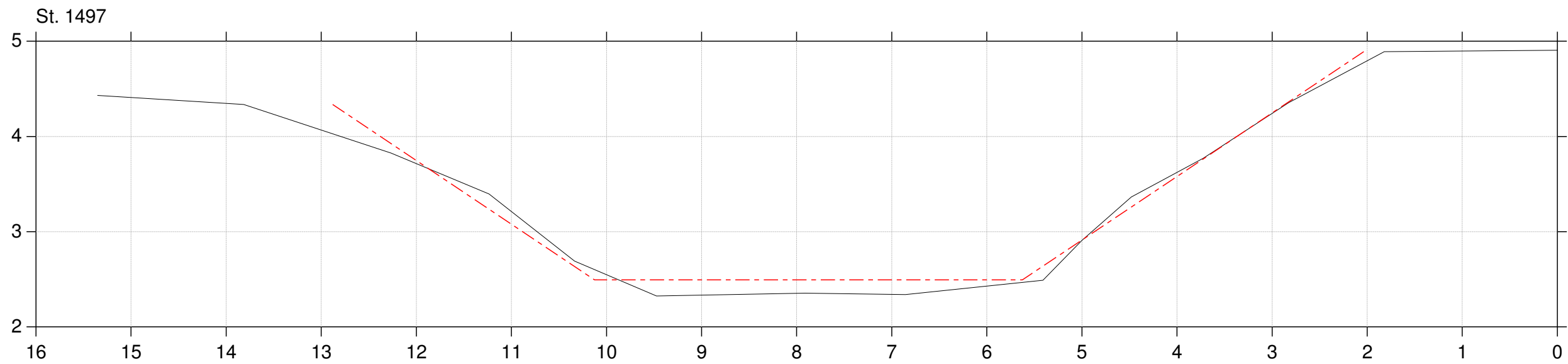
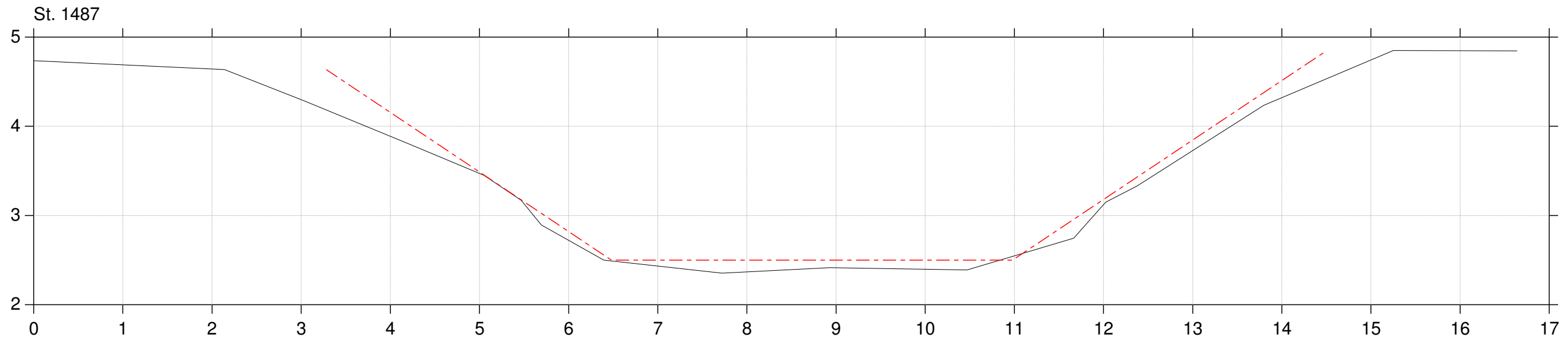


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

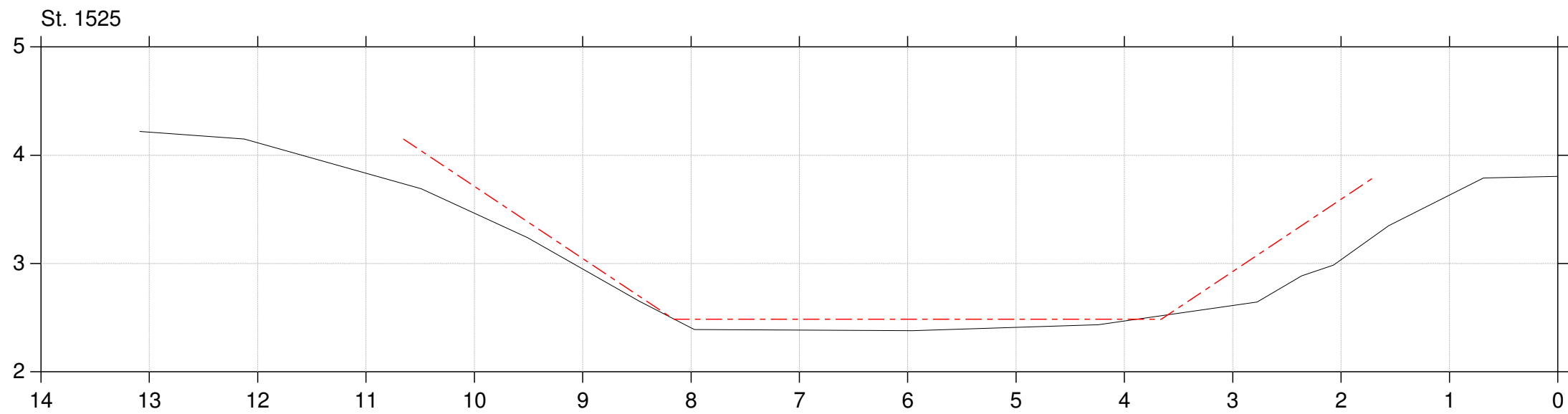
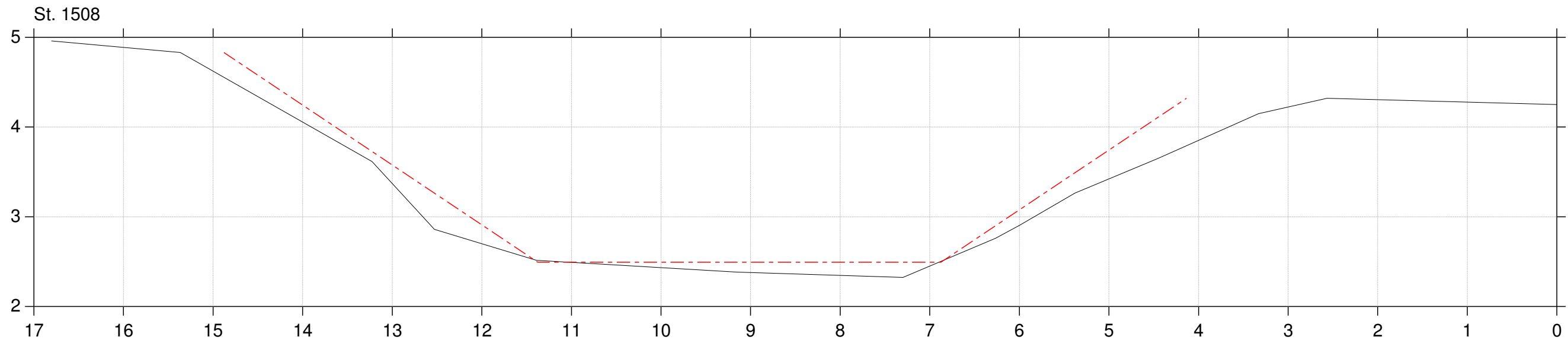


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

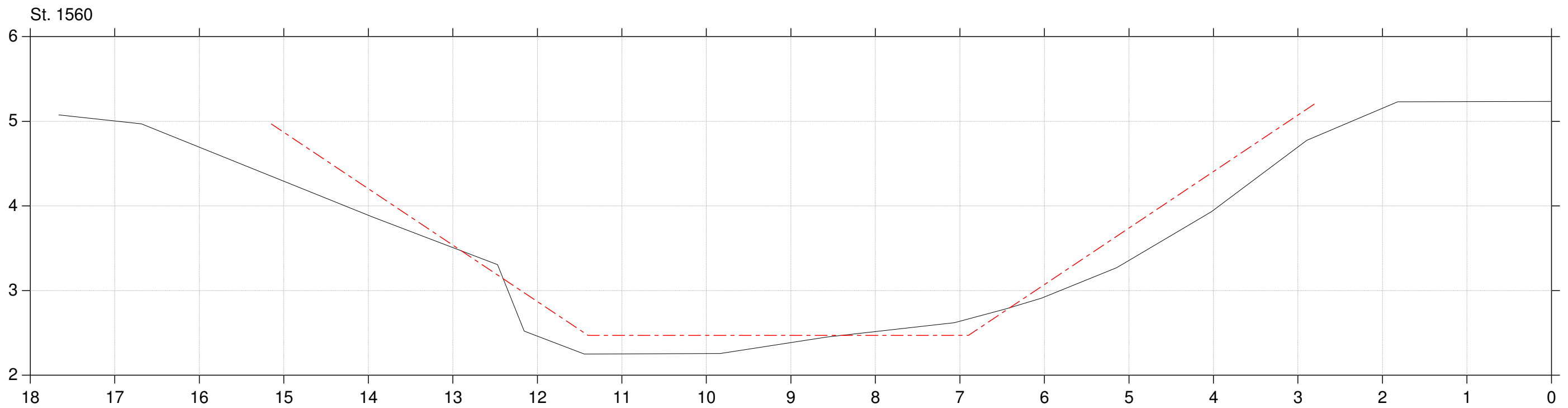
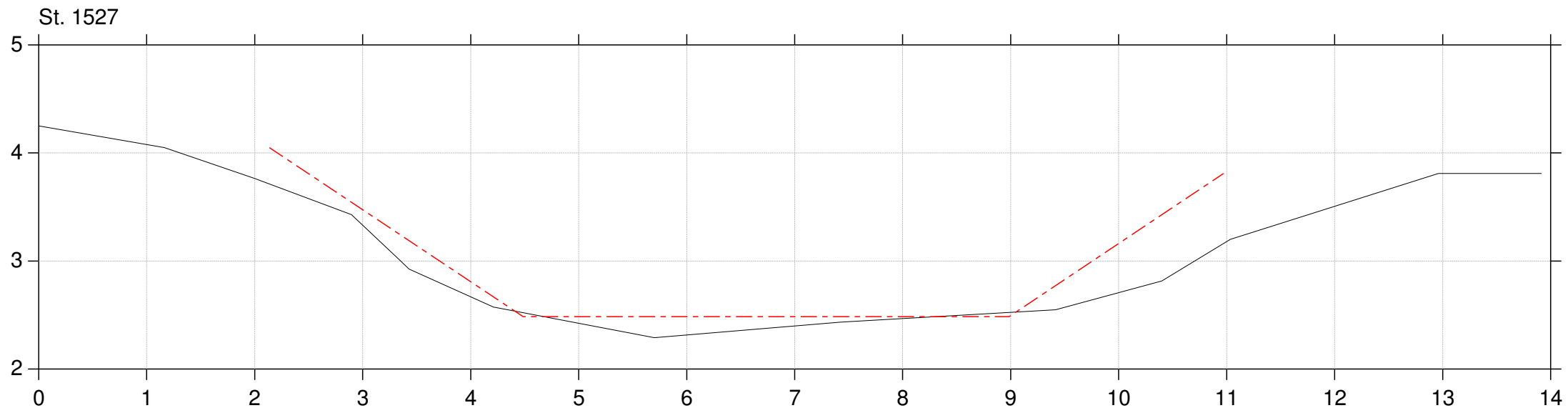


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

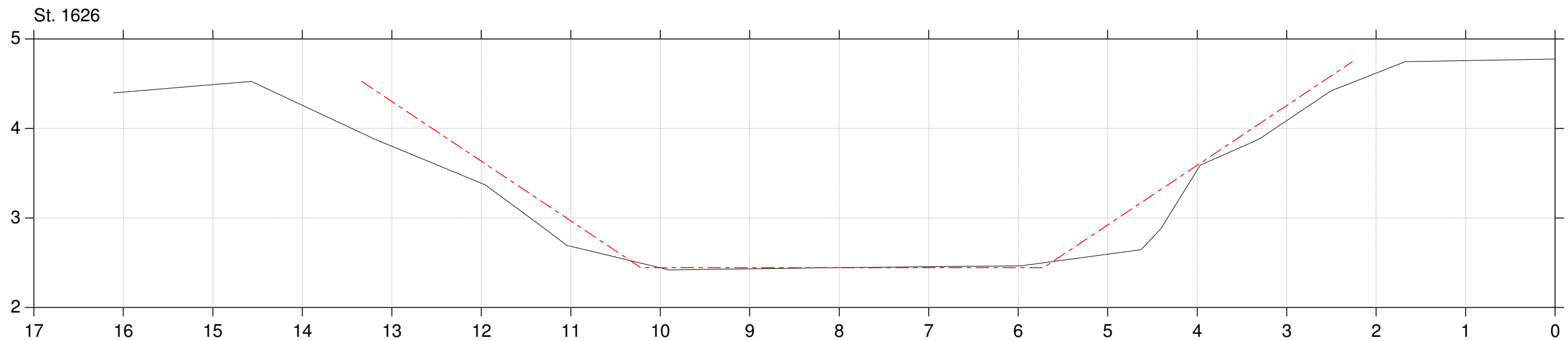
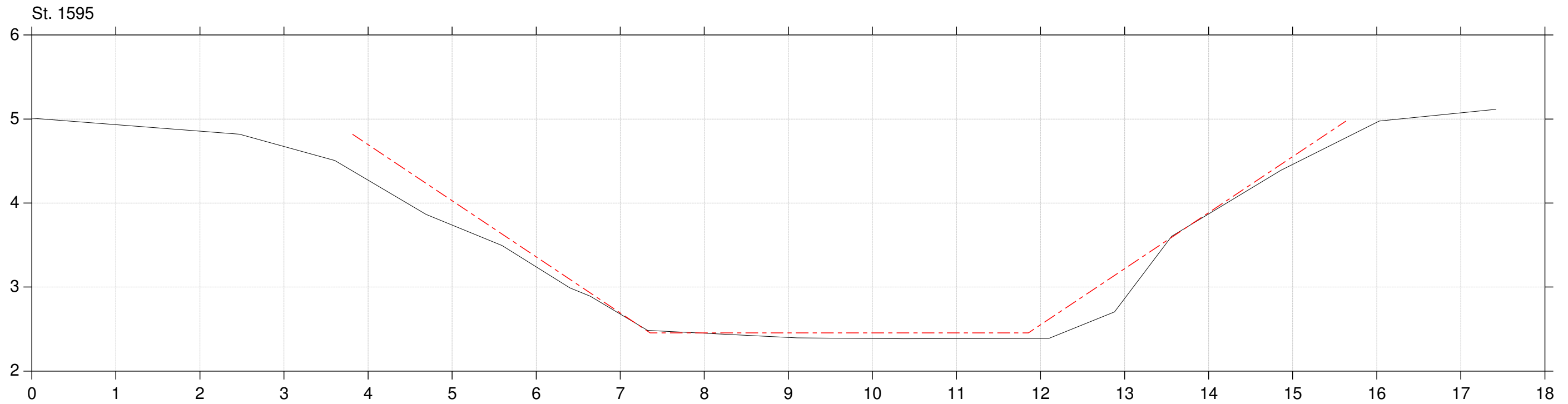


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

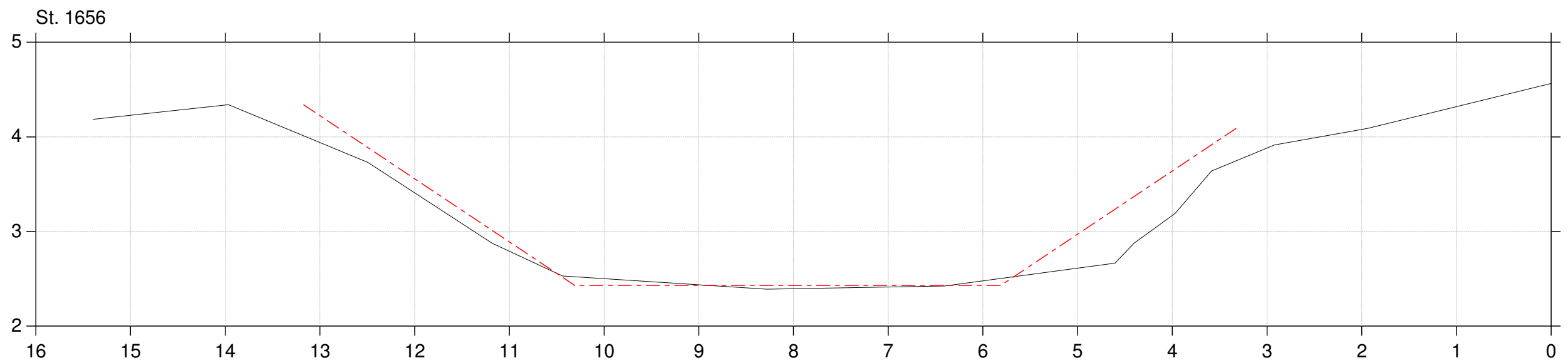
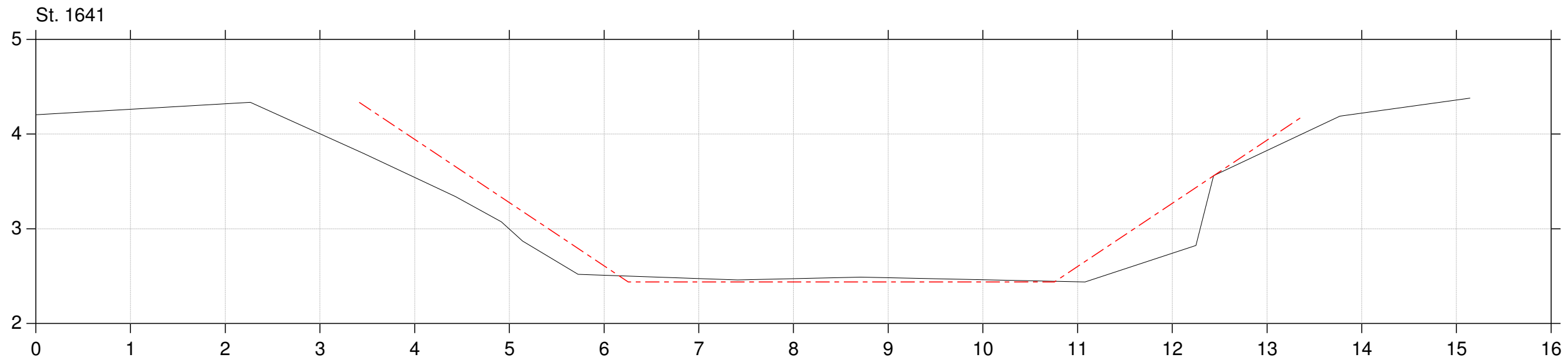


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

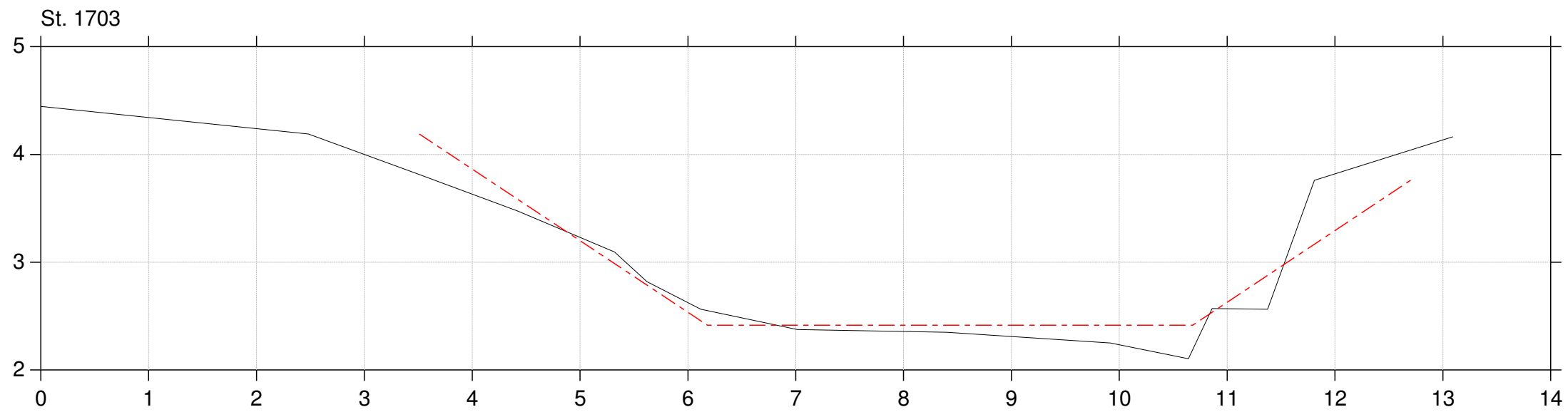
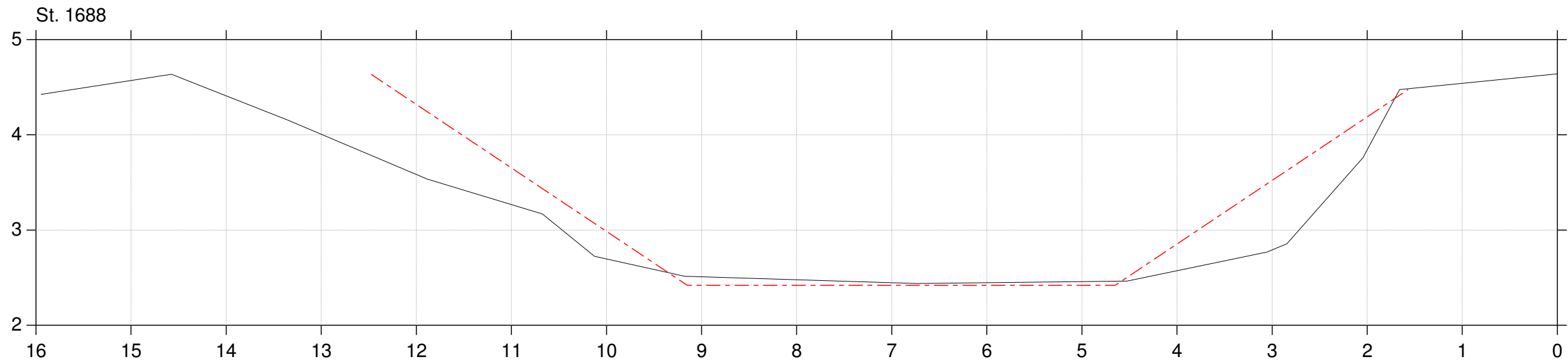


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

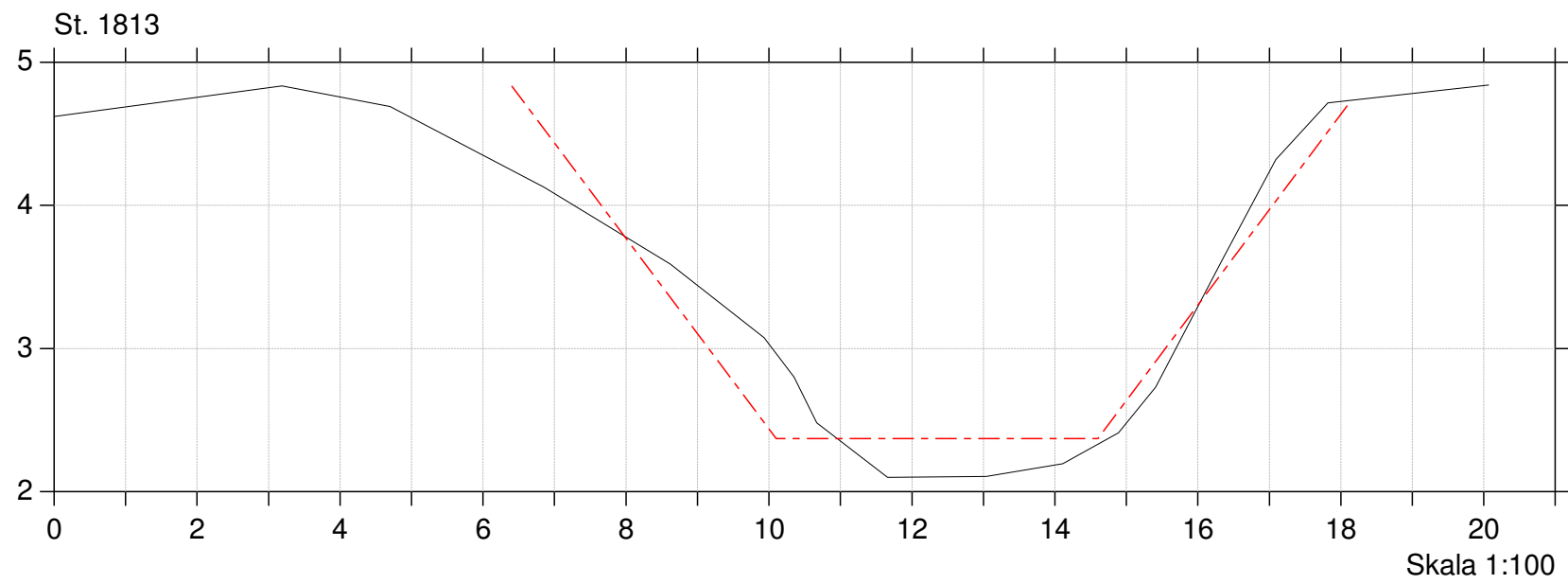
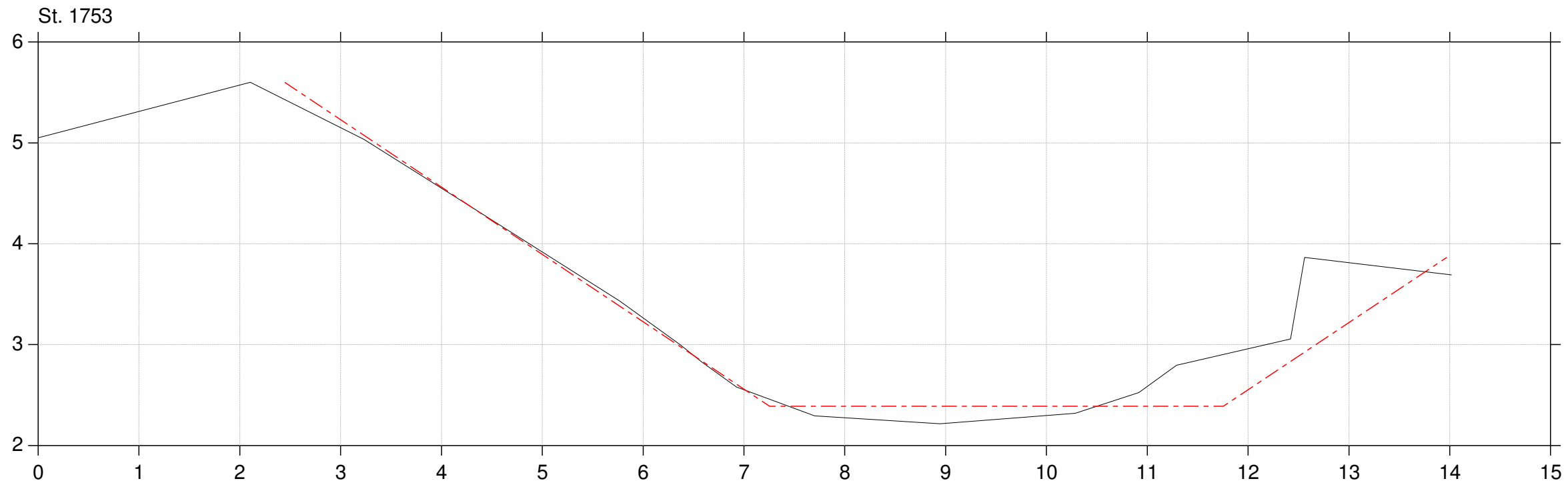


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

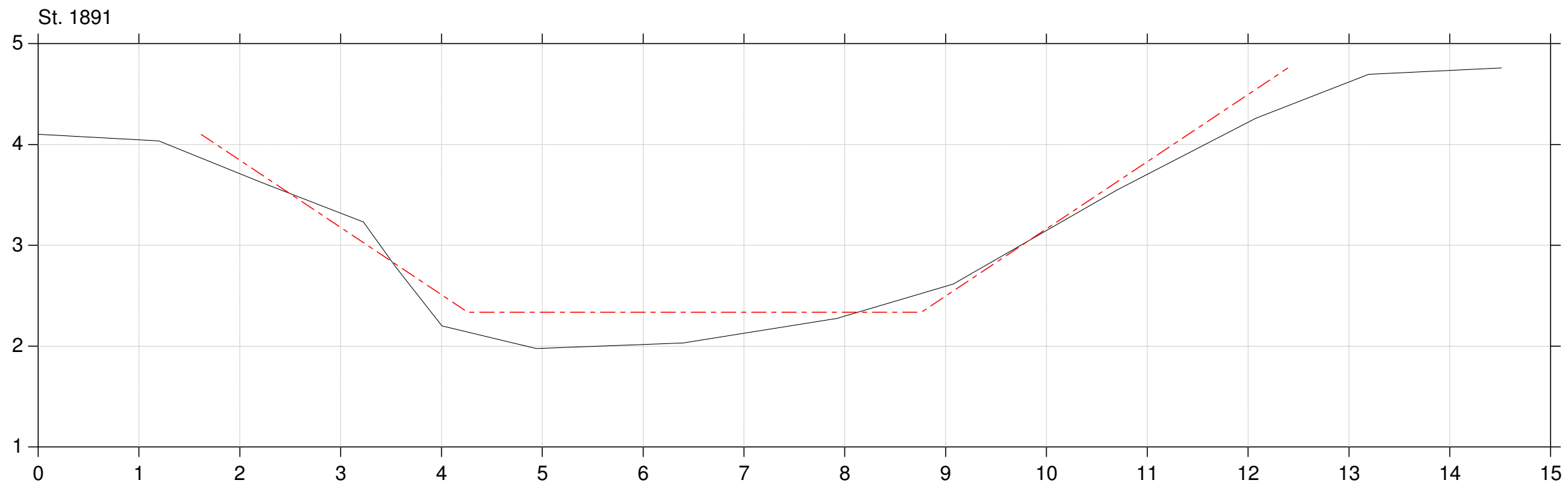
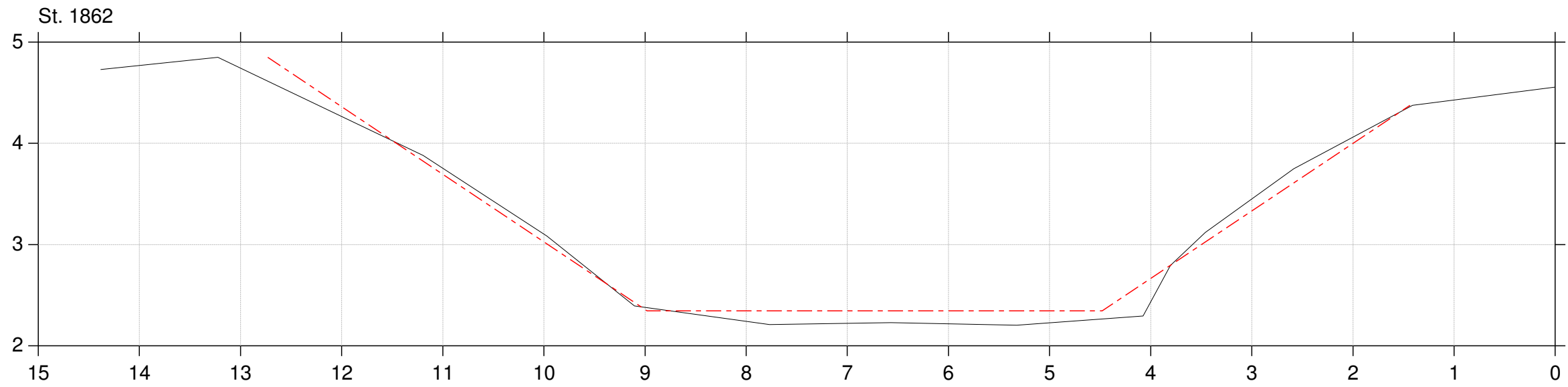


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

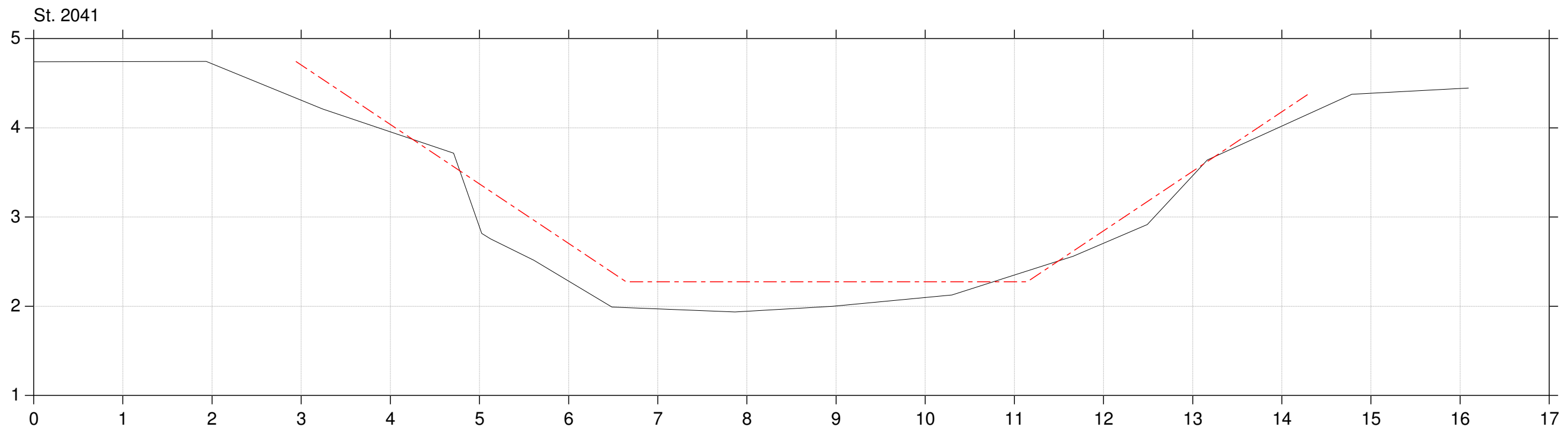
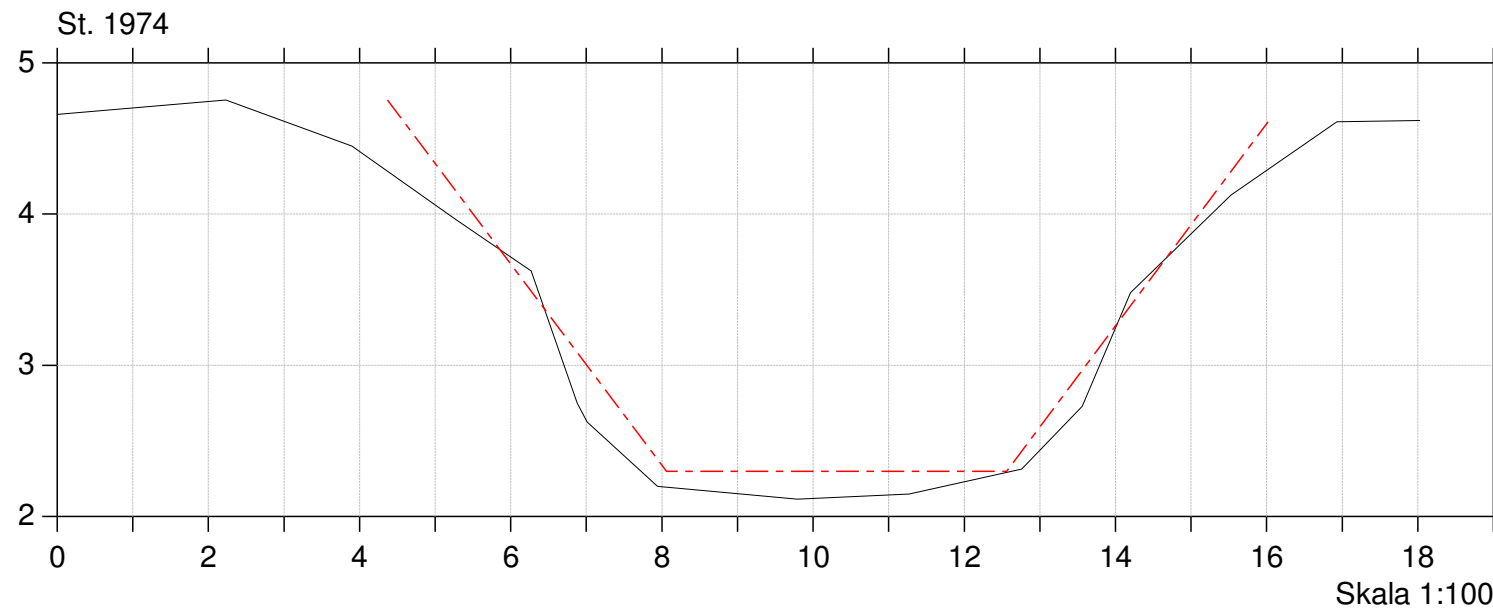


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

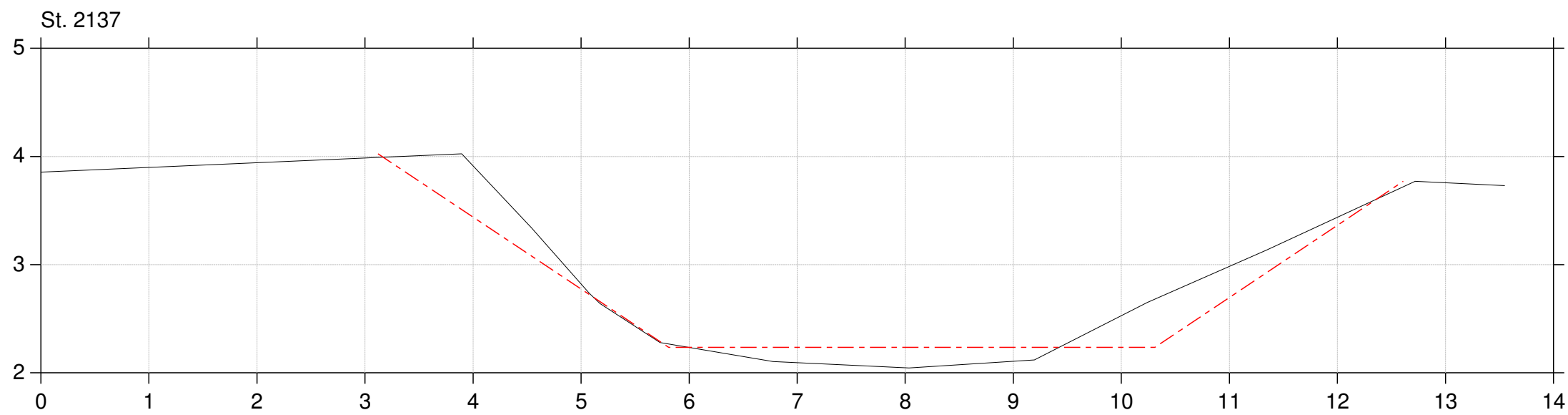
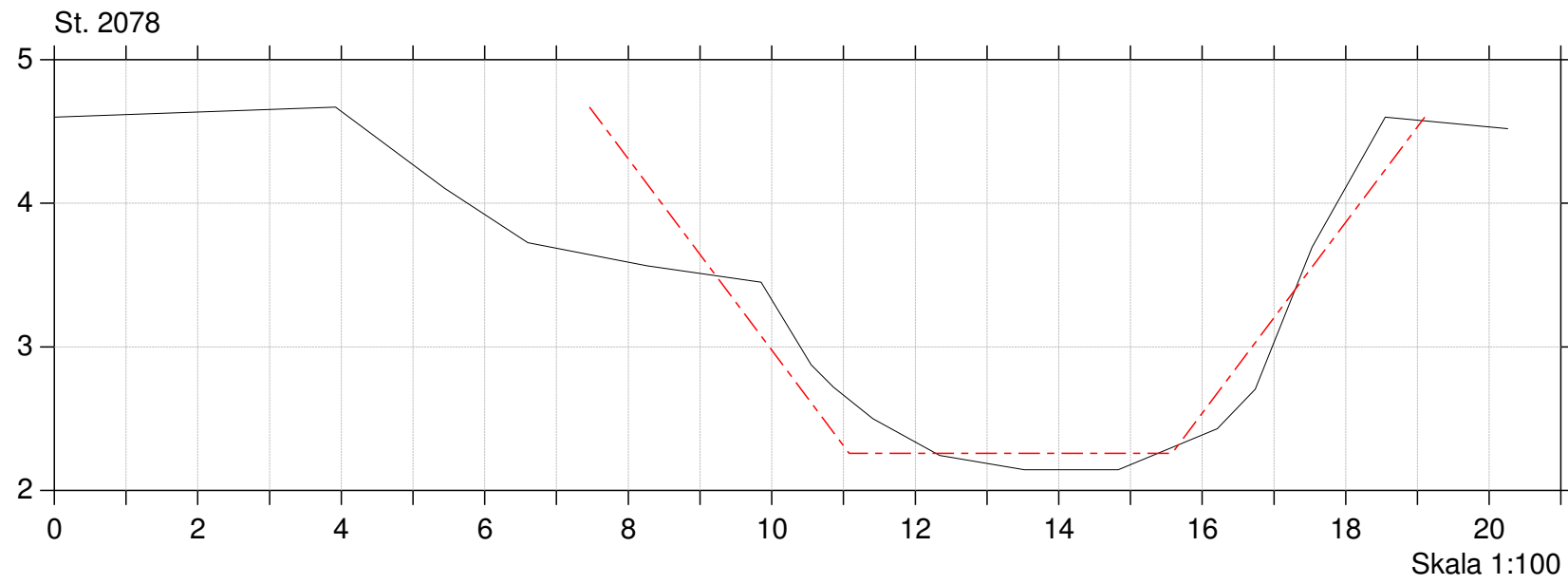


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

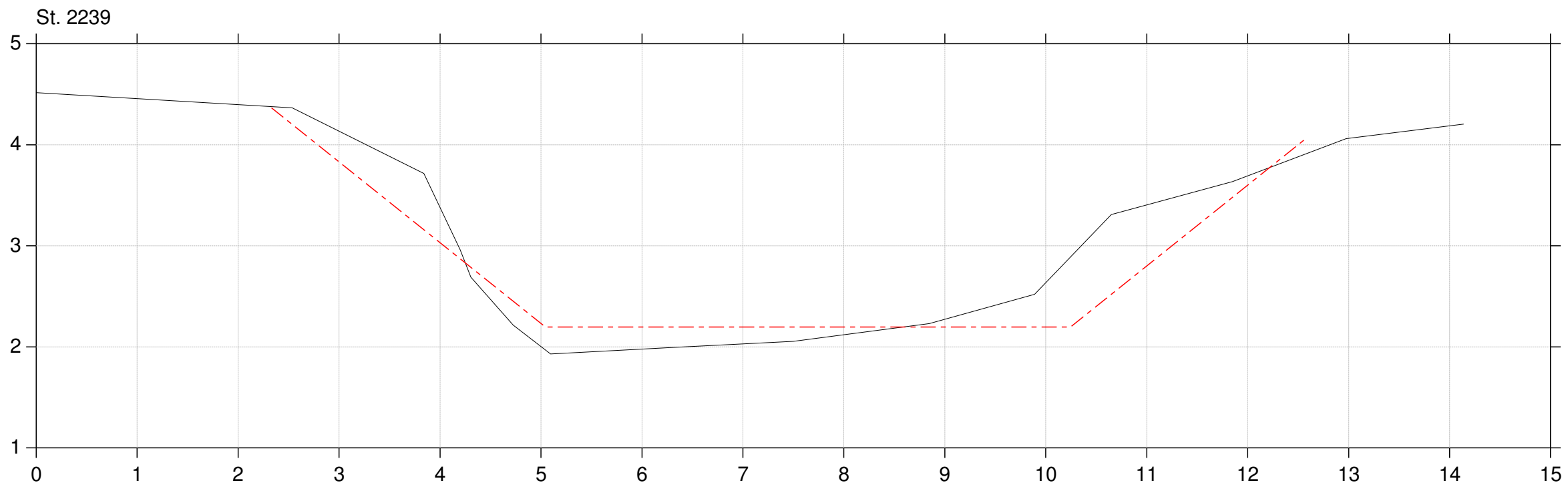
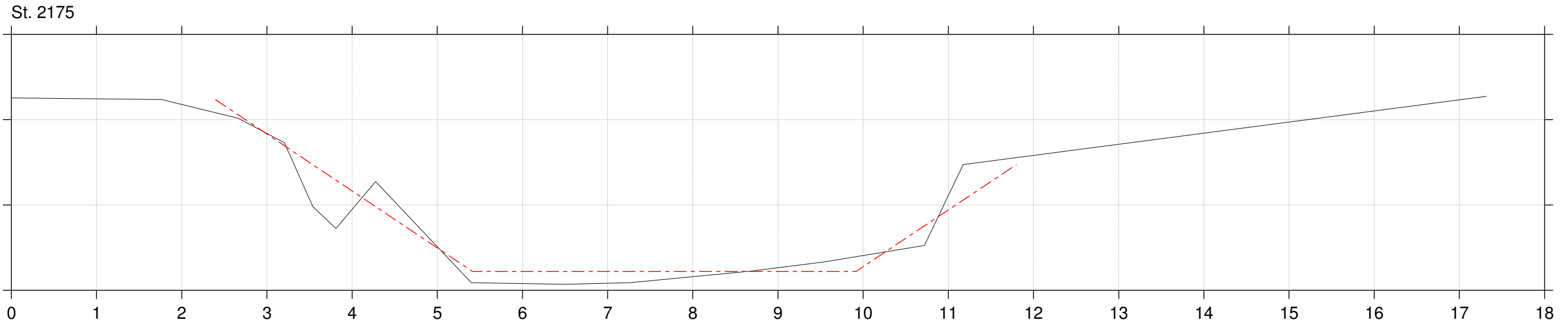


SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34



SEGES Vurdering af opmålingsmetoder

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

--- Regulativ
— Gerå - opmålt april 2020 LE34

