

**VIBORG KOMMUNE
UDREDNING AF VANDSTANDSFORHOLDENE
I GUDENÅEN VED BJERRINGBRO**

Rekvirent

Viborg Kommune
att. Rolf Christiansen
Prinsens Allé 5
8800 Viborg

87 87 55 55
21 25 47 86
roc@viborg.dk

Rådgiver

Orbicon A/S
Jens Juuls Vej 16
8260 Viby J

Projekt	:	1391000159
Projektleder	:	Lars Bo Christensen
Projektmedarbejdere	:	Klaus Schlüsen
Kvalitetssikring	:	Michael Juul Lønborg
Revisionsnr.	:	Henrik Vest Sørensen
Godkendt af	:	2
Udgivet	:	Henrik Vest Sørensen
	:	Februar 2013

INDHOLDSFORTEGNELSE

1	Indledning og baggrund.....	5
1.1	Indledning	5
1.2	Baggrund	5
2	Datagrundlag og beregninger	9
2.1	Datagrundlag generelt	9
2.1.1	Karakteristiske afstrømninger og vandføringer	9
2.1.2	Daglige Manningtal	10
2.1.3	Regnvandsudløb fra Bjerringbro til Gudenåen.	15
2.2	Forebyggelse af oversvømmelser ved Bjerringbro.....	15
3	Resultater	22
3.1	Udviklingen i Gudenåens vandstand i historisk og fremtidig perspektiv	22
3.2	Vandstandens indflydelse på kloaksystemet i Bjerringbro	24
3.3	Effekten af grødeskæringen i 2010 og 2011	24
3.4	Forebyggelse af oversvømmelser ved Bjerringbro.....	25
3.4.1	Scenarie 1. Nuværende vandstandsforhold 2001 - 2009.....	25
3.4.2	Scenarie 2. Tange Sø som buffer.....	26
3.4.3	Scenarie 3. Diger på strækningen ved Bjerringbro	30
3.4.4	Udvidelse af Gudenåen på strækningen nedstrøms Bjerringbro	31
3.4.5	Scenarie 5. Effekten af ændret grødeskæring	32
4	Konklusioner	34
5	Referencer	36

BILAGSFORTEGNELSE

Bilag nr.	Indhold	Målforhold
1	Længdeprofil for Gudenå på strækningen mellem st. 3000 og st. 20000, opmålte forhold. Desuden er vist beregnede vandstande ved sommermiddel vandføring for perioderne 1974 - 1989, 1990 - 1999 samt for årene 2007, 2008 2009, 2010 og 2011. Der er benyttet middel Manningtal for perioden juni - september for de pågældende perioder/år.	1:100 / 1:25.000
2	Længdeprofil for Gudenå på strækningen mellem st. 3000 og st. 20000, opmålte forhold. Desuden er vist beregnede vandstande ved sommermedian maksimumvandføring for perioderne 1974 - 1989, 1990 - 1999 samt for årene 2007, 2008 2009, 2010 og 2011. Der er benyttet middel Manningtal for perioden juni - september for de pågældende perioder/år.	1:100 / 1:25.000
3	Længdeprofil for Gudenå på strækningen mellem st. 3000 og st. 20000, opmålte forhold. Desuden er vist beregnede vandstande ved vintermiddel vandføring for perioderne 1974 - 1989, 1990 - 1999 samt for årene 2007, 2008 2009, 2010 og 2011. Der er benyttet middel Manningtal for perioden februar - april for de pågældende perioder/år.	1:100 / 1:25.000
4	Længdeprofil for Gudenå på strækningen mellem st. 3000 og st. 20000, opmålte forhold. Desuden er vist beregnede vandstande ved medianmaksimum vandføring for perioderne 1974 - 1989, 1990 - 1999 samt for årene 2007, 2008 2009, 2010 og 2011. Der er benyttet middel Manningtal for perioden februar - april for de pågældende perioder/år.	1:100 / 1:25.000
5	Længdeprofil for Gudenå på strækningen mellem st. 3000 og st. 20000, opmålte forhold. Desuden er vist beregnede vandstande ved 10-års maksimumvandføring for perioderne 1974 - 1989, 1990 - 1999 samt for årene 2007, 2008 2009, 2010 og 2011. Der er benyttet middel Manningtal for perioden februar - april for de pågældende perioder/år.	1:100 / 1:25.000

Bilag nr.	Indhold	Målforhold
6	Længdeprofil for Gudenå på strækningen mellem st. 3000 og st. 20000, opmålte forhold. Desuden er vist beregnede vandstande ved sommermiddel vandføring for perioden juni - september for henholdsvis ingen grødeskæring, 1 skæring, 1 fuld skæring samt 3 skæringer.	1:100 / 1:25.000
7	Længdeprofil for Gudenå på strækningen mellem st. 3000 og st. 20000, opmålte forhold. Desuden er vist beregnede vandstande ved sommermedian maksimumvandføring for perioden juni - september for henholdsvis ingen grødeskæring, 1 skæring, 1 fuld skæring samt 3 skæringer.	1:100 / 1:25.000
8	Længdeprofil for Gudenå på strækningen mellem st. 3000 og st. 20000, opmålte forhold. Desuden er vist beregnede vandstande ved vintermiddel vandføring for perioden februar - april for henholdsvis ingen grødeskæring, 1 skæring, 1 fuld skæring samt 3 skæringer.	1:100 / 1:25.000
9	Længdeprofil for Gudenå på strækningen mellem st. 3000 og st. 20000, opmålte forhold. Desuden er vist beregnede vandstande ved medianmaksimum vandføring for perioden februar - april for henholdsvis ingen grødeskæring, 1 skæring, 1 fuld skæring samt 3 skæringer.	1:100 / 1:25.000
10	Længdeprofil for Gudenå på strækningen mellem st. 3000 og st. 20000, opmålte forhold. Desuden er vist beregnede vandstande ved 10-års maksimumvandføring for perioden februar - april for henholdsvis ingen grødeskæring, 1 skæring, 1 fuld skæring samt 3 skæringer.	1:100 / 1:25.000
11	Længdeprofil for Gudenå på strækningen mellem st. 3000 og st. 20000, opmålte forhold. Desuden er vist beregnede vandstande ved sommermiddel, sommermedianmaksimum, sommer 5-års maksimum og sommer 10-års maksimumvandføring for 2009. Der er benyttet middel Manningtal for perioden juni - september for 2009, som er det år, hvor sommermiddel Manningtallet er lavest.	1:100 / 1:25.000
12	Vandstand i Tange Sø ved anvendelse af søen som buffer ved store afstrømninger (se afsnit 2.2 - scenarie 2 og afsnit 3.4.2).	-

1 INDLEDNING OG BAGGRUND

1.1 Indledning

Orbicon gennemførte i december 2009 i samarbejde med Viborg Kommune en opmåling af Gudenåen på strækningen fra Tangeværket til Ulstrup, og i den forbindelse blev der udarbejdet et notat, som belyser forskellige forhold omkring vandstanden i Gudenåen herunder også ved Bjerringbro (Orbicon 2010).

Opmålingen og beregningerne blev igangsat på baggrund af højere vandstande i Gudenåen end tidligere. De forhøjede vandstande i Gudenå herunder også omkring Bjerringbro er fortsat, og vandstandsforholdene omkring byen kan være kritiske ved store afstrømninger.

I de seneste år er der kommet endnu mere fokus på vandstandsforholdene på grund af den kraftigt forøgede grødevækst i vandløbet. I den vandplan, som omfatter Gudenåen (Vandplan hovedopland 1.5 Randers Fjord), som blev sendt i høring i oktober 2010, blev det påregnet, at der i første planperiode skulle gennemføres ændret vedligeholdelse, men dette er ikke længere tilfældet i den endelige vandplan, som blev offentliggjort ultimo 2011.

På denne baggrund ønsker Viborg Kommune, at der til brug for den fremtidige administration af Gudenåen gennemføres en udredning, der beskriver udviklingen i vandstanden ved Bjerringbro på baggrund af data fra målestationer med en lang driftsperiode, sætter udviklingen i perspektiv, ligesom der ønskes forslag til, hvorledes man kan forebygge skader på byen ved høj vandstand i åen.

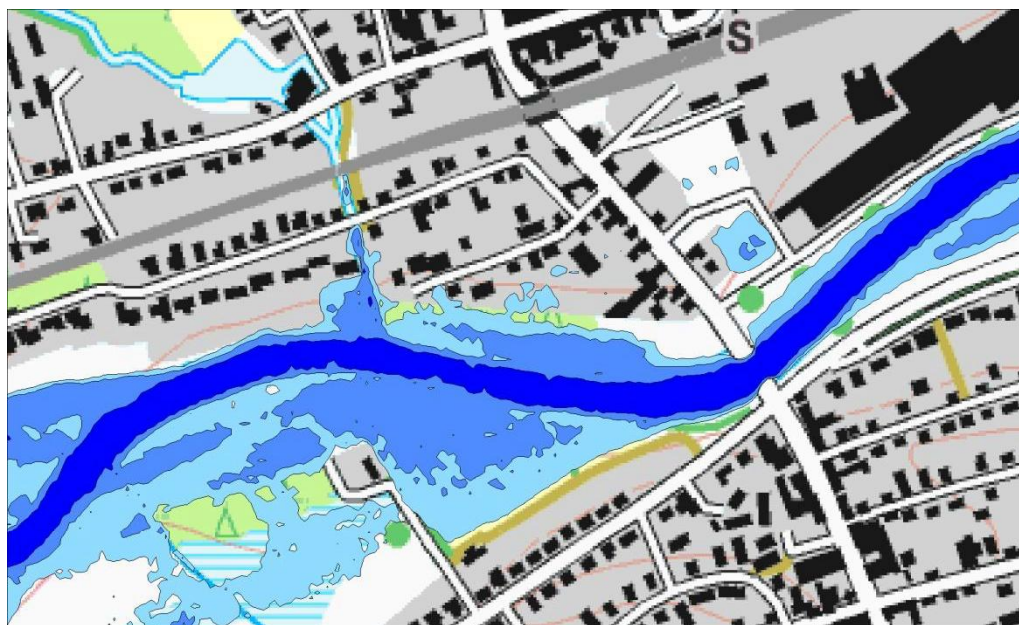
1.2 Baggrund

Hen over sommeren 2008 blev der konstateret forhøjede vandstande i Gudenåen på strækningen mellem Silkeborg og Ulstrup. Måske nåede den forhøjede vandstand helt frem til Randers. Årsagen til de forhøjede vandstande var ikke ekstreme nedbørsmængder, idet nedbøren i sommerperioden var usædvanlig lille, dog bortset fra august. Årsagen var en markant stigning i grødemængden i vandløbet, som med stor sandsynlighed er genereret af bedre lystilgang til undervandvegetationen. Den bedre lystilgang skyldes med meget stor sandsynlighed den invasive art vandremuslingen, der blev konstateret første gang i Gudenå-systemet i 2006 (Knud Sø), hvorefter den hurtigt har spredt sig til stort set hele vandløbsstrækningen nedstrøms med lokalt massive forekomster. Det kan dog ikke afvises, at den generelle indsats efter vandmiljøplanerne også har haft en effekt.

På denne baggrund blev Orbicon bedt om et udredningsarbejde (Orbicon 2008), der blandt andet skulle være beslutningsgrundlag for, om kommunerne skulle iværksætte grødeskæring i vandløbet, hvilket på daværende tidspunkt ikke var gennemført siden 2000. Udredningsarbejdet skulle ligeledes indeholde en risikoanalyse for oversvømmelser ved Bjerringbro.

Risikoanalysen for oversvømmelser ved Bjerringbro blev blandt andet gennemført ved vandspejlsberegninger for 3 vandføringer, nemlig sommermiddel, sommer medianmaksimum og sommer 10-års maksimum. Resultatet er illustreret i figur 1.1.1. Ved

sommermiddel løber Gudenåen kun i sit normale profil, men ved sommer medianmaksimum begynder de lavest liggende enge langs vandløbet at blive oversvømmet. Ved sommer 10-års maksimum breder oversvømmelserne sig til store dele af de lavt liggende enge.

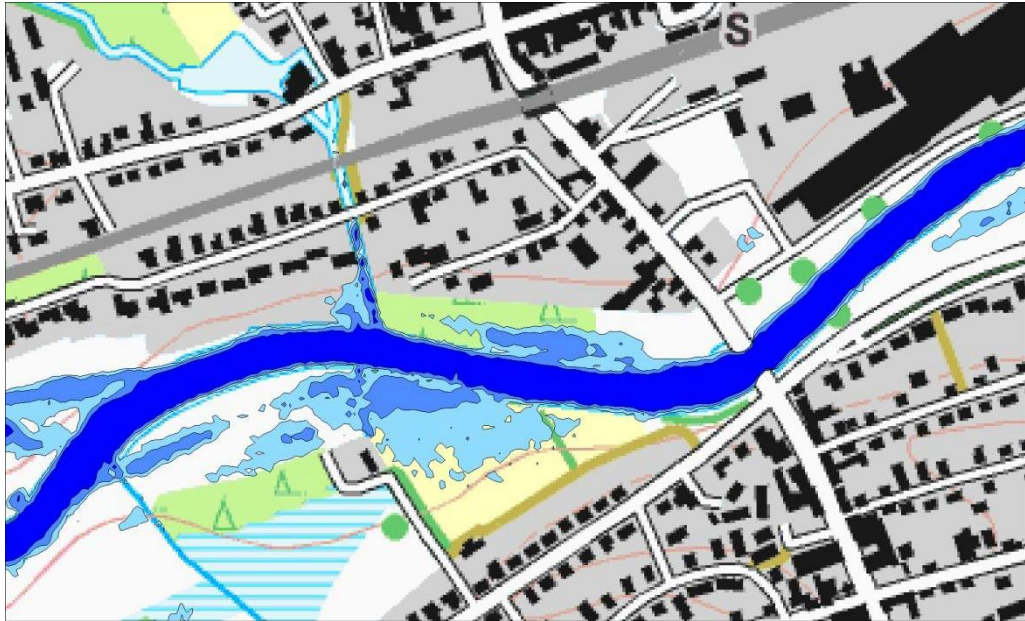


Figur 1.1.1: Vandstandsforhold ved Bjerringbro ved 3 forskellige karakteristiske vandføringer, sommermiddel (mørkeblå), sommer medianmaksimum (mellemlå) og sommer 10-årsmakimum (lyseblå) (Christensen og Schlünsen 2008).

På baggrund af indsamlede data fra tidligere år samt fra 2008 blev der desuden gennemført sammenlignende vandspejlsberegninger for grødesituationen i henholdsvis år 2000, 2006 og 2008 for den strækning af Gudenåen, der ligger mellem Tangeværket og Ulstrup. Beregningerne blev gennemført for en sommer medianmaksimum vandføring (figur 1.1.2).

Det fremgår af figur 1.1.2, at den højere vandstand ved og omkring Bjerringbro ikke kun er et fænomen fra 2008, idet beregningerne viser, at der også i 2006 var tale om noget forhøjede vandstande sammenlignet med 2000, når der er regnet med samme vandføring. Resultaterne tyder således på, at udviklingen med højere vandstande begyndte i det små allerede tidligt efter, at grødeskæringen blev indstillet. Herefter har grøden langsomt men stabilt udviklet sig, og den har i sommeren 2008 nået et niveau, der har medført betydeligt højere vandstande end i sommeren 2000 (op til ca. 0,5 m).

Såfremt denne udvikling fortsætter, kan det på relativt kort sigt give problemer med sommeroversvømmelser i Bjerringbro, hvis der samtidigt indtræffer en ekstrem stor afstrømning. I givet fald vil flere ejendomme være truet af oversvømmelser, som det fremgår af de 2 figurer.



Figur 1.1.2: Vandstandsforhold ved Bjerringbro ved sommermedian maksimum vandføring beregnet for henholdsvis 2000 (mørkeblå), 2006 (mellemlå) og 2008 (lyseblå) (Christensen og Schlüsen 2008).

På denne baggrund har Viborg kommune bedt Orbicon udarbejde nærværende udredning af vandstandsforholdene i Gudenåen ved Bjerringbro. Udredningen skal indeholde en historisk redegørelse samt forslag til, hvordan skader på byen fra høje vandstande i åen kan forebygges.

Det er således aftalt, at følgende elementer skal være indeholdt i udredningen:

- Udviklingen i Gudenåens vandstand i historisk og fremtidig perspektiv.
- Ud fra opmålingen gennemført i december 2009 samt de aktuelle afstrømninger belyses de aktuelle vandstandsforhold ved Bjerringbro, herunder om de aktuelle eller de formodede fremtidige vandstande har negativ indflydelse på byens kloaksystem.
- Der gennemføres en vurdering af, hvilken effekt på vandstanden der har været af den grødeskæring, der er gennemført på strækningen i henholdsvis 2010 og 2011.
- Der gennemføres beskrivelser af, hvordan man med tekniske foranstaltninger kan forebygge skader på byen som følge af forhøjede vandstande, herunder konsekvensberegninger af:
 - Øget grødeskæring.
 - Ændret reguleringsstrategi for Tangeværket, hvorunder det belyses, hvorvidt magasin effekten i Tange Sø kan udnyttes.
 - Udvidelse af vandløbet.
 - Inddigning.

I opgaveløsningen inddrages i relevant omfang de analyser og vurderinger vedrørende Gudenåen, som Orbicon har gennemført i de senere år for Viborg Kommune og for nabokommunerne.

Alle koter i dette notat er i DVR90, med mindre andet er nævnt.

Det skal bemærkes, at undersøgelserne, der relaterer til at forebygge skader på Bjerringbro By ved oversvømmelser, alene er gennemført beregningsmæssigt for at illustrere, hvad der skal til, og hvorvidt et eller flere af de foreslåede tiltag vil være tilstrækkelige til at reducere Gudenåens vandstand til et acceptabelt niveau ved Bjerringbro. Det er således ikke i denne rapport undersøgt, hvorvidt tiltagene er teknisk, lovgivningsmæssigt og/eller økonomisk gennemførlige. Det bemærkes, at beregningerne, som ligger til grund for nærværende rapport, er gennemført i 2 tempi, hvilket skyldes forhold omkring datakvaliteten for 2010 for målestation 21.09 Gudenå, Ulstrup. Opstilling af den hydrodynamiske MIKE 11 model og de gennemførte beregninger med modellen er således gennemført allerede i foråret 2011, mens de resterende beregninger, som er gennemført med Orbicons vandspejlsberegningsprogram VASP, først er gennemført i efteråret 2012, efter at stationsdata for 21.09 Gudenå ved Ulstrup er genberegnet af Orbicon for 2010.

Ovennævnte betyder således, at alle beregninger omkring forebyggelse af oversvømmelser ved Bjerringbro (scenarie 1 - 4 men altså ikke for scenarie 5 om ændret grødeskæring) er gennemført i 2011 med MIKE11 modellen (datagrundlag 2001 - 2009), mens alle øvrige beregninger er gennemført i 2012 med Orbicons vandspejlsberegningsprogram VASP på det opdaterede datagrundlag. Forskellen i datagrundlaget for de 2 sæt beregninger vurderes uden væsentlig betydning for konklusionerne, idet beregningerne med MIKE11 modellen primært omfatter situationer med høje vintervandstande, hvor grødens betydning er minimal, og alle andre beregninger, hvor grødeforholdene er af væsentlig betydning, er således gennemført på det opdaterede datagrundlag.

2 DATAGRUNDLAG OG BEREGNINGER

2.1 Datagrundlag generelt

2.1.1 Karakteristiske afstrømninger og vandføringer

På strækningen mellem Tangeværket og Ulstrup findes der 2 hydrometriske målestationer, nemlig 21.07 Gudenå, Bjerringbro og 21.09 Gudenå, Ulstrup. Førstnævnte drives af Orbicon for Viborg Kommune, og den har været i drift siden midten af februar 2009. Sidstnævnte station har været i drift i mange år, og den er siden starten af 2007 drevet af Miljøcenter Århus, mens Orbicon har gennemført vandføringsmålingerne for miljøcentret frem til og med 2009. Før 2006 blev stationen drevet af Danmarks Miljøundersøgelser.

På disse 2 stationer registreres vandstanden kontinuert, ligesom jævnlige vandføringsmålinger på stationen ved Ulstrup gør det muligt at beregne vandføringer for stationerne (ved Bjerringbro via oplandskorrektioner til Ulstrup).

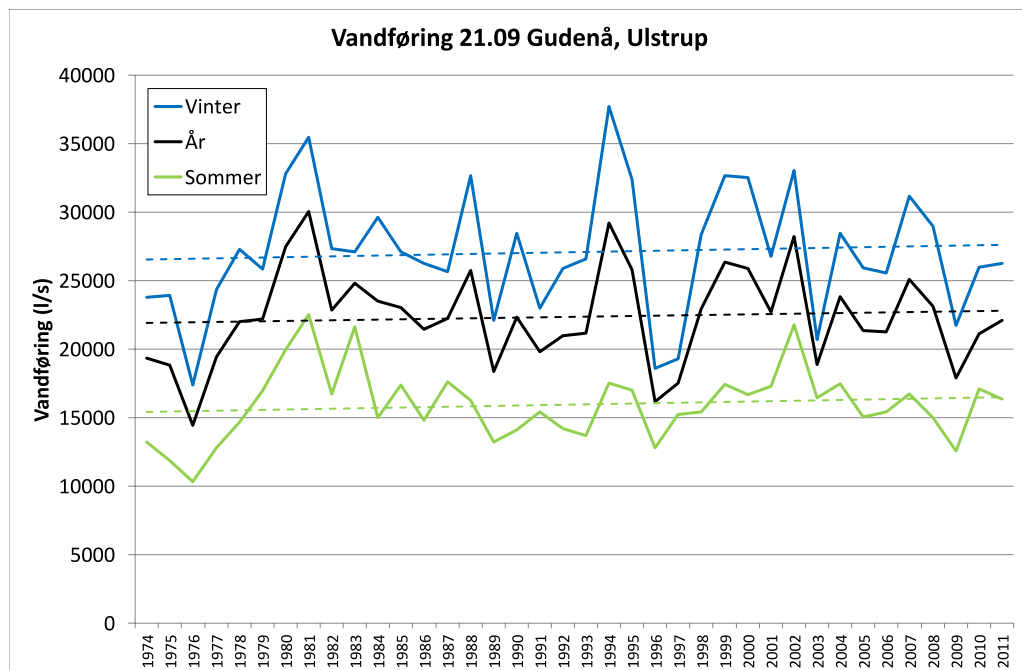
Ud fra datamaterialet fra stationen ved Ulstrup (opland 1.790 km²) er beregnet de i tabel 2.1.1. viste karakteristiske døgnmiddel afstrømninger og -vandføringer for perioden 1976 - 2005.

Tabel 2.1.1: Karakteristiske afstrømninger og vandføringer (afrundet til 3 betydende cifre) på st. 21.09 Gudenå, Ulstrup beregnet på data fra 1981 - 2010.

Hændelse	Afstrømning l/sek/km ²	Vandføring l/sek
Medianminimum	5,53	9.900
Sommermiddel	9,11	16.300
Sommer medianmaksimum	15,03	26.900
Vintermiddel	15,25	27.300
Medianmaksimum	27,14	48.600
5-års maksimum	33,85	60.600
10-år maksimum	35,60	63.700

Vandløbsoplandene, som indgår i både VASP og MIKE11 modellerne, fremgår af tabel 2.1.3 i afsnit 2.3.

Der er desuden udarbejdet en vandføringsstatistik for hele dataperioden 1974 - 2011 opdelt på sommermiddel, vintermiddel og hele året. Data er vist i figur 2.1.1. Som det fremgår af de indlagte tendenslinjer, er der for perioden sket en svag stigning i Gudenåens vandføring, svarende til ca. 5 %. Dette betyder, at den stigning i vandløbets vandstand, som er konstateret visuelt, og som fremgår af efterfølgende beregninger for langt hovedpartens vedkommende skyldes andre forhold end vandføringen. Det er desuden tvivlsomt, hvorvidt den viste stigning i vandføringen er reel, eller blot hænger sammen med, at der i starten af perioden forekom nogle meget tørre år (1974 - 1977), og såfremt der ses bort fra disse år, kan der ikke konstateres en stigning i Gudenåens vandføring. Der er således næppe tale om en stigning i vandløbets vandføring i den belyste periode.



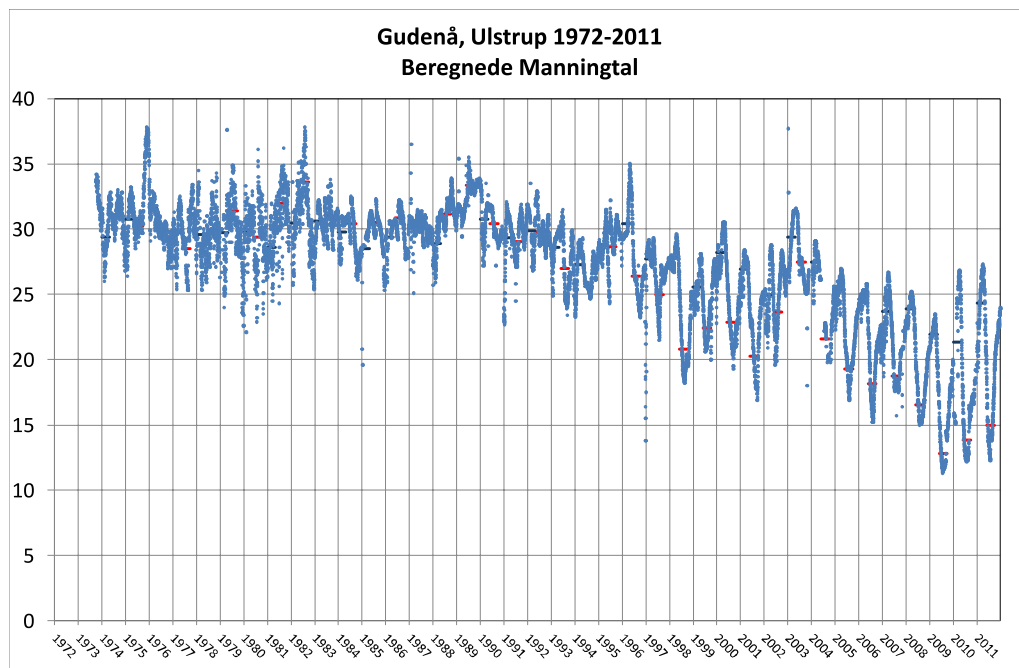
Figur 2.1.1: Middelvandføring (sommer, vinter og året) for Gudenåen ved målestation 21.09 Gudenå, Ulstrup i perioden 1974 - 2011. Der er ligeledes vist tendenslinjer.

2.1.2 Daglige Manningtal

I forbindelse med undersøgelsen er der til brug for beregningerne omkring den historiske og fremtidige udvikling af vandstanden (afsnit 3.1), belysningen af effekten af grødeskæringerne i 2010 og 2011 (afsnit 3.3) samt belysning af effekten af øget grødeskæring (afsnit 3.4.5) er der gennemført beregninger af daglige Manningtal for Gudenåen ved Ulstrup.

Manningtallet er et udtryk for ruheden i vandløbet. Ruheden er normalt mindst om vinteren (størst Manningtal), hvor der ikke er grøde i vandløbet. Her er vandstanden i vandløbet alene bestemt af vandløbets dimensioner og vandløbets vandføring. Når grøden fra typisk midt i april begynder at vokse, falder vandføringsevnen (ruheden stiger og Manningtallet falder), hvilket resulterer i stigende vandstande, såfremt vandføringen og vandløbets dimensioner ikke ændres. Grøden vokser især i perioden frem til sensommeren, hvor den naturligt begynder at henfalde, og vandløbets vandføringssevne (og Manningtallet) stiger igen. Den nævnte cyklus kan dog brydes, såfremt der forekommer meget kolde vintre, med isdannelse til følge. I disse tilfælde øges ruheden i vandløbet og Manningtallet falder (se f.eks. figur 2.1.4).

Beregningerne af de daglige Manningtal er gennemført på baggrund af den nye opmåling af Gudenåen, som blev gennemført i 2009/2010. Der er således gennemført vandspejlsberegninger med VASP (for strækningen fra Ulstrup til Randers) for den pågældende døgnmiddelvandføring, hvor efter Manningtallet er fundet som en iterativ beregning på baggrund af den pågældende døgnmiddelvandstand. Beregningerne er gennemført for hele datamaterialet for stationen, hvorfra der findes digitale data for både døgnmiddelvandstand og døgnmiddelvandføring, nemlig perioden ultimo 1973 - 2011. Resultaterne af samtlige beregninger fremgår af figur 2.1.2.



Figur 2.1.2: Beregnede daglige Manningtal for målestation 21.09 Gudenå, Ulstrup for perioden 1974 - 2011.

Det fremgår af figuren, at der over tid har været betydelige forskelle i vandløbets ruhed, idet forskellene dog først bliver rigtig tydelige i de senere år. Umiddelbart vurderes det, at data i figuren kan inddrages i 5 perioder, nemlig 1974 - 1989, 1990 - 1997, 1998 - 2003, 2004 - 2008 og 2009 - 2011.

I den lange periode mellem 1974 til 1989 varierer Manningtallet over året fra ca. 35 om vinteren til ca. 25 om sommeren. Middel Manningtallet ligger i perioden lige omkring 30.

I perioden 1990 til 1997 begynder der tilsyneladende at ske et fald i Manningtallet, hvilket gælder både sommer og vinter (vinteren 1996 er en undtagelse). Perioden karakteriseres ved mindre udsving mellem sommer og vinter, således at det maksimale vinter Manningtal nærmer sig 30, mens det minimale sommer Manningtal i hele perioden er mindre end 25 og faldende. Det er vanskeligt at gisne om årsagen til faldet, men det kan være en følge af vandløbsloven fra 1982, hvor der anbefales mere miljøvenlig vedligeholdelse.

Herefter indtræder en periode fra 1998 til 2003, hvor forholdene stabiliserer sig om et maksimalt vinter Manningtal på ca. 30, mens det minimale sommer Manningtal typisk er 20 (ned til 17 i 2001). Middel Manningtallet ligger i perioden omkring 24. Året 2003 er dog atypisk for perioden, idet Manningtallet ikke når under ca. 25 om sommeren. Det mindre Manningtal i forhold til tidligere perioder skyldes med stor sandsynlighed, at man ved vedtagelsen af det gældende regulativ for Gudenåen (Viborg og Århus amter 2000) ophørte med grødeskæring på hele strækningen fra Silkeborg til Randers. Forud for de senere års vedligeholdelse er der således ikke skåret grøde i Gudenåen siden 1999.

Herefter indtræder en ny periode (2004 til 2008) med nyt fald i Manningtallet. I perioden falder det maksimale vinter Manningtal til ca. 25, mens det minimale sommer

Manningtal falder til ca. 15. Dette nye fald i Manningtallet kan med stor sandsynlighed forklares ved ophør af grødeskæring samt ikke mindst på baggrund af indvandring af den invasive vandremusling, som renser vandet så godt, at lystilgangen til vandløbsbunden giver grøden optimale vækstmuligheder, med deraf stærkt stigende grødemængder i vandløbet (Orbicon 2008). Som tidligere nævnt kan det dog ikke udelukkes, at vandmiljøplanindsatserne har bidraget til det klarere vand.

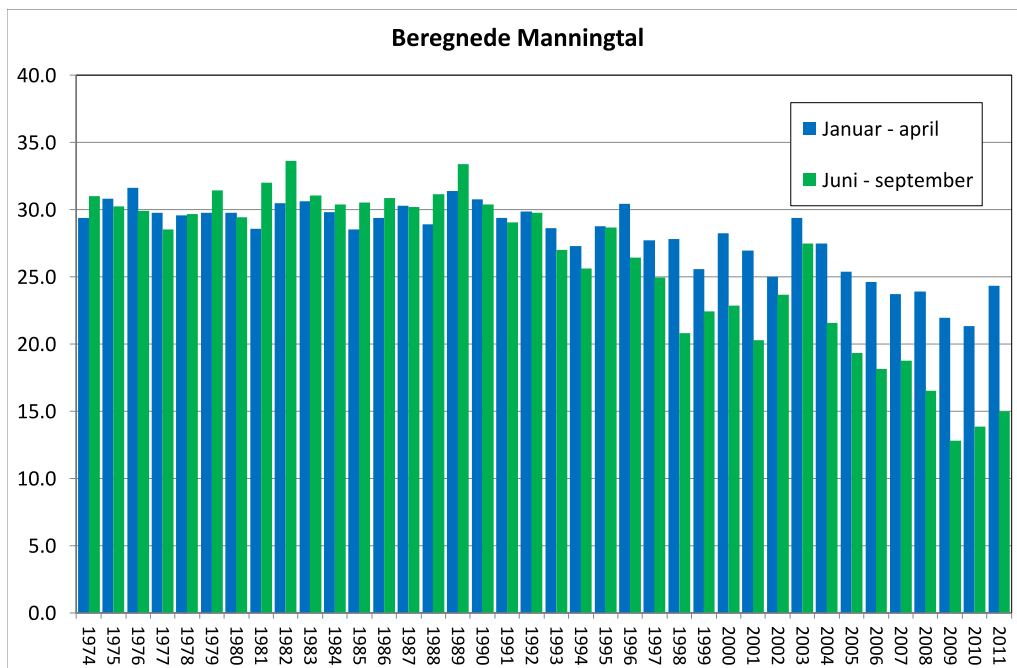
Siden perioden 1974 - 1989 er det maksimale vinter Manningtal faldet fra ca. 35 til ca. 25, hvilket kun kan tolkes som resultatet af stigende mængder overvintrende grøde i vandløbet, da flere undersøgelser (blandt andet Orbicon 2008 og 2011) viser, at Gudenåen har været meget formstabil som minimum siden opmålingen gennemført i 1922. Det er således ikke ændringer i vandløbets profil, som er årsagen til de faldende Manningtal. I forhold til samme periode (1974 - 1984) er det minimale Manningtal faldet fra ca. 25 til ca. 15, og der skal her erindres om, at Manningtallet ikke er en lineær skala, hvorfor faldet er et udtryk for en meget betydelig stigning i vandløbets ruhed og dermed i grødemængden.

For den seneste periode (2009 - 2011) ser forholdene igen ud til at være stabiliseret, men for det laveste sommer Manningtal på et endnu lavere niveau, hvor Manningtallet er helt nede på 12 - 13, selvom der i hvert af disse 3 år er gennemført en grødeskæring i den regulativmæssige termin.

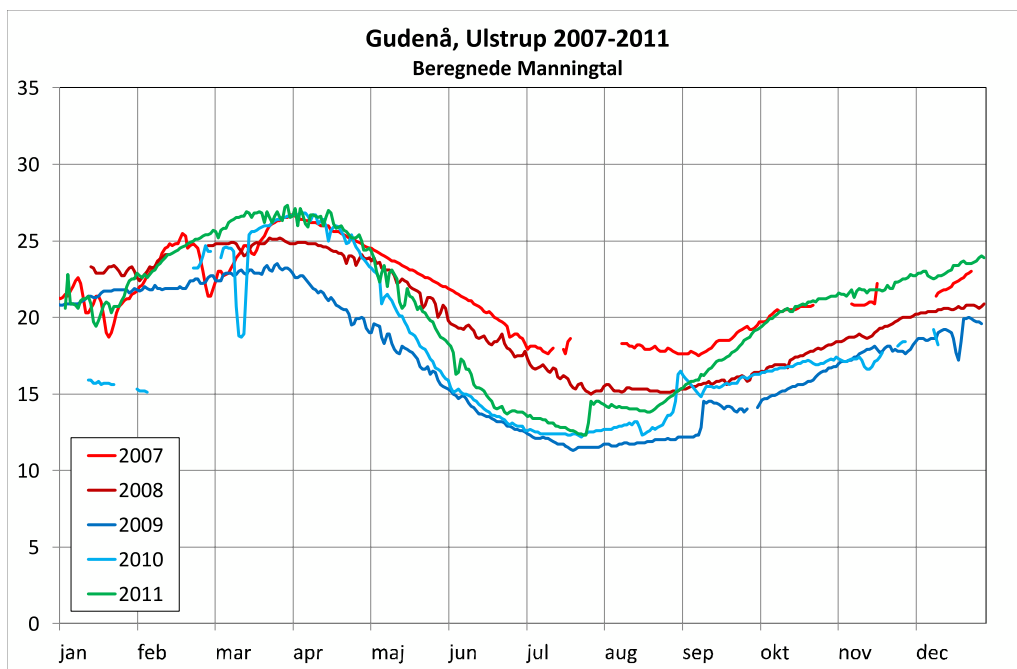
Den omtalte historiske udvikling i Manningtallet har naturligvis betydelig indflydelse på udviklingen i Gudenåens vandstand, herunder også ved Bjerringbro. Denne udvikling er belyst i afsnit 3.1. Her skal det alene bemærkes, at udviklingen betyder, at der nu i perioder også optræder meget høje vandstande om sommeren, hvilket tidligere kun er forekommet om vinteren, hvor de største afstrømningshændelser normalt forekommer. Den stigende mængde overvintrende grøde i vandløbet vil desuden medføre endnu højere maksimal vandstande end tidligere, hvilket kan udgøre en trussel for dele af Bjerringbro By.

På baggrund af de daglige Manningtal er der for at tydeliggøre eventuelle udviklingstendenser beregnet vinter- (januar - april) og sommermiddel (juni - september) Manningtal for hele dataperioden, hvilket er vist i figur 2.1.3. Det forhold, at der kigges på middeltal, gør, at ovennævnte udvikling udviskes en smule, men der er tydeligt, at der er sket et fald i middelvinter Manningtallet fra ca. 30, som forekom i ca. første halvdel af dataperioden, hvorimod tallet i de seneste 5 år har varieret mellem ca. 22 og ca. 24. Faldet i sommermiddel Manningtallet er ikke uventet endnu tydeligere, idet dette er faldet fra ca. 30 i første halvdel af dataperioden til nu kun mellem 13 og 15 for de seneste 3. år.

I figur 2.1.4 er der fokuseret på variationen i Manningtallet over året i de seneste 5 år, hvilket er perioden efter, at vandremuslingen første gang blev konstateret i Gudenå systemet i Knud Sø i 2006.



Figur 2.1.3: Beregnede vintermiddel Manningtal (januar - april) og sommermiddel Manningtal (juni - september) for målestation 21.09 Gudenå, Ulstrup for perioden 1974 - 2011.



Figur 2.1.4: Beregnede daglige Manningtal for de seneste 5 år for målestation 21.09 Gudenå, Ulstrup. Det bemærkes, at der findes dataudfald for kortere perioder i 2007, og at de lave Manningtal i januar og i marts 2010 skyldes ruhed fra is.

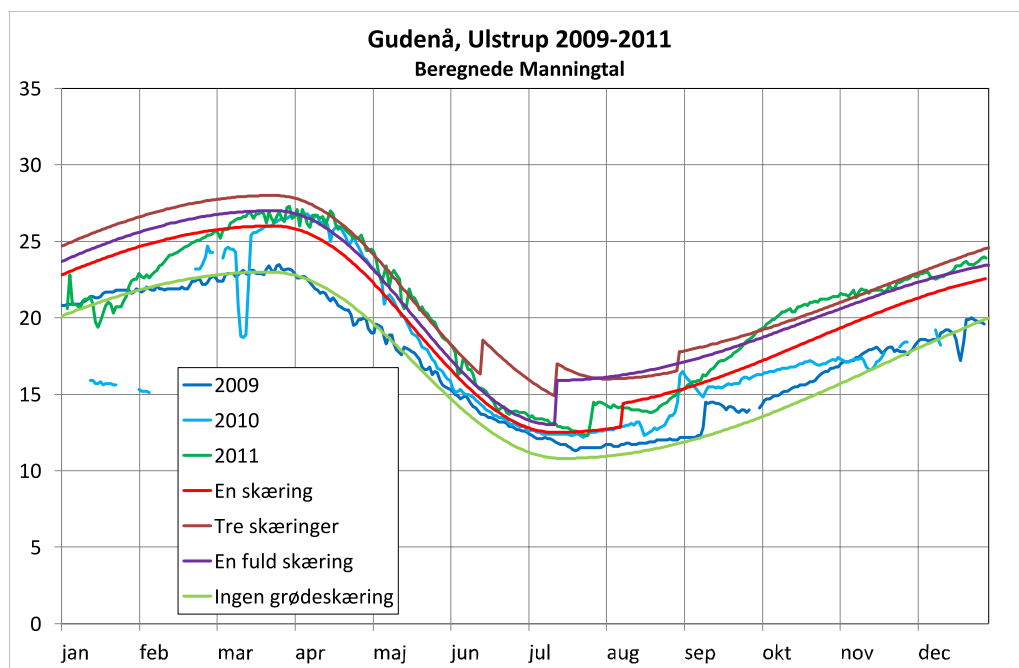
Det fremgår af figuren, at Manningtallet i 2007 og 2008 varierede mellem ca. 25 om vinteren og ca. 15 om sommeren. Året 2009 udviser de laveste værdier for Manningtallet for hele dataperioden med den laveste værdi på ca. 12 om sommeren og den højeste værdi om vinteren på ca. 23. I 2010 og 2011 når Manningtallet ligeledes meget lave værdier om sommeren, men sidst i vinterperioden (marts) når Manningtallet

igen over 25. Det er især bemærkelsesværdigt, at Manningtallet i 2011 i perioden oktober - december ligger ca. 5 enheder højere end i 2009 og i 2010, hvilket antageligt er et udtryk for, at vandløbet indeholder mindre overvintrende grøde nu end i de nærmest foregående år. Hvorvidt der er tale om en egentlig udvikling, eller om der blot er tale om normale år til år udsving er vanskeligt at sige.

Perioden 2009 til 2011 dækker perioden efter, at praksis med en årlig grødeskæring er genoptaget. I disse 3 år er der således gennemført grødeskæring så der efter grødeskæringen har eksisteret en strømrønde på 10 m på strækningen forbi målestationen ved Ulstrup. Det skal bemærkes, at grøden er vokset ind mod strømrønden fra siderne. Grødevæksten er derfor mere massiv i strømrønden før grødeskæring i 2011, end den var det første år, der var behov for grødeskæring. De skæringer, som er gennemført, fremgår af figuren, idet der er skåret grøde primo september 2009, ultimo august 2010 og medio august 2011. Det bemærkes dog, at skæringen i 2011 af figuren ser ud til at være sket ultimo juli, men dette skyldes en ikke korrekt bearbejdning af data (er ikke gennemført af Orbicon) fra målestationen.

Da opgaven indeholder vurdering af effekten af en eventuel intensivering af grødeskæringen, er der opstillet tidlige grødemodeller for den eksisterende vedligeholdelse (1 årlig skæring primo august), en model, hvor der ligeledes skæres 1 gang pr. år, men hvor der skæres i fuld vandløbsbredde (primo juli), samt en model med 3 årlige skæringer, som gennemføres medio juni, primo juli og ultimo august.

Grødemodellerne fremgår af figur 2.1.5 sammenholdt med de beregnede Manningtal for de seneste 3 år.



Figur 2.1.5: Beregnede daglige Manningtal for de seneste 3 år på målestation 21.09 Gudenå, Ulstrup samt grødemodeller for den nuværende vedligeholdelse (1 skæring primo august), 1 fuld skæring (primo juli) og 3 årlige skæringer (medio juni, primo juli og ultimo august). Endelig er der vist grødemodel, for situationen, hvor der ikke længere gennemføres grødeskæring. Det bemærkes, at de lave Manningtal i januar og marts 2010 skyldes is.

2.1.3 Regnvandsudløb fra Bjerringbro til Gudenåen.

Ifølge spildevandsplanen for Viborg Kommune findes der 10 regnvandsudløb til Gudenåen på strækningen ved Bjerringbro. Desuden findes udløbet (åben grøft fra venstre) fra Bjerringbro Renseanlæg i Gudenåens st. 6222. Data for de 10 udløb findes i tabel 2.1.2.

Tabel 2.1.2: Udløbsledninger fra Bjerringbro til Gudenåen (Viborg Kommune 2009). v og h henviser til vandløbets venstre og højre side.

St. Gudenå	Udløbs nr.	Dimension mm	Bundkote m DVR90
3855 v	A13500U	250 pvc	3,65
4380 v	A13000U	200 b	3,35
4425 v	A10100U	400 b	2,85
4750 v	A10000U	400 b	2,95
4755 h	A06200U	600 b	2,35
4885 h	A0600U	600 b	2,45
4900 h	A0500U	-	2,73
5055 v	A00400U	1000 b	2,27
5058 v	A00300U	1000 b	2,28
5115 v	A45000U	400 b	2,28

2.2 Forebyggelse af oversvømmelser ved Bjerringbro

I forbindelse med undersøgelser af tiltag, som kan forebygge oversvømmelser i Bjerringbro, er der opstillet en hydrodynamisk MIKE 11 model for den nedre del af Gudenåen, hvilket omfatter strækningen fra udløbet af Silkeborg Langsø til udløbet i Randers Fjord. I modellen er anvendt opmålte tværprofiler for hele strækningen, som det fremgår af tabel 2.2.1.

Tabel 2.2.1: Grundlag for tværprofiler anvendt i opstilling af MIKE11 modellen for Gudenåen.

Strækning	Kilde
Silkeborg Langsø - Tange Sø st. 0 - 20849	Opmåling gennemført af Niras i 1997 for Århus og Viborg amter som grundlag for vandløbsregulativet (Århus og Viborg amter 2000)*.
Tange Sø	Tværprofiler udtrukket af en dybdemodel udarbejdet af Viborg Landinspektørkontor i 2001.
Tangeværket - Ulstrup	Opmåling gennemført af Orbicon i december 2009 for Viborg og Favrskov kommuner (Viborg og Favrskov kommuner 2010a).
Ulstrup - Motorvejsbroen ved Randers st. 14700 - 34000	Opmåling gennemført af Orbicon i marts - april 2010 for Randers og Favrskov kommuner (Randers og Favrskov kommuner 2010b).
Station 34000 - 37100	Opmåling gennemført af Niras i 1997 for Århus og Viborg amter som grundlag for vandløbsregulativet (Århus og Viborg amter 2000). Kun broerne er anvendt for denne strækning.

*: Det bemærkes, at Orbicon i 2011 for Silkeborg Kommune gennemførte en opmåling af Gudenåen på strækningen fra Ringvejsbroen i Silkeborg til udløbet i Tange Sø (Orbicon 2011). Opstilling af MIKE11 modellen er imidlertid gennemført før gennemførelsen af opmålingen opstrøms Tange Sø, hvorfor opmålingen fra 1997 er anvendt på strækningen. Dette vurderes dog uden betydning, idet sammenligning med to forudgående opmålinger i 1922 henholdsvis 1997 viser, at åens fysiske tilstand i al væsentlighed er uforandret i henseende til både aflejringer og indsnævringer Orbicon (2011).

Simuleringsperioden er 01.01.2001 til 31.12.2009. I den opstrøms ende af systemet (udløbet af Silkeborg Langsø) er der benyttet en tidsvarierende vandføring. Den nærmeste målestation er ifølge tabel 2.2.2 målestation 21.109 Gudenå, Resenbro, men da der ikke findes længere tidsserier for de tre mindre tilløb (Linå, Voel Bæk og Gjern Å) vælges i stedet at benytte målestation 21.01 Gudenå, Tvilumbro som opstrøms randbetingelse. Dette giver en anelse mere vand i den opstrøms ende af profilet, men da fokus i denne opgave er Tange Sø og Bjerringbro, vurderes tilnærmelsen som absolut acceptabel. På strækningen mellem Tvilumbro til Tangeværket inkluderes et bidrag fra Borre Å (målestation 21.70), for Hinge/Alling Å (målestation 21.42) og for Tange Å (målestation 21.30). Mindre tilløb er beskrevet som diffus tilstrømning på strækningerne mellem punktbidragene, som vist i tabel 2.2.3. Den opstrøms flow-randbetingelse er vist i figur 2.2.1.

Tabel 2.2.2: Eksisterende og tidligere hydrometriske målestationer i Gudenåen på strækningen nedstrøms Silkeborg Langsø, idet Voervadsbro dog er beliggende opstrøms Mossø.

Stationsnummer	Vandløb	Stationsnavn	Vandføringsdata
21.40	Gudenå	Voervadsbro	1973 - 2007
21.109	Gudenå	Resenbro	2004 - 2007
21.37	Linå	Ns Skjellerup Mølle	1974 - 1975
21.43	Voel Bæk	Voel Bro	1973 - 2001
21.41	Gjern Å	Smingevad Bro	1973 - 1989
21.01	Gudenå	Tvilum Bro	1917 - 2009
21.42	Hinge-Alling Å	Haugård	1974 - 1994
21.11	Gudenå	Kongensbro	I drift siden 2010 - kun vandstand
21.70	Borre Å	Møllebro	1987 - 2010
21.30	Tange Å	Vindelsbæk Bro	1973 - 2006
21.07	Gudenå	Bjerringbro	I drift siden 2009 - kun vandstand
21.09	Gudenå	Ulstrup	1973 - 2007
21.49	Lilleå	Løgstrup Mølle Dambrug	1973 - 2009
21.08	Gudenå	Langå gl. Bro	I drift siden 2009 - kun vandstand
21.03	Nørreå	Vejrumbro	1917 - 1959 og 1973 -2009

På strækningen fra Tange Sø til Randers er inkluderet bidrag fra Lilleå (21.49) og fra Nørreå (21.03). I den nedstrøms ende af systemet (udløbet til Randers Fjord) er benyttet et fastholdt vandspejl på 0 m. Mindre tilløb er beskrevet som diffus tilstrømning på strækningerne mellem punktbidragene (tabel 2.2.3).

Simuleringen af vandstanden i Gudenåen er gennemført for perioden er 01.01.2001 til 31.12.2009. Data fra 2010 og 2011 er således ikke benyttet, idet modellen er opstillet, før kontrollerede data fra målestationen forelå.

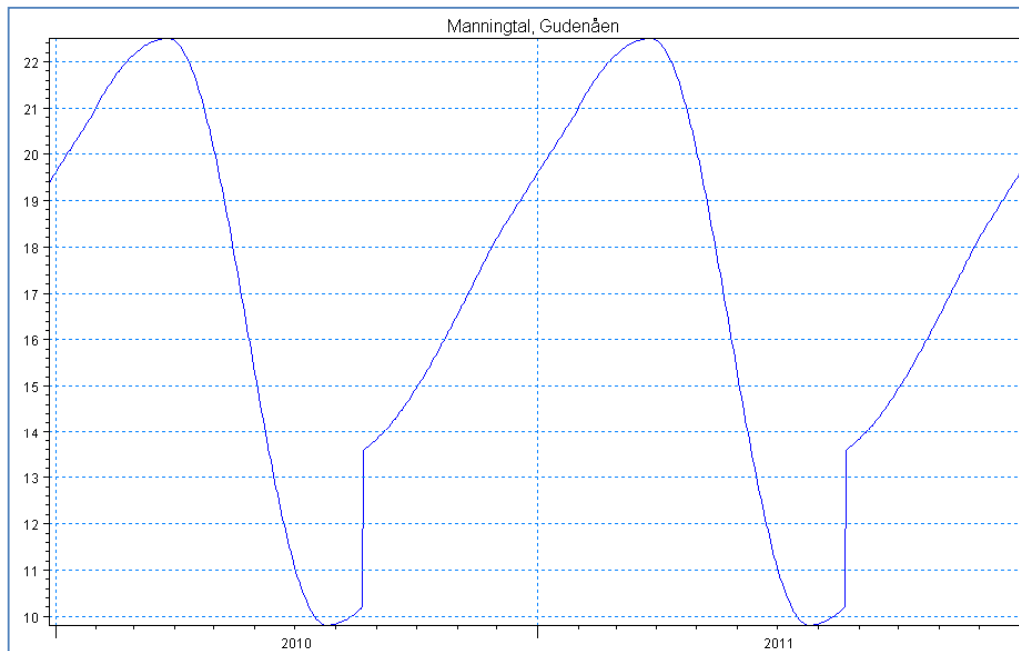
Der er benyttet et tidsvarierende Manningtal med en årlig cyklus, men der ikke regnet med en reduktion i Manningtallet i fremtiden som følge af øget grøde i vandløbet. Den årlige variation i Manningtallet i fremtiden fremgår af figur 2.2.2.



Figur 2.2.1: Opstrøms flow-randbetingelse ved målestation 21.01 - Gudenå, Tvilum (l/sek).

Tabel 2.2.3: Punktkilder og diffus tilstrømning til Gudenåen i MIKE11 modellen.

Øvre Gudenå (Silkeborg til Tange Sø)				
Fra station (m)	Til station (m)	Punktkilde	Diffus kilde	Oplandsareal (km ²)
10829	-	21.01 Tvilum Bro	-	1282.4 1282.4
10829	16878	-	Tvilum-Hinge	22.99 1305.39
16878	16888	Hinge-Alling Å	-	140.83 1446.22
16888	20849	-	Hinge/Alling-Borre	33.78 1480
20849	20850	21.70 Borre Å	-	67 1547
Tange Sø				
Fra station (m)	Til station (m)	Punktkilde	Diffus kilde	Oplandsareal (km ²)
0	9750	-	Tange Å + Sø	133 1680
Nedre Gudenå (Tange Sø til Randers)				
Fra station (m)	Til station (m)	Punktkilde	Diffus kilde	Oplandsareal (km ²)
0	21385	-	Tange Sø - Lille Å	147 1827
21385	21387	21.49 Lille Å	-	303 2130
21387	32403	-	Lille Å - Nørre Å	69.5 2199.5
32403	32405	Nørre Å	-	399.5 2599
32405	37100	-	Nørre Å - Randers	41 2640



Figur 2.2.2: Den fremtidige årlige variation af Manningtallet i den opstillede MIKE 11 model - her vist for 2010 og 2011. Manningtallet varierer mellem 9,8 og 22,5. Der er regnet med én årlig grødeskæring i august.

Som det fremgår af afsnit 1, anvendes MIKE11 modellen til at belyse (alle scenarier med fokus på Bjerringbro ved den hydrometriske målestation 21.07 ved Brogade, Gudenåens st. 4413):

1. De eksisterende og fremtidige vandstandsforhold uden aktive indgreb (bortset fra 1 årlig grødeskæring i august).
2. De fremtidige vandstandsforhold som følge af ændret drift af Tangeværket, idet Tange Søes volumen anvendes som buffer.
3. De fremtidige vandstandsforhold ved etablering af diger på den kritiske strækning gennem Bjerringbro (Gudenåens st. 3727 - st. 5778).
4. De fremtidige vandstandsforhold ved udvidelse af Gudenåen på strækningen nedstrøms Bjerringbro. Der er opstillet 2 delscenarier, idet Gudenåen udvides på en ca. 2 km eller ca. 4,5 km lang strækning.
5. Effekt af ændret grødeskæring (dette scenarie er i modsætning til de øvrige 4 scenarier beregnet ved hjælp af Orbicons vandspejlsberegningsprogram VASP).

I forbindelse med den risikoanalyse for oversvømmelser ved Bjerringbro, som Orbicon gennemførte i 2008, begynder der at opstå ulemper for nogle lodsejere ved en vandstand i Gudenåen omkring kote 4,45 m, mens den kritiske vandstand er vurderet til kote 4,95 m (5,00 m DNN).

Ad scenarie 1

Fra beregningsperiodens start til 2008 har der ikke været skåret grøde i Gudenåen, men de senere års kraftige grødevækst har medført, at de regulativmæssige krav til en grødefri strømrønde ikke har været overholdt. Derfor er der skåret grøde på dele af strækningen nedstrøms Tangeværket (herunder ved Bjerringbro) i både 2009, i 2010 og i 2011. I modelberegningerne over de eksisterende og fremtidige vandstandsforhold er der tilsvarende indregnet gennemførelse af en årlig grødeskæring på strækningen gennem Bjerringbro.

Ad scenarie 2

Det fremgår af regulativet for Gudenåen (Århus og Viborg amter 2000), at det gældende flodemål for Tange Sø er kote 13,57 m. Den lavest tilladte vandspejl er kote 12,57 m. Vandstanden i søen må således ifølge regulativet godt variere med 1 m. I praksis har vandstanden i søen imidlertid varieret i mindre omfang, og væsentlige ændringer i søens vandstand forudsætter med de gældende regler tillige en dispensation fra Naturbeskyttelsesloven. Data fra målestation 21.07 Bjerringbro udviser en variation som påvirkes af turbinedriften, som må antages at afspejle reguleringer i gennemstrømningen på grund af den varierende tilstrømning til søen.

Ved hjælp af MIKE 11 modellen er der gennemført beregninger, der illustrerer effekten af i stedet at anvende søen som buffer med henblik på at reducere risikoen for oversvømmelser ved og i Bjerringbro.

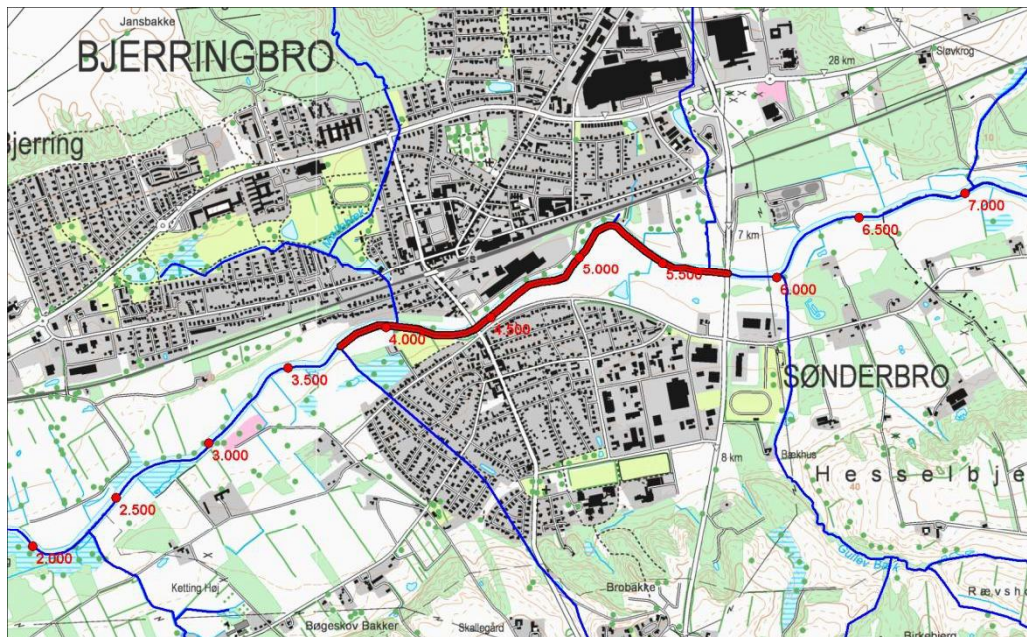
I modellen foregår reguleringen af vandstanden i søen uden hensyn til Naturbeskyttelseslovens regler således, at den som beskrevet i regulativet aldrig kommer under kote 12,57 m og ikke højere op end til flodemålet i kote 13,57. Der afledes desuden en konstant vandføring på 150 l/sek gennem fisketrappen ved Tangeværket, men dette ignoreres i MIKE11 modellen, da vandføringen kun udgør en meget lille del af den samlede vandføring i Gudenåen. Endvidere er vandføringen, som ligger mellem 300 og 450 l/sek, gennem ungfiskeslusen heller ikke medregnet. Eventuelle afledninger via frislusen er ligeledes ignoreret i modellen.

Ad scenarie 3

I dette scenarie undersøges det, hvilken effekt der vil være af at anlægge diger langs den kritiske strækning gennem Bjerringbro (Gudenåens st. 3727 - st. 5778).

Strækningen er vist i figur 2.2.3, og den omfatter Gudenåen fra tilløbet Bøgelund Bæk og frem til omfartsvejen mod øst.

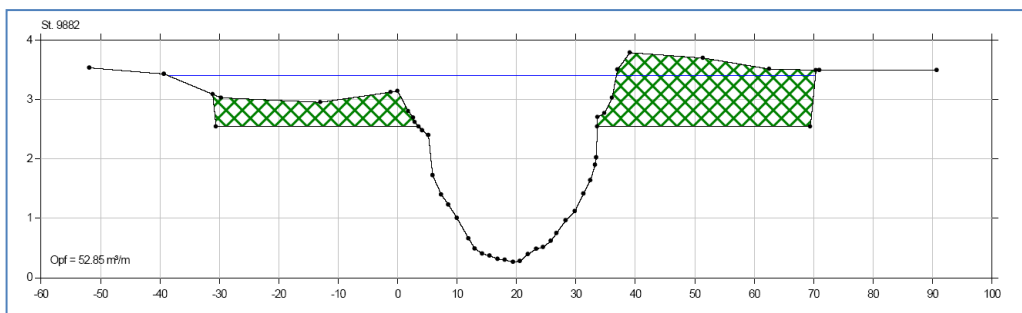
Der er ikke regnet med buffer i Tange Sø, idet vandstanden dog kan falde med 10 cm under flodemålet til kote 13,47 m. Den maksimale vandstand er i simuleringen i ca. kote 13,65 m. I modellen er der regnet med digekrone (begge sider af vandløbet) i kote 5,40 m i den opstrøms afgrænsning af den digede strækning (st. 3727), mens kronen falder jævnt til kote m 5,0 frem til den nedstrøms afgrænsning i st. 5788.



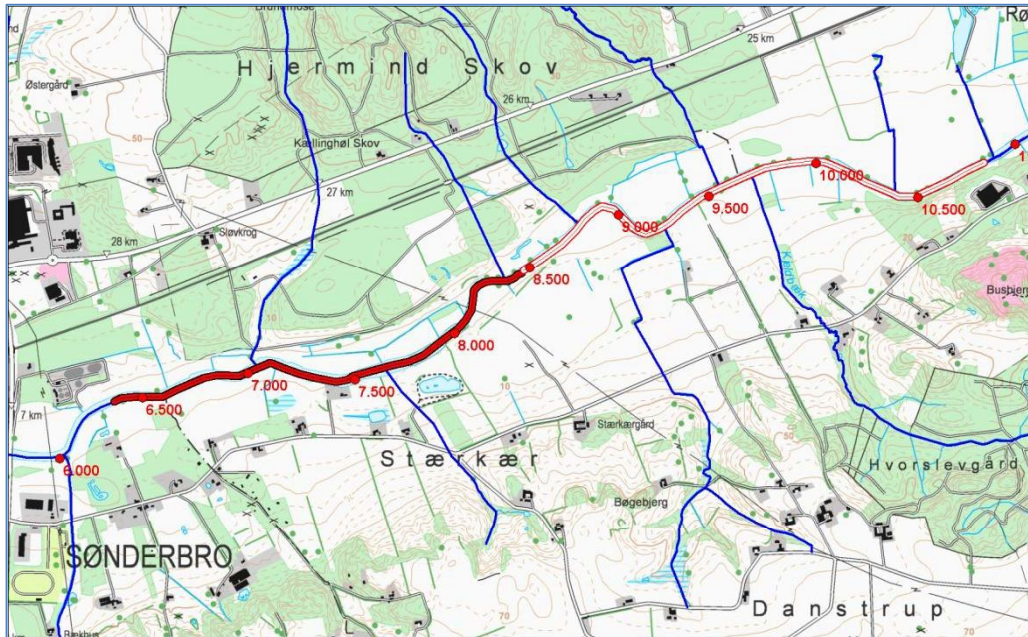
Figur 2.2.3: Strækningen af Gudenåen (st. 3727 - st. 5778), som inddiges i scenariet.

Ad scenarie 4

I stedet for inddigning af vandløbet kan risikoen for oversvømmelser reduceres ved at udvide vandløbets fysiske dimensioner. Dette er undersøgt i scenariet, hvor der er regnet med en udvidelse af Gudenåen på 2 strækninger på henholdsvis ca. 2 km (st. 6349 - st. 8475) og ca. 4,5 km (st. 6349 - st. 10827) nedstrøms Bjerringbro. Udvidelsen er gennemført efter princippet vist i figur 2.2.4, hvor der på de berørte strækninger (figur 2.2.5) etableres et dobbeltprofil med en øvre 100 m bred banket, hvorunder det eksisterende profil lades urørt.



Figur 2.2.4: Princip for udvidelse af Gudenåen på strækningen nedstrøms Bjerringbro. Der etableres således et dobbeltprofil, hvor den øvre banket er 100 m bred, mens den resterende del af profilet lades urørt.



Figur 2.2.5: Strækningerne af Gudenåen (st. 6349 - st. 8475 eller st. 6349 - st. 10827), som udvides til dobbeltprofil i scenarieret.

Der er ligesom i scenarie 3 ikke regnet med buffer i Tange Sø udover variationen mellem kote 13,47 og kote 13,65.

Ad scenarie 5:

I dette scenarie vurderes effekten af ændret grødeskæring. Under de eksisterende forhold (2009 - 2011) er der på strækningen nedstrøms Tangeværket gennemført en årlig grødeskæring i en strømrønde på 10 m's bredde. I scenarieret undersøges effekten af grødeskæring ved følgende situationer:

- Der gennemføres en årlig grødeskæring i en strømrønde på 10 m (som i 2009 - 2011).
- Der gennemføres en årlig grødeskæring, hvor grøden skæres i fuld vandløbsbredde.
- Der gennemføres 3 årlige grødeskærlinger, hvor der hver gang skæres en strømrønde på 10 m.
- Grødeskæring ophører.

3 RESULTATER

3.1 Udviklingen i Gudenåens vandstand i historisk og fremtidig perspektiv

Til belysning af udvikling af Gudenåens vandstand ved Bjerringbro er der på baggrund af vandføringsdata i afsnit 2.1.1 og udviklingen i Manningtal i afsnit 2.2 gennemført en lang række vandspejls beregninger. Indledningsvist er der beregnet middel Manningtal for perioderne 1974 - 1989, 1990 - 1999 samt for hvert af de seneste 5 år (tabel 3.1.1). Der er beregnet middel Manningtal for de 2 perioder om året, dels hvor Manningtallet er størst (februar - april), og dels hvor Manningtallet er mindst (juni - september).

Tabel 3.1.1: Beregnede middel Manningtal for de pågældende perioder.

Periode	Manningtal Februar - april	Manningtal Juni - september
1974 - 1989	30,2	30,8
1990 - 1999	28,9	26,5
2007	24,6	18,7
2008	24,2	16,5
2009	22,1	12,8
2010	23,2	13,9
2011	25,5	15,0

Med baggrund i de viste Manningtal og den nye vandløbsopmåling fra 2009/2010 er der for hver af de nævnte perioder gennemført vandspejlberegninger for strækningen mellem st. 3000 og st. 20000 på baggrund af de karakteristiske afstrømninger vist i tabel 2.1.1.

Resultaterne fremgår af bilag 1 (sommermiddel), bilag 2 (sommer medianmaksimum), bilag 3 (vintermiddel), bilag 4 (medianmaksimum) og bilag 5 (10-års maksimum). Som det fremgår af bilagene, er vandstandsvariationen stort set ens på hele den belyste strækning, hvorfor udviklingen i vandstand talmæssigt kun belyses på en station, nemlig st. 4413, som er sammenfaldende med Brovej og placeringen af målestation 21.07 Gudenå, Bjerringbro. Som det fremgår af Orbicon (2008), findes de mest oversvømmelsestruede områder i Bjerringbro netop omkring denne station.

Det fremgår af tabel 3.1.2, at der er sket en meget betydelig udvikling i Gudenåens vandstand om sommeren, hvilket gælder ved både sommermiddel og især ved sommermedianmaksimum vandføringen. Ved sommermiddel lå vandstanden i perioden 1974 - 1989 omkring kote 3,0 m DVR90, mens den i 10 året efter (frem til 1999) er steget med ca. 10 cm. Efter år 2000 er stigningen i vandstanden fortsat, således at denne om sommeren nu ligger omkring kote 3,7 - 3,9 m DVR90 (2009 - 2011), eller ca. 80 cm højere end den vandstand, der forekom i den første del af dataperioden. Når det gælder sommermedianmaksimum vandføringen er stigningen endnu mere markant, fra ca. kote 3,45 m DVR90 i 1974 -1989 til 4,35 - 4,55 i 2009 - 2011. Her er der tale om en stigning på ca. 1 m.

Tabel 3.1.2: Beregnede vandstande (m DVR90) i Gudenåen ved st. 4413 på baggrund af de i tabel 3.1.1 viste Manningtal.

Station	1974 - 1989	1990 - 1999	2007	2008	2009	2010	2011
Sommermiddel, middel Manningtal for juni - september							
4413	2,99	3,11	3,45	3,58	3,88	3,78	3,69
Sommermedianmaksimum, middel Manningtal for juni - september							
4413	3,44	3,61	4,04	4,20	4,55	4,44	4,34
Vintermiddel, middel Manningtal for februar - april							
4413	3,48	3,53	3,71	3,73	3,84	3,78	3,67
Medianmaksimum, middel Manningtal for februar - april							
4413	4,18	4,24	4,46	4,49	4,60	4,54	4,42
10-års maksimum, middel Manningtal for februar - april							
4413	4,55	4,60	4,80	4,82	4,94	4,88	4,75

Fokuseres der i stedet på vintervandføringerne var der stort set ingen udvikling fra perioden 1974 - 1989 og frem til 1990 - 1999, hvor forskellen er ca. 5 cm. For vintermiddel lå vandstanden ved Bjerringbro omkring ca. kote 3,5 m DVR90, mens den i de seneste 3 år har været omkring ca. kote 3,75 m DVR90, altså en vandstandsstigning på ca. 25 cm. Samme billede tegner sig for både medianmaksimum og for 10-års maksimum, og stigningen må stilskrives, at der på grund af den større lystilgang til vandløbet, og dermed stærkt stigende grødemængder findes betydeligt mere overvintrende grøde i vandløbet i forhold til tidligere.

Det er naturligvis vanskeligt at vurdere den fremtidige udvikling i vandløbets vandstand. Det er dog Orbicons vurdering baseret på en række besigtigelser gennem de seneste år på strækningen, at grødevæksten har nået sit maksimum, og der vil næppe ske yderligere vandstandsstigning på baggrund af grøde. Dette understøttes ligeledes af figur 2.1.1, som viser, at de beregnede Manningtal er ved at stabilisere sig på et lavt niveau både sommer og vinter, men dog med et udsving på 10 - 15 mellem sæsonerne. Det bemærkes dog, at der de seneste 3 år er gennemført en årlig grødeskæring, hvorfor ophør af dette vil få vandstanden til at stige yderligere. Omfanget af denne stigning er beskrevet i afsnit 3.4.5.

Udviklingen i Gudenåens vandstand ved Bjerringbro viser således, at vandstanden er steget i størrelsesordenen 80 - 100 cm i sommermånederne juni - september, når der sammenlignes med starten af dataperioden (1974 - 1989). Det er desuden bemærkelsesværdigt, at Gudenåens vandstand også er steget i vinterperioden (februar - april). I denne periode er stigningen af størrelsesordenen 25 cm, hvilket gælder for selv de ekstreme vandføringer (medianmaksimum og 10-års maksimum), hvor der ellers begynder at ske oversvømmelser af de omkring liggende arealer.

Der forventes ikke yderligere stigninger i vandstanden som følge af grødevækst, idet denne vurderes at have nået sit maksimum under de givne betingelser. Sidstnævnte er dog kun baseret på 3 års data.

Det fremgår af tabel 3.1.2, at den højeste beregnede sommer vandstand i Gudenåen ved st. 4413 er kote 4,55 m DRV90, som er beregnet for sommeren 2009. Den beregnede vandstand er noget lavere end den kritiske vandstand for stationen ved Bjerringbro i kote 5,0 m. Der er derfor på baggrund af 2009 data gennemført yderligere vandspejlsberegninger for mere ekstreme afstrømningshændelser, nemlig 5-års

sommermaksimum og 10-års sommermaksimum. Resultaterne af disse beregninger fremgår af bilag 11, hvor beregningerne for sommermiddel og sommermedianmaksimum ligeledes er gengivet. De beregnede vandstande for Gudenåens st. 4413 fremgår af tabel 3.1.3.

Tabel 3.1.3: Beregnede vandstande (m DVR90) i Gudenåen ved st. 4413 på baggrund af 4 karakteristiske sommerafstrømninger. Ved beregningerne er anvendt sommermiddel Manningtal 12,8, som er det laveste middel Manningtal (største ruhed) konstateret for undersøgelsesperioden (tabel 3.1.1).

Karakteristisk afstrømning	l/sek/km ²	Vandstand m DVR90
Sommermiddel	9,11	3,88
Sommer medianmaksimum	15,03	4,55
5-års sommer maksimum	17,58	4,75
10-års sommer maksimum	20,18	4,92

Det fremgår af tabellen, at vandstanden ved henholdsvis 5-års og 10-års sommermaksimum er beregnet til henholdsvis kote 4,75 m og 4,92 m. Disse høje vandstande vil medføre oversvømmelser af dele af engene omkring Gudenåen ved Bjerringbro, som illustreret i figur 1.1.1 og 1.1.2, men overskridelse af den kritisk vandstand i kote 5,0 m vil forekomme noget sjældnere end hvert 10. år.

3.2 Vandstandens indflydelse på kloaksystemet i Bjerringbro

Det er meget muligt, at den forhøjede vandstand i Gudenåen vil have negativ indflydelse på kloaksystemet i Bjerringbro, men det er ikke muligt på det foreliggende grundlag at vurdere omfanget af påvirkningen. En sådan vurdering vil kræve en detaljeret gennemgang af kloaksystemet samt gennemførelse af for eksempel MIKE Urban beregninger, og dette ligger uden for dennes opgaves scope.

Som det fremgår af tabel 2.1.2, er alle udløb (bortset fra udløb nr. A13500U og nr. A13000U) så lave, at de i perioden forud for ca. år 2000 har været dykkede ved alle afstrømningssituationer. 8 af de 10 nævnte udløb har således bundkoter i intervallet kote 2,30 til 2,95 m DVR90, mens de sidste 2 har bundkote i henholdsvis 3,35 og 3,65 m DVR90. Vandstandsstigningen siden år 2000 bevirker, at alle udløb nu er dykkede ved alle afstrømningshændelser.

3.3 Effekten af grødeskæringen i 2010 og 2011

Effekten af grødeskæringerne i 2010 og 2011 (samt 2009) fremgår af figur 2.1.4 og figur 2.1.5. Det fremgår af vandløbsregulativet (Viborg og Århus amter 2000), at grødeskæringen på strækningen nedstrøms Tange Sø skal gennemføres i perioden 15. august - 31. oktober. Det fremgår af figurene, at grødeskæringerne er gennemført primo september (2009), ultimo august (2010) og ultimo juli (2011). Effekten af grødeskæringerne er relativ begrænset, idet Manningtallet falder 2 - 3 enheder, hvilket på strækningen omkring Bjerringbro svarer til et fald i vandstanden på ca. 20 cm. Resultaterne tyder dog på, at effekten af grødeskæringerne varer grødesæsonen ud, idet Manningtallet i ingen af årene falder tilbage til samme niveau som forud for skæringerne.

Der er bemærkelsesværdigt, at Manningtallet i 2011 ca. 1 måned efter grødeskæringen (figur 2.1.4) stiger til et niveau, som ligger ca. 5 enheder højere end i de forudgå-

ende 3 år (2008 - 2010). Niveauet for overvintrende grøde kan således have toppet forud for 2011, men der kan dog også være tale om almindelige år til år udsving.

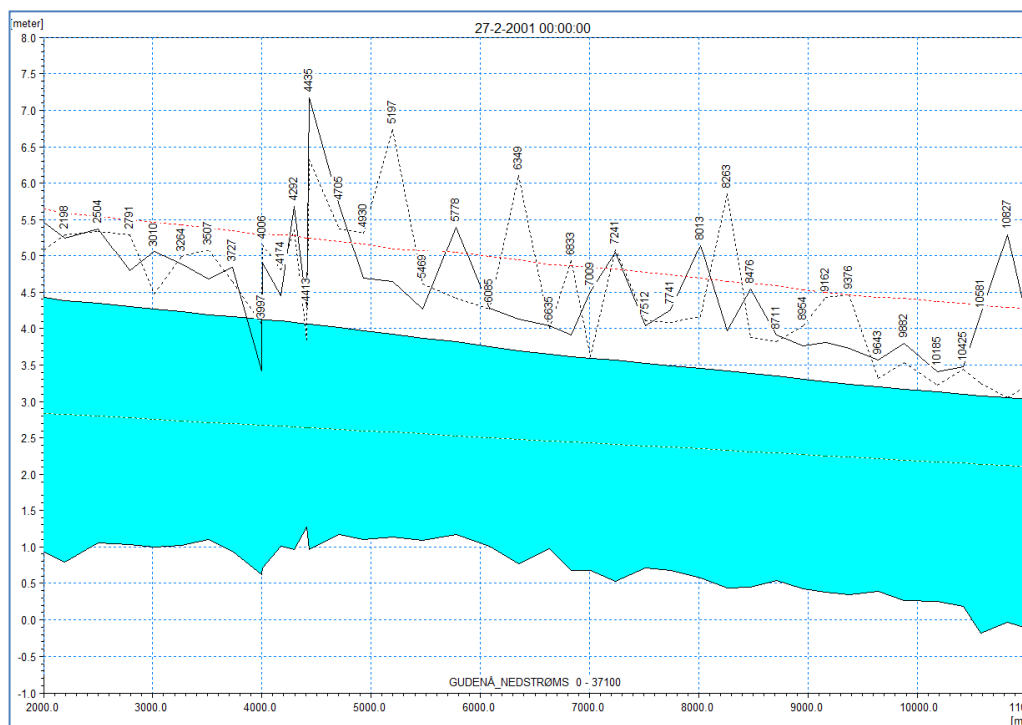
3.4 Forebyggelse af oversvømmelser ved Bjerringbro

Det skal bemærkes, at det for alle scenarier gælder, at der er tale om en ren teknisk gennemgang af løsningsmuligheder. Der er ikke taget stilling til, eller vurderet på natur- og miljømæssige konsekvenser, økonomiske konsekvenser og heller ikke lovgivningsmæssige forhold og muligheder er undersøgt.

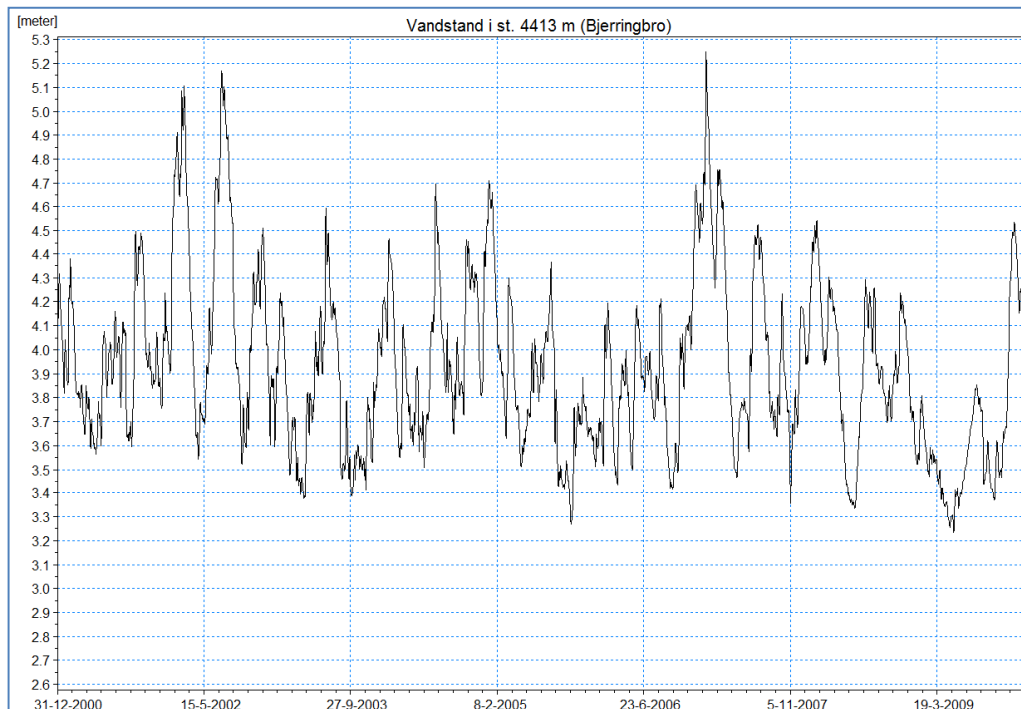
3.4.1 Scenarie 1. Nuværende vandstandsforhold 2001 - 2009

Resultaterne af beregningerne af de nuværende forhold er vist i figur 3.4.1 - 3.4.3. 3.4.1 og figur 3.4.2 viser henholdsvis vandstanden på strækningen 2 - 11 km nedstrøms Tange Sø og en tidsserie for vandstanden ved Bjerringbro ved Brovej (st. 4413).

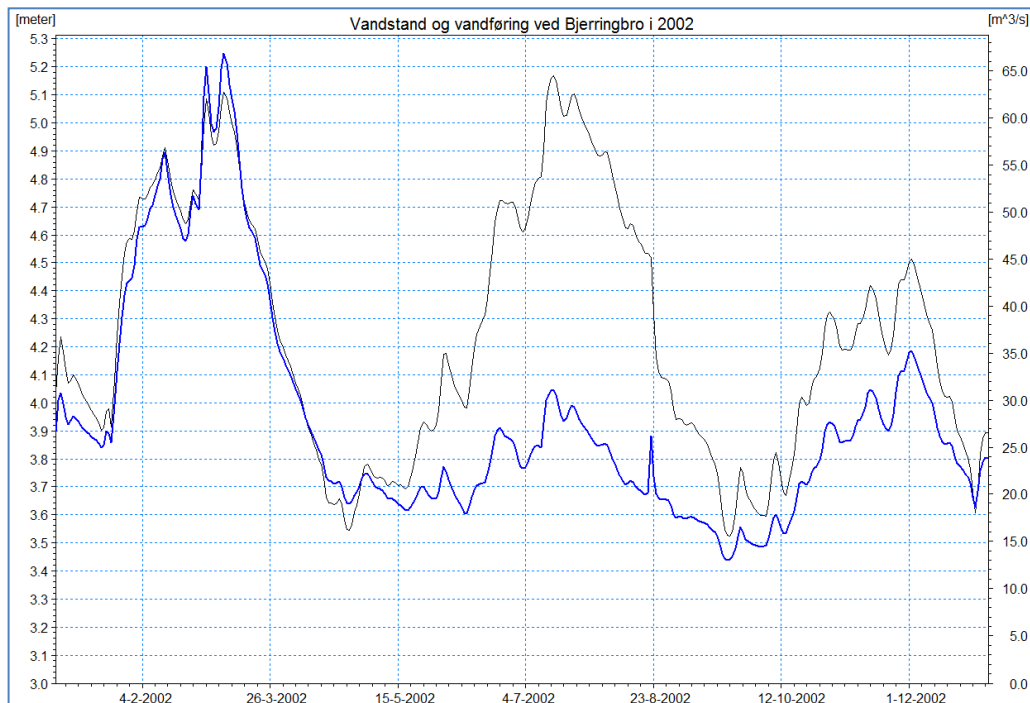
Under de nuværende forhold med en årlig grødeskæring overskrides brinkkoterne jævnlgt på strækningen nedstrøms Tange Sø, og tre gange i løbet af simuleringsperioden 2001 - 2009 overskrider vandstanden i st. 4413 m kote 5,0 m, der anses for kritisk for Bjerringbro. Den højeste vandstand fandt sted 22. januar 2007, hvor den simulerede vandstand kom op i kote 5,25 m i st. 4413 m. I 2002 var der desuden to gange en vandstand over 5,0 m henholdsvis i marts og i juli. Men hvor toppen i marts skyldes høj vandføring, så skyldes toppen i juli et lavt Manningtal, idet vandføringen i juli er ca. det halve af vandføringen i marts (figur 3.4.3).



Figur 3.4.1: Beregnet middelvandstand (blåt område) i Gudenåen på strækningen 2 - 11 km nedstrøms Tange Sø på baggrund af simuleringsperioden 2001 - 2009. Den røde stiplede streg viser den beregnede maksimale vandstand for simuleringsperioden, mens den grønne stiplede streg viser den beregnede mindste vandstand for perioden.



Figur 3.4.2: Beregnet vandstand for Gudenåen ved Bjerringbro (st. 4413, Brovej) for simuleringsperiuden 2001 - 2009.



Figur 3.4.3: Beregnet vandstand (sort kurve) og vandføring (blå kurve) for Gudenåen ved Bjerringbro i 2002. Forskellen i vandstand i forhold til vandføring skyldes variationen i Manningtal.

3.4.2 Scenarie 2. Tange Sø som buffer

I dette scenarie anvendes Tange Sø som buffer, idet søens vandspejl reguleres på baggrund af vandstanden ved Bjerringbro, således at risikoen for oversvømmelser

reduceres. Dette kan for eksempel gennemføres ved, at når vejrudsigter varsler store afstrømningssituationer, ændrer Tangeværket driften således, at vandstanden i Tange Sø sænkes i nødvendigt omfang, således at søen kan virke som magasin.

I forhold til det oprindelige opdrag viste modelleringen ret hurtigt, at en buffer på en meter i søen ikke er tilstrækkelig i forhold til en kritisk vandstand ved Bjerringbro i kote 5,0 m, hvorfor arbejdet er udvidet med en række scenarier som beskrevet i det følgende. Der er således regnet på baggrund af en buffer på 1 - 4 m i søen med udgangspunkt i et laveste vandspejl i kote 11,57 m, 2 m under flodemålet, og et højeste vandspejl i kote 15,57 m, hvilket er 2 m over flodemålet.

Det skal bemærkes, at der her er tale om rent tekniske beregninger, der alene skal vise, hvilken magasin størrelse, som er nødvendig. Så stor variation i vandstanden vil uden tvivl have væsentlig indflydelse på kraftværkets drift, og på søen og omliggende arealer, bygninger, lystbådehavne, installationer ved søen, m.m., men dette er ikke undersøgt i denne forbindelse, idet det alene er formålet at undersøge effekten af anvendelse af søen som buffer til at regulere vandstanden ved Bjerringbro, og hvorvidt effekten er tilstrækkelig til at oversvømmelser ved byen kan undgås.

For at give et indtryk af, hvilke områder, som vil blive påvirket ved de undersøgte scenarier, er der dog udarbejdet kort (både på baggrund af 4-cm kort og luftfoto fra 2012), som viser søens størrelse ved de forskellige vandstande (bilag 12). Kortet viser, at såfremt Tange Sø anvendes som buffer, og hvis der regnes med højeste vandstande på 1 eller 2 m over flodemålet, så vil det have betydelige konsekvenser for en række områder rundt om søen, hvor der vil være behov for meget væsentlige investeringer til afværgeforanstaltninger. I den forbindelse skal det bemærkes, at scenariet, som indeholder højeste vandstand på 2 m over flodemålet, kun kan lade sig gøre, såfremt der udover de nævnte konsekvenser omkring selve søen også etableres et dige på mindst 1 m's højde (og den eksisterende dæmning forhøjes tilsvarende) på en strækning på ca. 2,7 km (vist med rød streg i bilag 12). Scenariet er derfor usandsynligt, men det er som nævnt også kun gennemregnet som led i arbejdet med at finde det magasin volumen i Tange Sø, som vil være nødvendig, såfremt søen anvendes som buffer.

Som start på arbejdet er der beregnet volumen (på baggrund af dybdemodellen udarbejdet af Viborg Landinspektørkontor (tabel 2.1.1)) og dermed bufferkapaciteten ved forskellige vandstande i søen. De beregnede volumener fremgår af tabel 3.4.1 og tabel 3.4.2, og de er fremkommet på baggrund af en testkørsel, hvor en tom Tange Sø (startvandspejl i kote 11,57 m) fyldes op med en konstant vandføring på 10 m³/sek.

Tabel 3.4.1: Antal timer, dage og mio. m³ ved stigning fra en vandstand i kote 11,57 til mellem 1 og 4 meter højere, hvis der konstant tilføres 10 m³/sek, og der ikke er udløb fra søen.

Timer	Dage	Δ vandstand m	mio. m ³	Maksimal vandstand m
102	4,3	1	3,7	12,62
233	9,7	2	8,4	13,62
406	16,9	3	14,6	14,62
612	25,5	4	22,0	15,62

Tabel 3.4.2: Bufferkapacitet i Tange Sø ved forskellige scenarier.

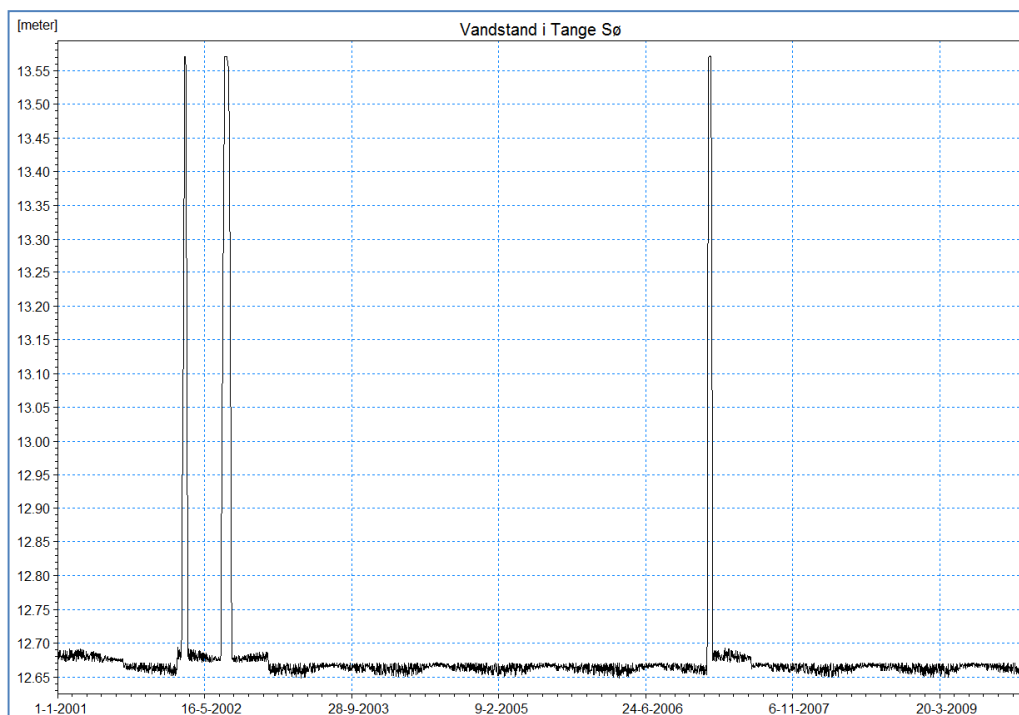
Scenarie	Minimum vandstand m	Maksimal vandstand m	Buffer m	volumen mio. m ³
1	12,57	13,57	1	4,7
2a	12,57	14,57	2	10,9
2b	11,57	13,57	2	8,4
3a	12,57	15,57	3	18,4
3b	11,57	14,57	3	14,6
4	11,57	15,57	4	22,0

I modellen anvendes følgende regulering af Tange Sø (ved eksempelvis: buffer på 1 m):

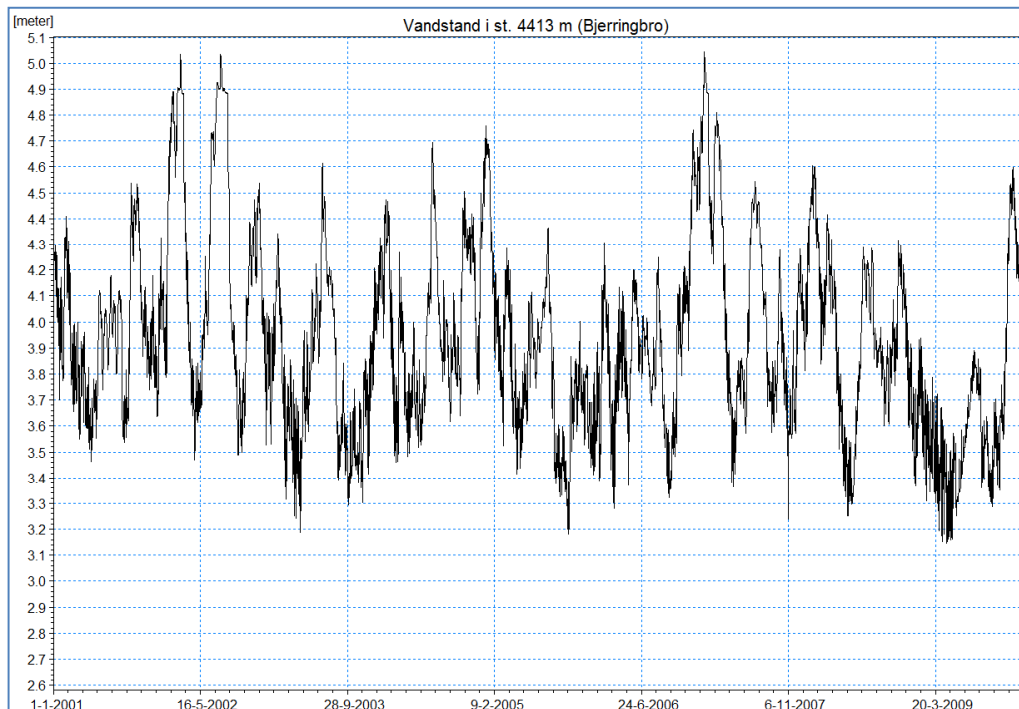
- Hvis vandstanden i søen er lavere end kote 12,67 m $\Rightarrow Q_{ud} = 6 - 10 \text{ m}^3/\text{sek}$ (minimumvandføring varierer lineært fra kote 12,57 m til 12,67 m)
- Hvis vandstanden i søen er lavere end kote 13,57 m men højere end kote 12,67 m $\Rightarrow Q_{ud} = \text{Maksimal } Q$, som ikke giver oversvømmelse ved Bjerringbro (f.eks. kote 4,0 m, 4,5 m eller 5,0 m)
- I andre tilfælde sættes $Q_{ud} = Q_{ind}$.

Minimumvandføringen i udløbet fra Tange Sø er i dette tilfælde således 6 - 10 m³/sek, og vandstanden i søen kan variere 1 meter (12,57 - 13,57 m). Flodemålet på 13,57 m for Tange Sø overholdes dermed i hele perioden 2001 - 2009.

Den beregnede vandstand i Tange Sø (buffer 1 m) og ved Bjerringbro er vist i figur 3.4.4 og figur 3.4.5.



Figur 3.4.4: Beregnet vandstand i Tange Sø ved en bufferkapacitet på 1 m.



Figur 3.4.5: Beregnet vandstand ved Bjerringbro (st. 4413) ved en bufferkapacitet i Tange Sø på 1 m.

Som det fremgår af figur 3.4.4 og figur 3.4.5, kan det ikke undgås, at vandstanden ved Bjerringbro (st. 4413) overskrider kote 5,0 m selv med en regulering af vandstanden i Tange Sø med en buffer på 1 meter. Problemet opstår 2 gange i 2002 og 1 gang i 2007.

Som tidligere beskrevet er det herefter undersøgt, hvad en buffer på mere end 1 meter vil betyde for vandstanden ved Bjerringbro. De seks scenarier i tabel 3.4.2 er kombineret med tre forskellige tidsserier for udløb fra Tange Sø, der giver en vandstand ved Bjerringbro på 4,0 m, 4,5 m eller 5,0 m, altså i alt 18 forskellige scenarier.

I tabel 3.4.3 ses resultatet af de 18 scenarier, og det fremgår af tabellen, at det kun er muligt at overholde en vandstand på under 5,0 m ved Bjerringbro ved en buffer, som er større end 1 meter. Det vil ikke være muligt at holde vandstanden under hverken 4,0 m eller 4,5 m ved Bjerringbro, selv med buffer på ind til 4 m i Tange Sø. Ved en fintuning af bufferkapaciteten kan den maksimale vandstand i Bjerringbro lige netop holdes under kote 5,0 m med en buffer på 1,1 m i Tange Sø (kote 12,47 - 13,57 m), hvilket vil betyde, at det eksisterende flodemål overholdes. Ifølge regulativet for Gudenåen (Århus og Viborg amter (2000) og Viborg Kommune 2011) har Tangeværket lov til at variere opstemningshøjden ved stemmeværket mellem kote 13,57 m DVR90 og kote 12,57 m DVR90. En så vidtgående regulering praktiseres dog ikke i dag og vil i givet fald skulle vurderes efter Naturbeskyttelsesloven.

Tabel 3.4.3: Modelresultater for forskellige scenarier, som består i kombination af buffer i Tange Sø og maksimal vandstand ved Bjerringbro. Med fed, kursiv er markeret de scenarier, hvor den maksimale vandstand er overholdt.

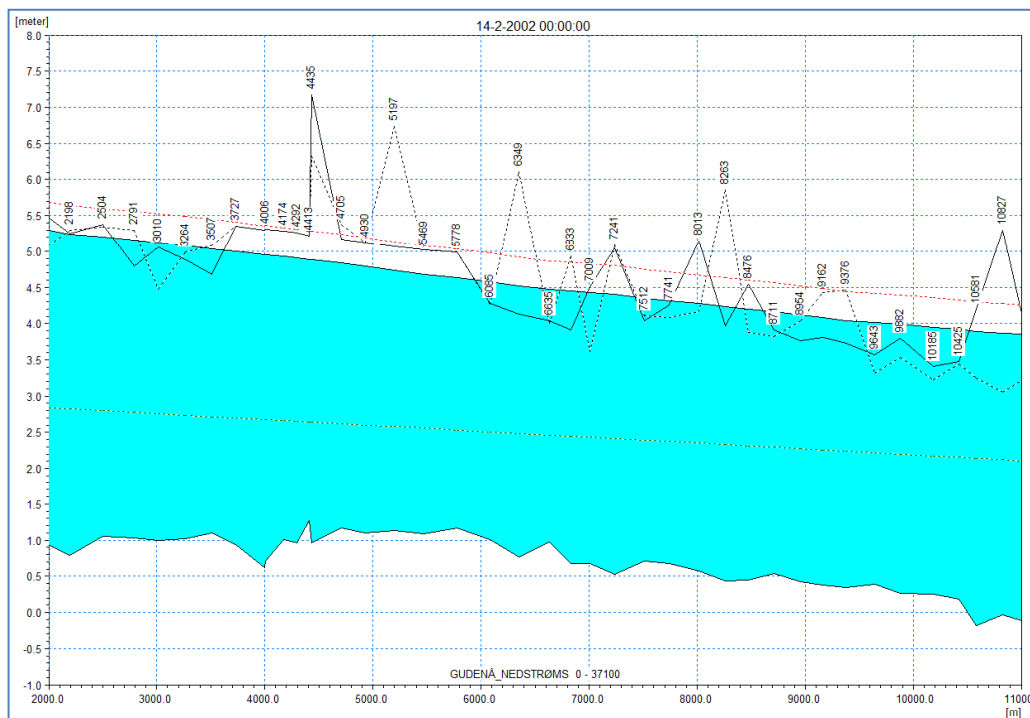
Vinteren 2006 / 2007		Maksimum vandstand ved Bjerringbro		
Scenarie	buffer m	4,0 m	4,5 m	5,0 m
1	1	5,24	5,24	5,04
2a	2	5,24	5,24	4,92
2b	2	5,24	5,24	4,92
3a	3	5,24	5,10	4,92
3b	3	5,24	5,22	4,92
4	4	5,24	5,01	4,92
Sommeren 2002		Maksimum vandstand ved Bjerringbro		
Scenarie	buffer m	4,0 m	4,5 m	5,0 m
1	1	5,17	5,17	5,03
2a	2	5,17	5,10	4,93
2b	2	5,17	5,16	4,93
3a	3	5,17	5,10	4,93
3b	3	5,17	5,10	4,93
4	4	5,17	5,10	4,93

3.4.3 Scenarie 3. Diger på strækningen ved Bjerringbro

I dette scenarie regnes der med diger langs den kritiske strækning gennem Bjerringbro, en strækning på lige godt 2 km fra st. 3727 - til st. 5778 m. Der regnes ikke med buffer i Tange Sø, idet vandstanden kan falde til kote 13,47 m, altså 10 cm under flodemålet. Den maksimale vandstand i Tange Sø i denne simulering er ca. 13,65 m.

Som det fremgår af figur 3.4.6, overskrides brinkkoten ved den maksimale vandstand, der forekommer ved vinterhændelsen i 2007, hvor vandstanden ved st. 4413 m kommer op til kote 5,29 m. Ved sommerhændelsen i 2002 kommer vandstanden op til kote 5,21 m. Hvis digerne forhøjes ca. 10 cm i forhold til skitseret i dette scenarie, vil vandstanden holdes under brinkkoten ved Bjerringbro i hele simuleringssperioden 2001 - 2009.

Det skal bemærkes, at scenariet alene er opstillet for at belyse, hvilken digehøjde, der skal påregnes etableret langs Gudenåen på strækningen langs Bjerringbro med henblik på sikring af byen mod oversvømmelser. Det er således ikke undersøgt, hvorvidt scenariet er teknisk og/eller økonomisk gennemførligt.



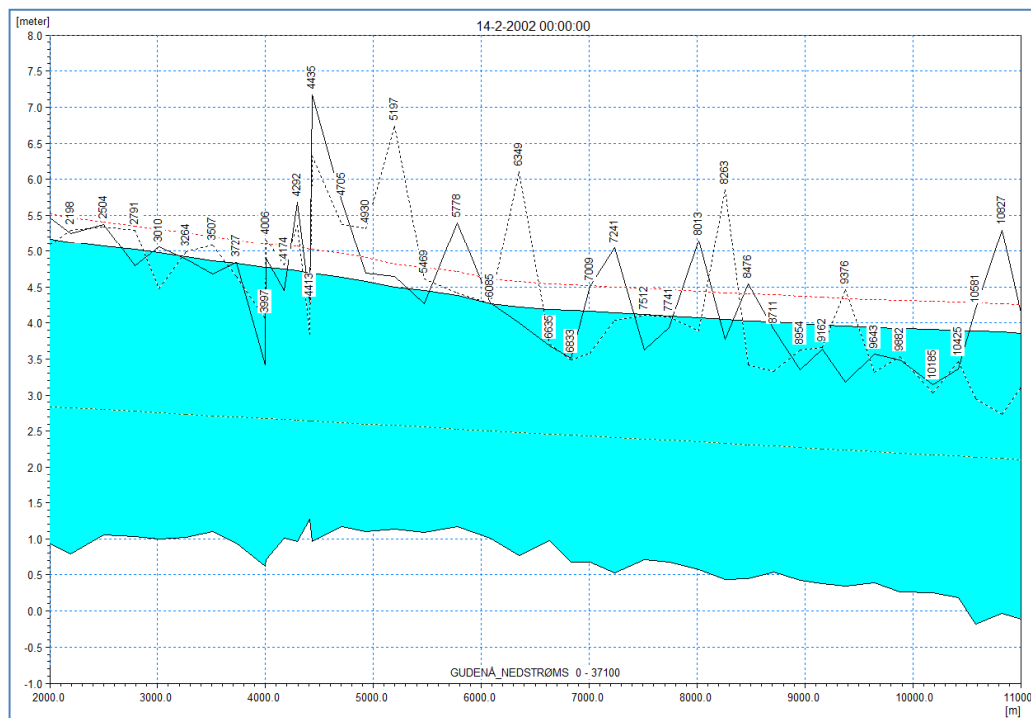
Figur 3.4.6: Vandstand på strækningen 2 - 11 km nedstrøms Tange Sø med diger på strækningen st. 3727 - st. 5778. Den røde stiplede streg viser den beregnede maksimale vandstand for simuleringsperioden, mens den grønne stiplede streg viser den beregnede mindste vandstand for perioden.

3.4.4 Udvidelse af Gudenåen på strækningen nedstrøms Bjerringbro

I dette scenarium regnes der med en udvidelse af Gudenåens tværsnit nedstrøms Bjerringbro på strækningen mellem st. 6349 og st. 10827 m. Som ved det foregående scenarium med diger, regnes der ikke med buffer i Tange Sø, dog varierer vandstanden mellem kote 13,47 m og 13,65 m.

Som det fremgår af figur 3.4.7, falder vandstanden som forventet ved Bjerringbro som følge af de bredere tværsnit nedstrøms byen på en ca. 4,5 km lang strækning. Vandstanden i st. 4413 m falder til kote 5,02 m for vinterhændelsen i 2007 og til ca. 4,96 m ved sommerhændelsen i 2002. Dette skal ses i forhold til beregnede vandstande i samme station under de eksisterende forhold (afsnit 3.1.1) i kote 5,25 m ved for vinterhændelsen i 2007 og til ca. 5,18 m ved sommerhændelsen i 2002.

Hvis strækningen med de brede tværsnit reduceres til st. 6349 - 8475 m (godt 2 km) er den maksimale vandstand i st. 4413 m 5,10 m ved vinterhændelsen i 2007 og 5,04 m ved sommerhændelsen i 2002.



Figur 3.4.7: Vandstand på strækningen 2 - 11 km nedstrøms Tange Sø med bredere tværsnit på strækningen st. 6349 - st. 10827. Den røde stiplede streg viser den beregnede maksimale vandstand for simuleringsperioden, mens den grønne stiplede streg viser den beregnede mindste vandstand for perioden.

Selvom scenariet indeholder en betydelig udvidelse af den øvre del af Gudenåens tværsnit (100 m bred øvre banket) på en ca. 4,5 km lang strækning, medfører selv anlæggelse af så stort et dobbeltprofil en relativ begrænset effekt på vandstanden (falder ca. 23 cm) under ekstremhændelsen i vinteren 2007. Beregningen forudsætter endda, at dobbeltprofilen er vedligeholdt og således holdt fri for buske og anden høj vegetation. Scenariet indeholder således meget store fysiske tiltag som kun næsten opfylder kravet om at overholde vandstanden ved Bjerringbro i kote 5,0 m (resulterende vandstand 5,02 m).

Såfremt udvidelsen reduceres til den kun ca. 2 km lange strækning nedstrøms byen kan kravet imidlertid ikke overholdes, idet den resulterende vandstand er 5,10 m.

3.4.5 Scenarie 5. Effekten af ændret grødeskæring

En eventuel øgning af grødeskæringen på strækningen forbi Bjerringbro kan ligeledes have betydning for vandstanden. Der er således opstillet scenarier for 1 årlig grødeskæring (nuværende forhold med skæring i en 10 m bred strømrende), 1 årlig skæring i fuld vandløbsbredde samt 3 årlige skæringer (skæring i en 10 m bred strømrende). Endelig er der suppleret med et scenarie med ophør af grødeskæring.

Disse beregninger er gennemført med Orbicons vandspejlberegningsprogram VASP, og ud over de karakteristiske afstrømninger i tabel 2.1.1, den nye opmåling fra 2009/-2010 er der anvendt de i figur 2.1.5 opstillede grødemodeller med de resulterende Manningtal vist i tabel 3.4.4.

Tabel 3.4.4: Beregnede middel Manningtal for de pågældende perioder.

Periode	Manningtal Februar - april	Manningtal Juni - september
1 skæring	25,3	14,4
3 skæringer	27,3	17,0
1 fuld skæring	26,3	16,1
Ingen skæring	22,3	12,0

Resultaterne fremgår af bilag 6 (sommermiddel), bilag 7 (sommer medianmaksimum), bilag 8 (vintermiddel), bilag 9 (medianmaksimum) og bilag 10 (10-års maksimum). Som det fremgår af bilagene, er vandstandsvariationen stort set ens på hele den belyste strækning, hvorfor udviklingen i vandstand talmæssigt ligesom for den historiske udvikling kun belyses på en station, nemlig st. 4413, som er sammenfaldende med Brovej og placeringen af målestation 21.07 Gudenå, Bjerringbro.

Effekten af de forskellige vedligeholdelsesscenarier fremgår af tabel 3.4.5. Det fremgår heraf, at den fremtidige vedligeholdelsespraksis ikke uventet har nogen betydning for vandstanden i Gudenåen i sommerperioden. En årlig total grødeskæring i hele vandløbets profil vil ved sommermiddelvandføringen medføre et fald i vandstanden på ca. 13 cm, mens resultatet af 3 årlige strømrendeskæringer vil være et fald på ca. 19 cm ved samme vandføring. Hvis grødeskæringen ophører, vil vandstanden stige med ca. 23 cm.

Ved sommermedianmaksimum vandføringen har en total grødeskæring lidt større betydning end ved sommermiddel. Gennemførelse af en årlig total skæring vil reducere vandstanden med ca. 16 cm, mens gennemførelse af 3 årlige strømrendeskæringer vil sænke vandstanden med 23 cm. Ved denne højere vandføring vil vandstanden stige med ca. 23 cm, såfremt grødeskæringen ophører.

Tabel 3.4.5: Beregnede vandstande (m DVR90) i Gudenåen ved st. 4413 på baggrund af de i tabel 3.4.4 viste Manningtal.

Station	1 skæring	3 skæringer	1 fuld skæring	Ingen skæring
Sommermiddel, middel Manningtal for juni - september				
4413	3,74	3,55	3,61	3,97
Sommermedianmaksimum, middel Manningtal for juni - september				
4413	4,40	4,17	4,24	4,63
Vintermiddel, middel Manningtal for februar - april				
4413	3,68	3,59	3,63	3,67
Medianmaksimum, middel Manningtal for februar - april				
4413	4,43	4,32	4,37	4,42
10-års maksimum, middel Manningtal for februar - april				
4413	4,77	4,67	4,72	4,75

Det fremgår ligeledes af tabel 3.4.5, at de forskellige grødeskæringsscenarier kun har marginal indflydelse på vintervandstanden, hvilket både gælder både for middel, medianmaksimum og for 10-års maksimum. Den maksimale effekt er ca. 5 cm.

Gennemførelse af total grødeskæring i hele vandløbsprofilen vil således kunne reducere Gudenåens vandstand med ind til ca. 16 cm ved de store sommervandføringer, mens der kun er en marginal effekt ved de store afstrømninger om vinteren.

KONKLUSIONER

Udvikling af Gudenåens vandstand i historisk perspektiv

Udviklingen i Gudenåens vandstand ved Bjerringbro viser således, at vandstanden er steget i størrelsesordenen 80 - 100 cm i sommermånederne juni - september ved større afstrømninger inden for normalområdet af naturligt forekommende vandføringer, når der sammenlignes med starten af dataperioden (1974 - 1989). Det er desuden bemærkelsesværdigt, at Gudenåens vandstand også er steget i vinterperioden (februar - april). I denne periode er stigningen af størrelsesordenen 25 cm, hvilket gælder for selv de ekstreme vandføringer (medianmaksimum og 10-års maksimum), hvor der ellers begynder at ske oversvømmelser af de omkring liggende arealer.

Vandstandsstigningerne skyldes ikke ændringer i vandløbets vandføring, idet der for dataperioden medio 1970-erne til nu ikke kan konstateres ændringer af betydning.

Der forventes ikke yderligere stigninger i vandstanden som følge af grødevækst, idet denne vurderes at have nået sit maksimum under de givne betingelser.

Såfremt den nuværende praksis med en årlig grødeskæring ophører, vil der kunne forventes en vandstandsstigning om sommeren på ind til ca. 23 cm ved de store afstrømninger. Om vinteren vil den ændrede praksis kun have marginal betydning.

Vandstandens indflydelse på kloaksystemet i Bjerringbro

Det er meget muligt, at den forhøjede vandstand i Gudenåen kan have indflydelse på kloaksystemet i Bjerringbro, men det er ikke muligt på det foreliggende grundlag at vurdere omfanget af påvirkningen.

Effekten af grødeskæringerne i 2010 og 2011

Effekten af grødeskæringerne er relativt begrænset, idet Manningtallet falder 2 - 3 enheder, hvilket på strækningen omkring Bjerringbro svarer til et fald i vandstanden på ca. 20 cm ved normale vandføringsforhold. Resultaterne tyder på, at effekten af grødeskæringerne er vedvarende sæsonen ud, når skæringen ligger i august-september, idet Manningtallet i ingen af årene (2009 - 2011) falder tilbage til samme niveau som forud for skæringerne.

Afværgetiltag

På baggrund af den opstillede MIKE11 model og de opstillede scenarier kan der drages følgende konklusioner baseret på simuleringsperioden 2001 - 2009 set i forhold til, at vandstanden ved Brovej i Bjerringbro (st. 4413) ikke må overskride kote 5,0 m.

Tange Sø som buffer

Såfremt Tange Sø skal anvendes som buffer, skal der anvendes en buffer på mindst 1,1 m, som svarer til, at søens vandstand varierer fra kote 12,47 m til 13,57 m DVR90. Bufferens volumen er af størrelsesordenen ca. 5 mio. m³.

Ifølge regulativet for Gudenåen har Tangeværket lov til at variere opstemningshøjden ved stemmeværket mellem kote 13,57 m DVR90 og kote 12,57 m DVR90 (svarende til 1 m). En så vidtgående regulering praktiseres dog ikke i dag og vil i givet fald skulle vurderes efter Naturbeskyttelsesloven.

I perioder, hvor søens volumen anvendes som buffer, vil Tangeværket kun kunne køre med nedsat elproduktion og måske med betydelige driftsforstyrrelser.

Diger langs Gudenåen

Såfremt Bjerringbro skal beskyttes med diger, skal disse som minimum etableres på begge sider af Gudenåen på strækningen mellem st. 3727 og st. 5778. Kronekoten skal på strækningen være i mindst ca. kote 5,5 m i den opstrøms ende faldende til ca. kote 5,1 m i den nedstrøms ende. Der er ikke, som sædvanligt ved digebyggeri, regnet med overhøjde på digerne som ekstra sikkerhed.

Udvidelse af Gudenåen på strækningen nedstrøms Bjerringbro

Såfremt Gudenåen udvides på en ca. 4,5 km lang strækning nedstrøms byen, vil dette kunne sikre, at vandstanden ved Brovej ikke overstiger kote 5,02 m. Udvidelsen af vandløbet er meget betydelig i scenariet, idet der er regnet med et dobbeltprofil med en øvre banketbredde på 100 m.

Effekt af øget grødeskæring

Gennemførelse af mere total grødeskæring i hele vandløbsprofilen vil kunne reducere Gudenåens vandstand med op til ca. 23 cm ved de store sommervandføringer, mens der kun er en marginal effekt (ca. 5 cm) ved de store afstrømninger om vinteren.

Generelt

Det skal, som tidligere nævnt i afsnit 1, understreges at undersøgelserne, der relaterer til at forebygge skader på Bjerringbro By ved oversvømmelser, alene er gennemført beregningsmæssigt for at illustrere, hvad der skal til, og hvorvidt et eller flere af de foreslåede tiltag vil være tilstrækkelige til at reducere Gudenåens vandstand til et acceptabelt niveau ved Bjerringbro. Det er således ikke i denne rapport undersøgt, hvorvidt tiltagene er lovgivningsmæssigt, teknisk og/eller økonomisk gennemførlige.

Christensen, L.B. og Schlüsen, K. (2008). Ny musling skyld i højere vandstande? VÆKST nr. 4, 2008).

Orbicon (2008). Viborg, Silkeborg, Favrskov og Randers kommuner - Vurderinger af vandstanden i Gudenåen - sommer 2008. Rapport udarbejdet for Viborg, Silkeborg, Favrskov og Randers kommune, september 2008.

Orbicon (2010a). Viborg og Favrskov kommuner - Opmåling af Gudenåen i Viborg og Favrskov kommuner samt vurderinger af vandstandsforhold i vandløbet. Notat udarbejdet for Viborg og Favrskov kommuner, juli 2010.

Orbicon (2010b). Randers og Favrskov kommuner - Opmåling af Gudenåen i Randers og Favrskov kommuner. Notat udarbejdet for Randers og Favrskov kommuner, juli 2010.

Orbicon (2011). Silkeborg Kommune - Resultater af opmåling af Gudenåen 2011 på strækningen mellem Silkeborg og Tange Sø. Analyse af udviklingen af fysisk tilstand og vandføringsevne ved sammenligning med opmålinger fra 1922 og 1997. Notat udarbejdet for Silkeborg Kommune, juni 2011.

Viborg Kommune (2009). Spildevandsplan for Viborg Kommune.
<http://spildevandsplan.dk/viborg/Spildevandsplan.html>.

Viborg Kommune (2011). Gudenåens forløb ved Tange Sø - Ekspertpanelets besvarelse af de tekniske spørgsmål, der er rejst i forbindelse med borgerinddragelsesprocessen, blandt andet ved borgemøde d. august 2011 i Bjerringbro.

Århus og Viborg amter (2000). Regulativ for Gudenåen, Silkeborg - Randers. Amtsvandløb nr. 105 i Viborg Amt og nr. 78 i Århus Amt.

Gudenåen

Vandstandsudvikling

Sommerrmiddel vandføring

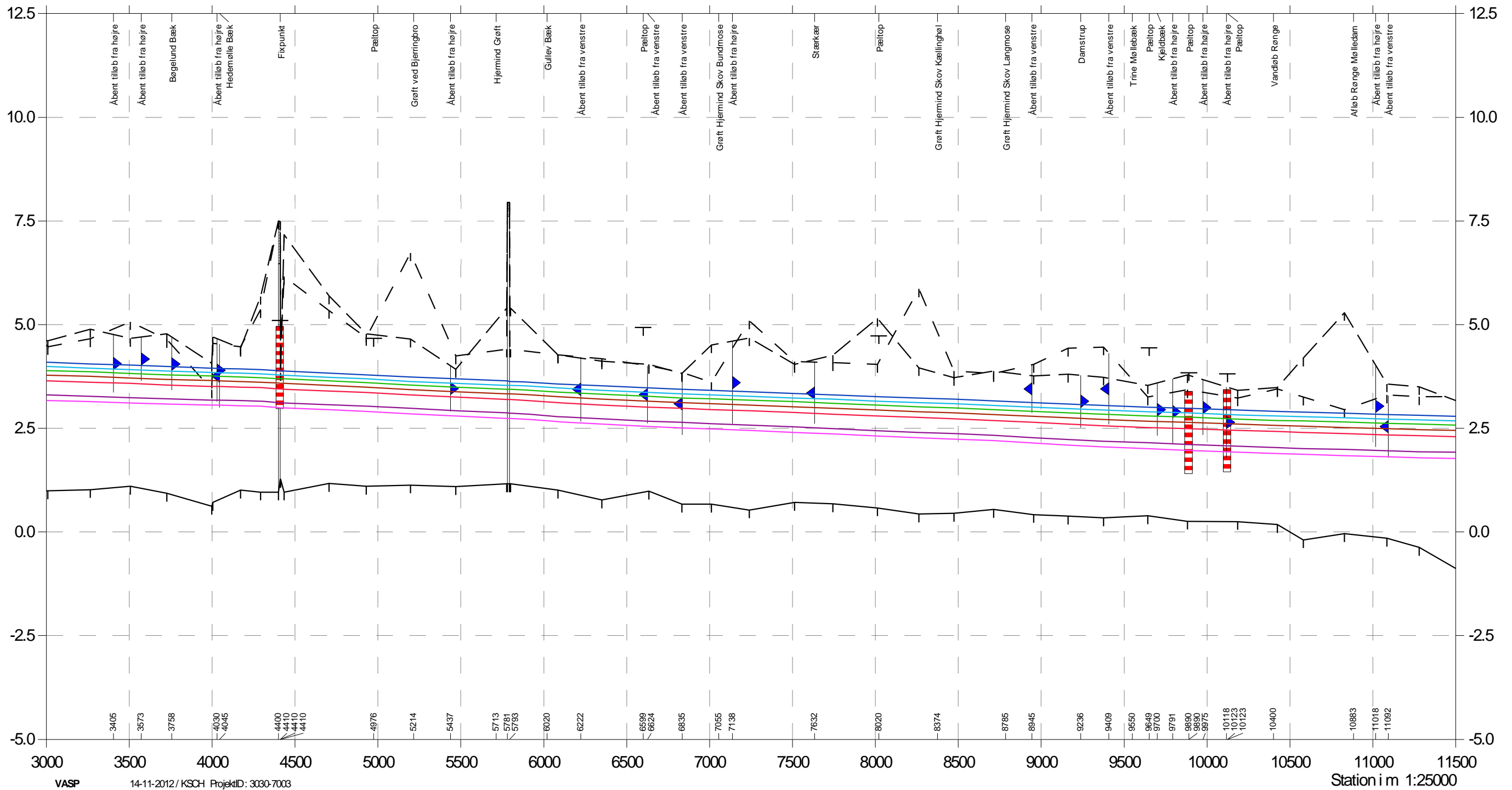
Manningtal juni - september



Bilag 1



Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

Vandstandsudvikling

Sommerrmiddel vandføring

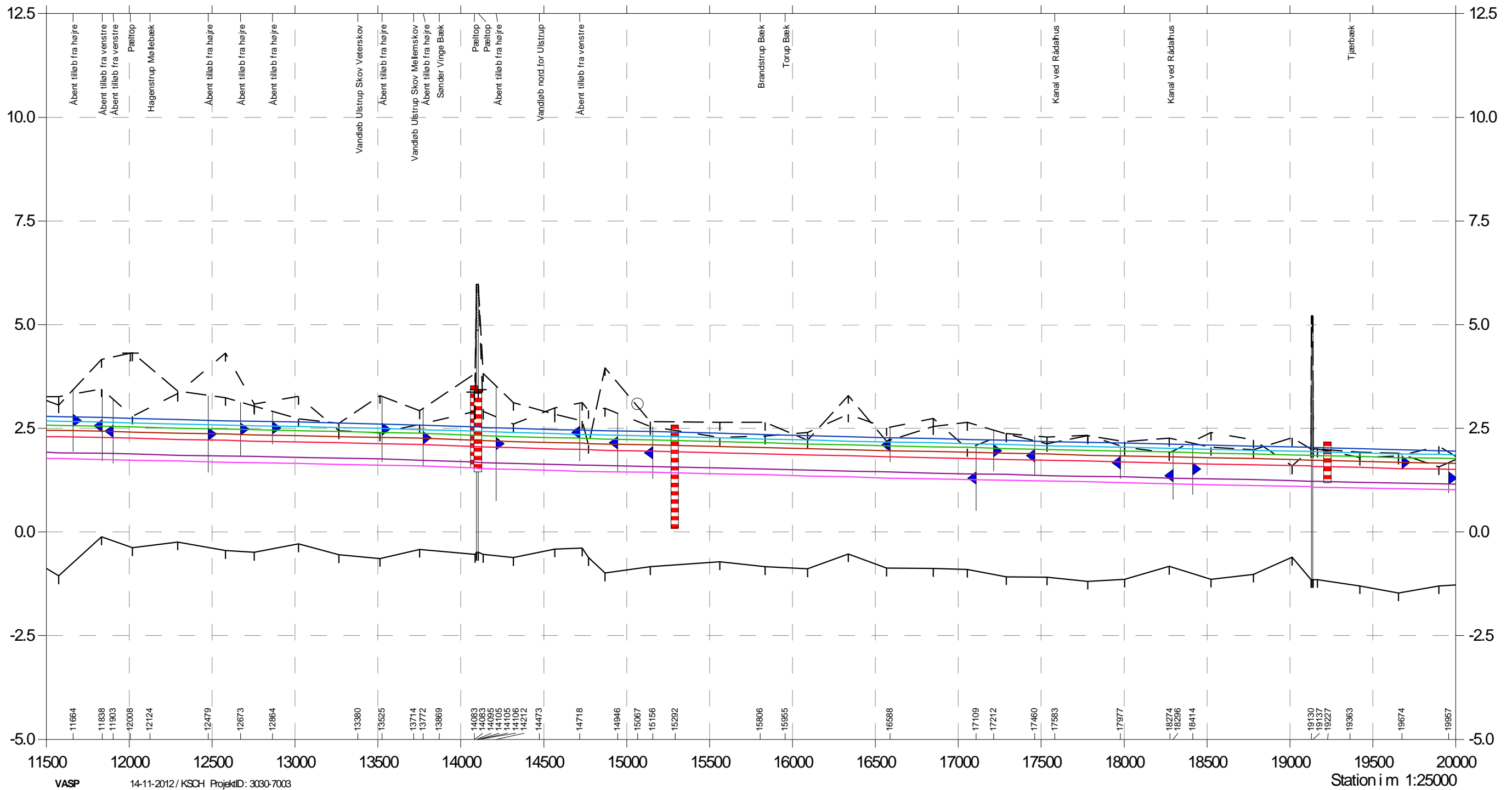
Manningtal juni - september



Bilag 1



Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

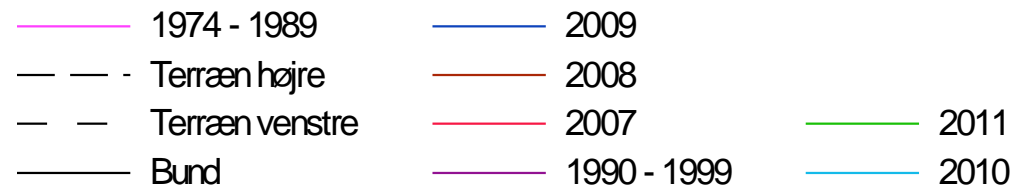
Vandstandsudvikling

Sommermedian maksimum vandføring

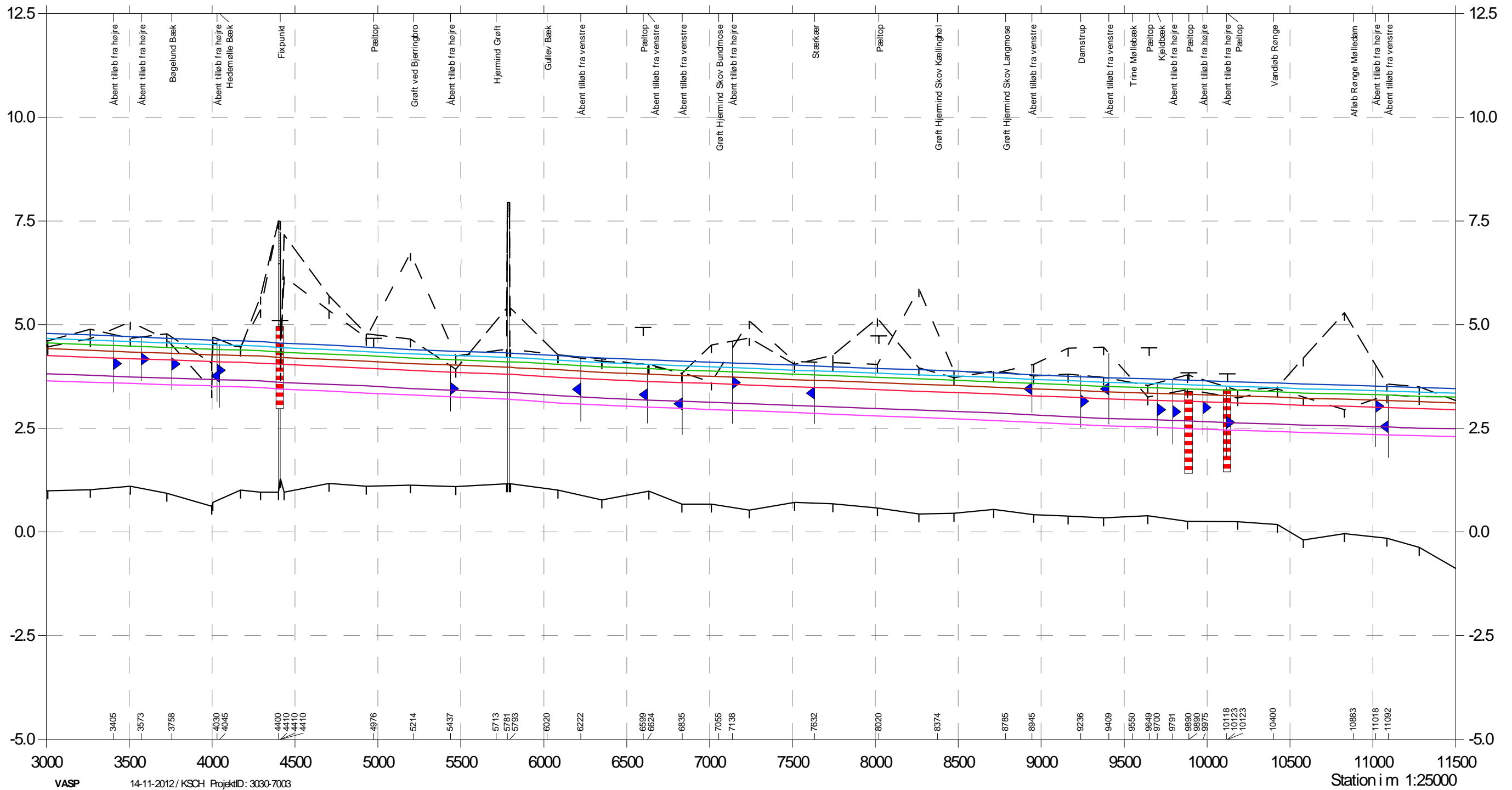
Manningtal juni - september



Bilag 2



Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

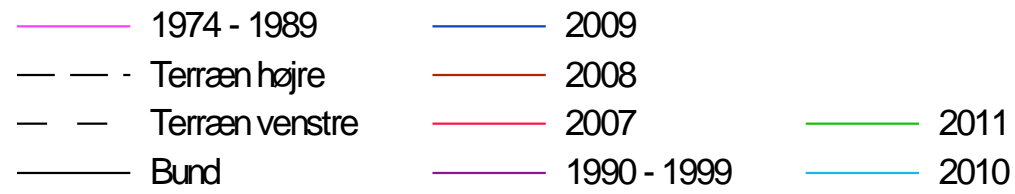
Vandstandsudvikling

Sommermedian maksimum vandføring

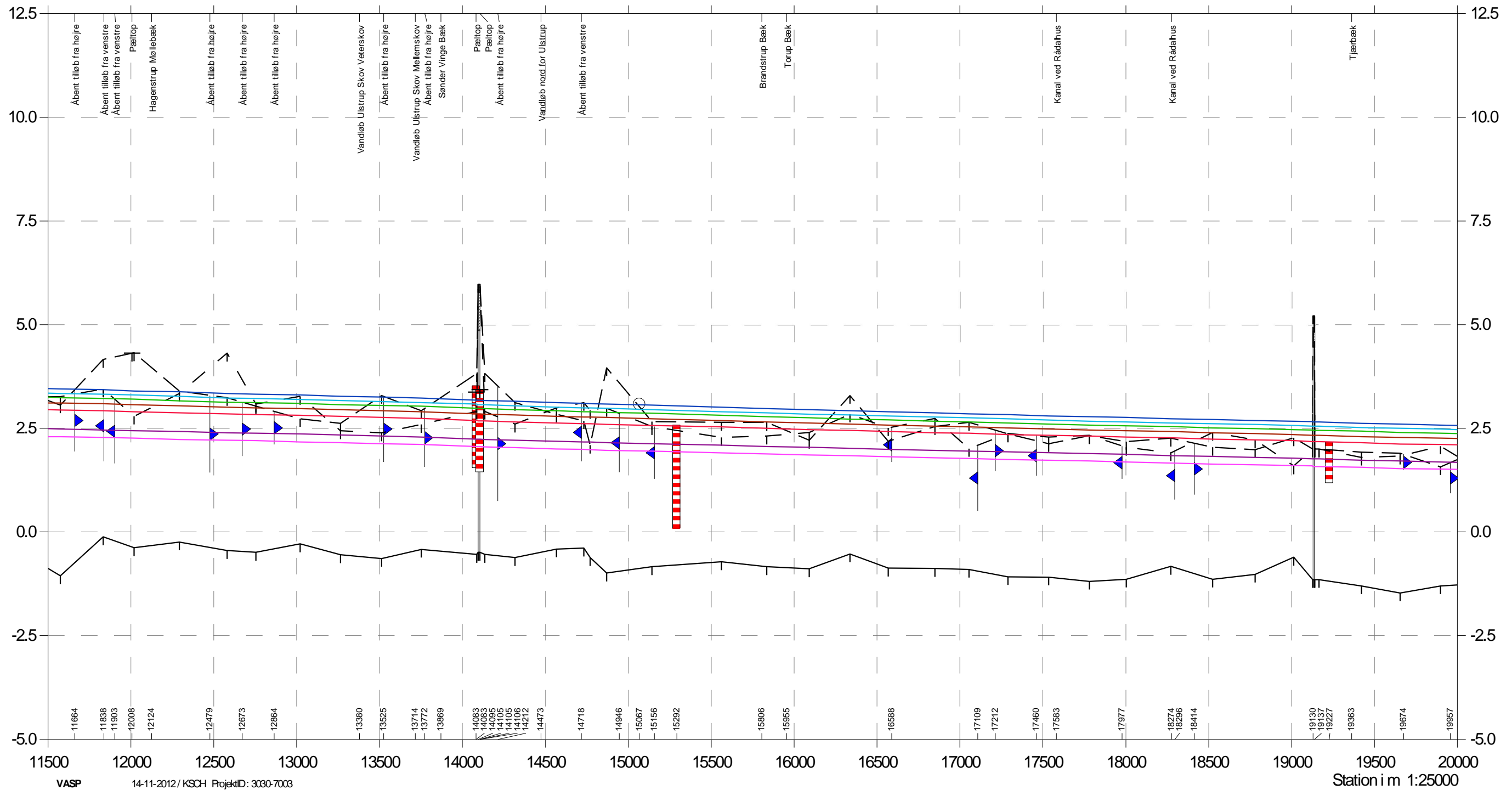
Manningtal juni - september



Bilag 2



Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

Vandstandsudvikling

Vintermiddel vandføring

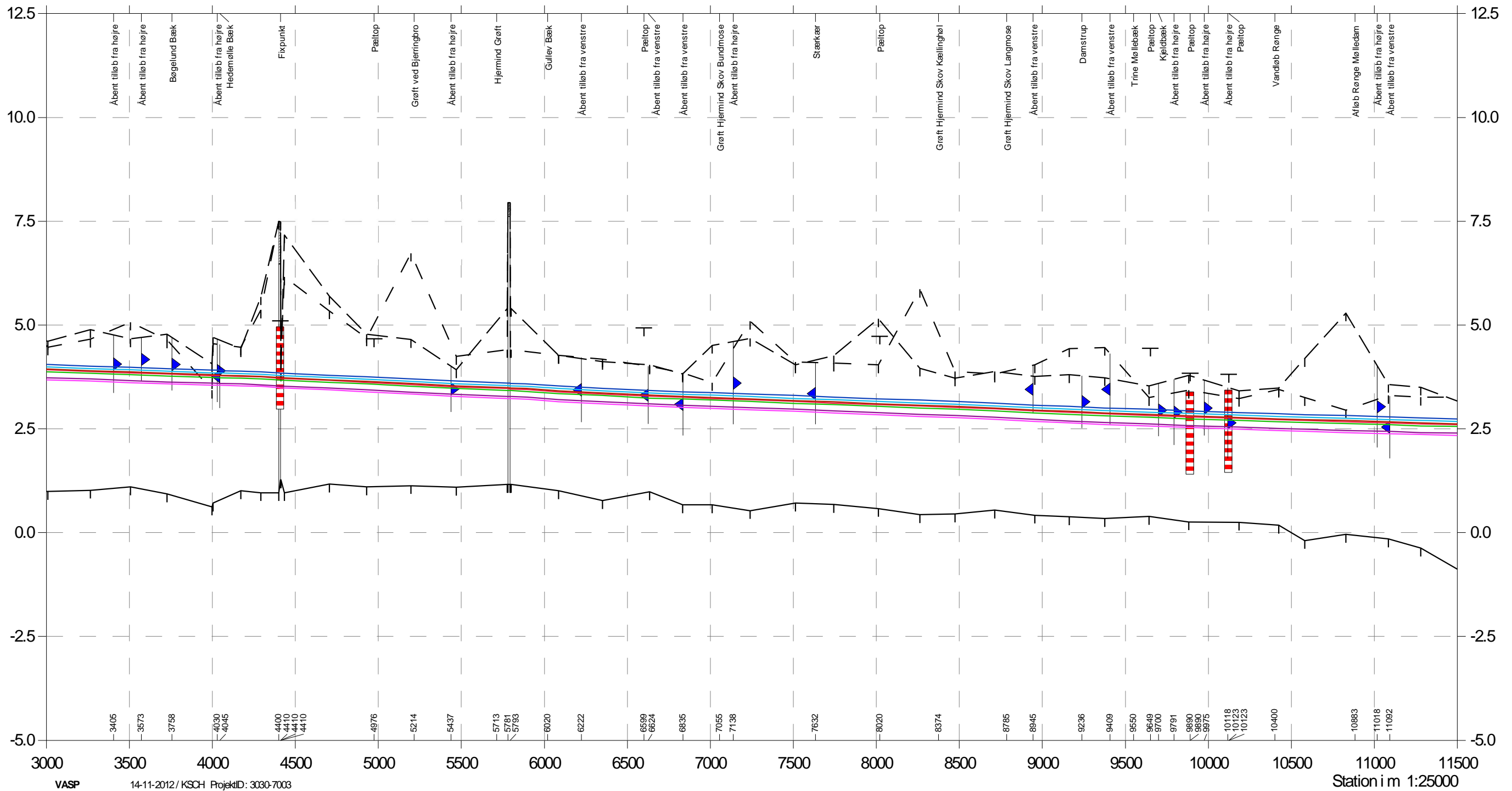
Manningtal februar - april



Bilag 3



Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

Vandstandsudvikling

Vintermiddel vandføring

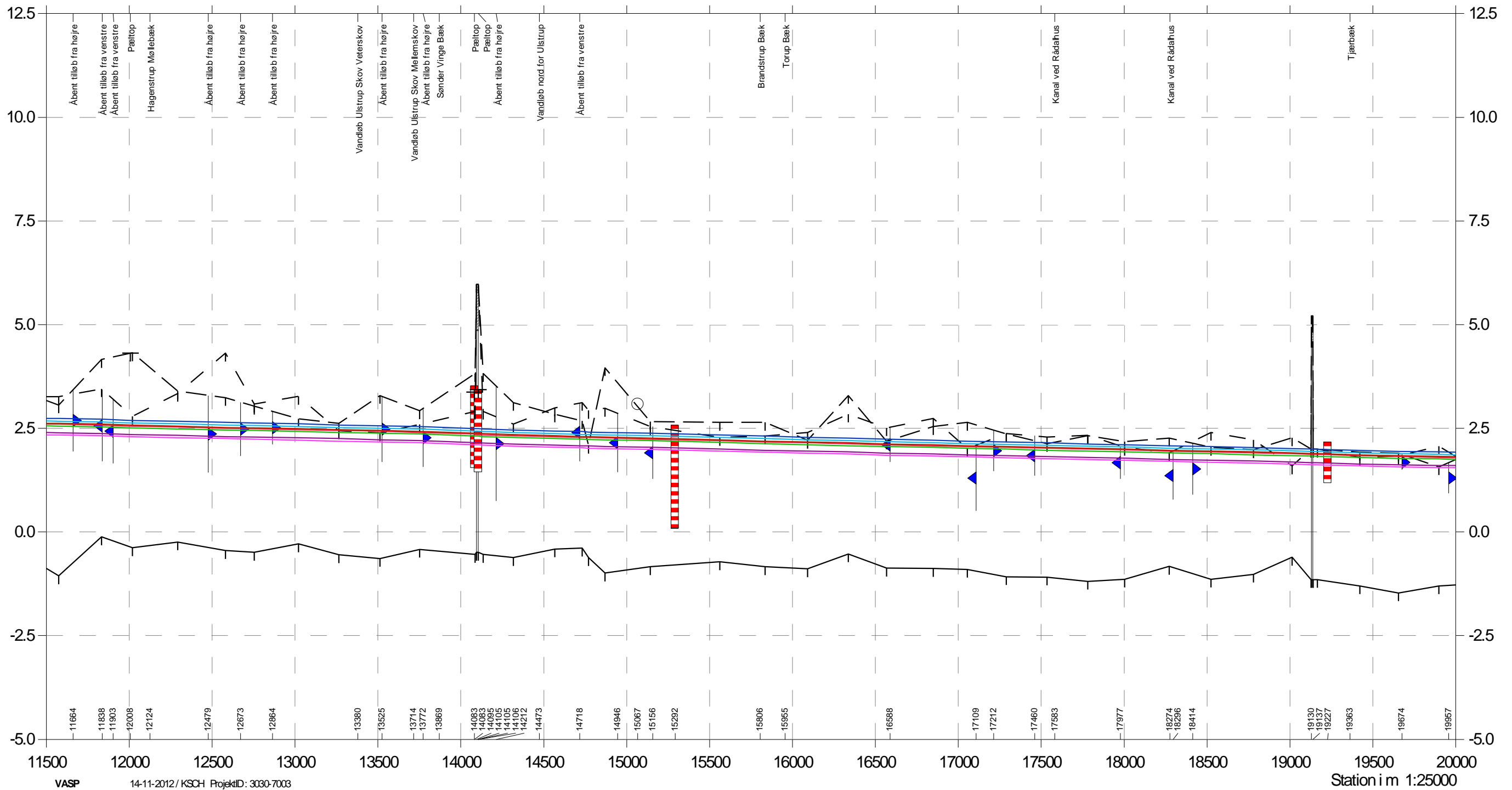
Manningtal februar - april



Bilag 3



Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

Vandstandsudvikling

Medianmaksimum vandføring

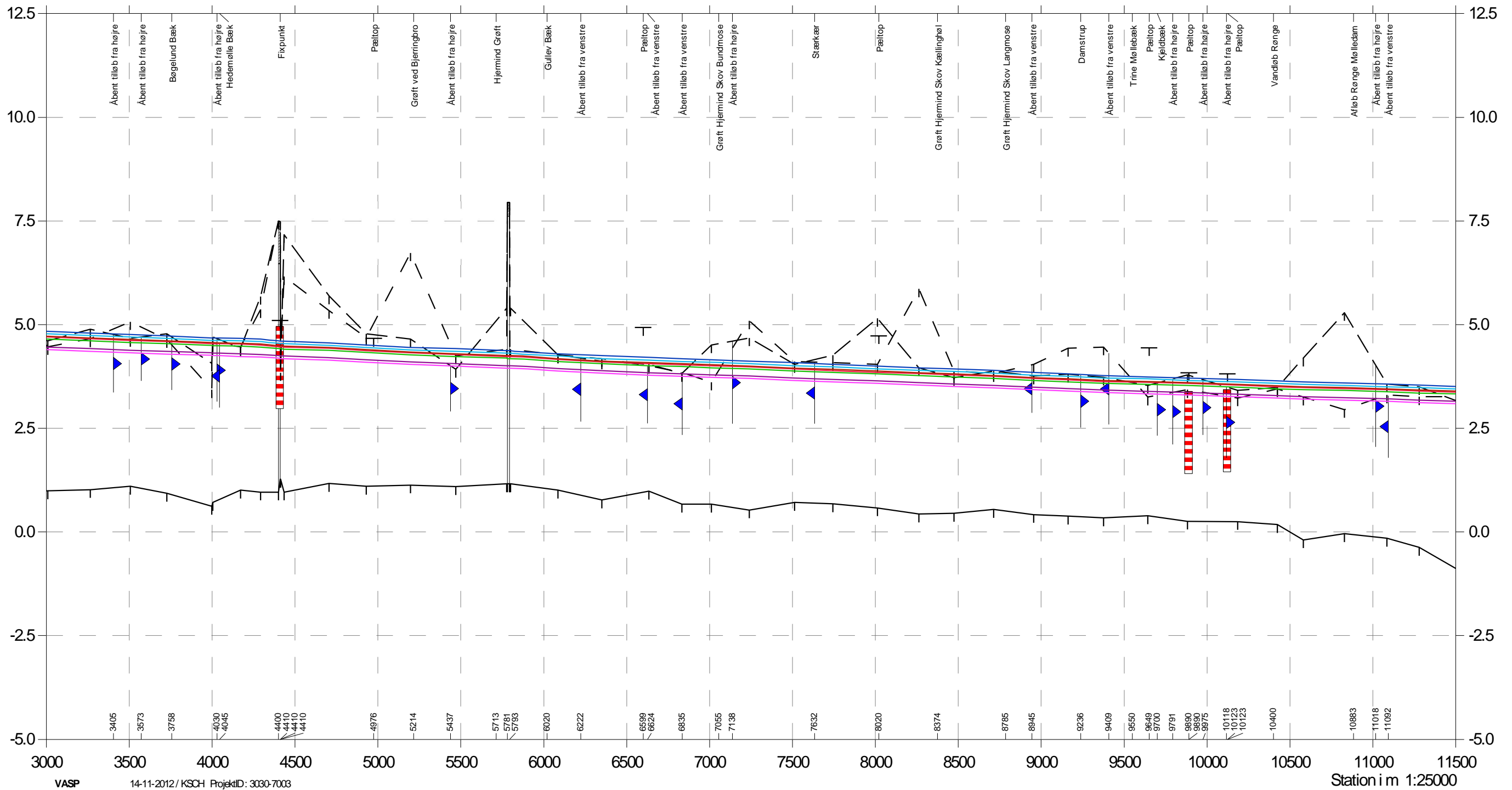
Manningtal februar - april



Bilag 4

- 1974 - 1989
- 2009
- Terraen højre
- 2008
- Terraen venstre
- 2007
- 2011
- Bund
- 1990 - 1999
- 2010

Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

Vandstandsudvikling

Medianmaksimum vandføring

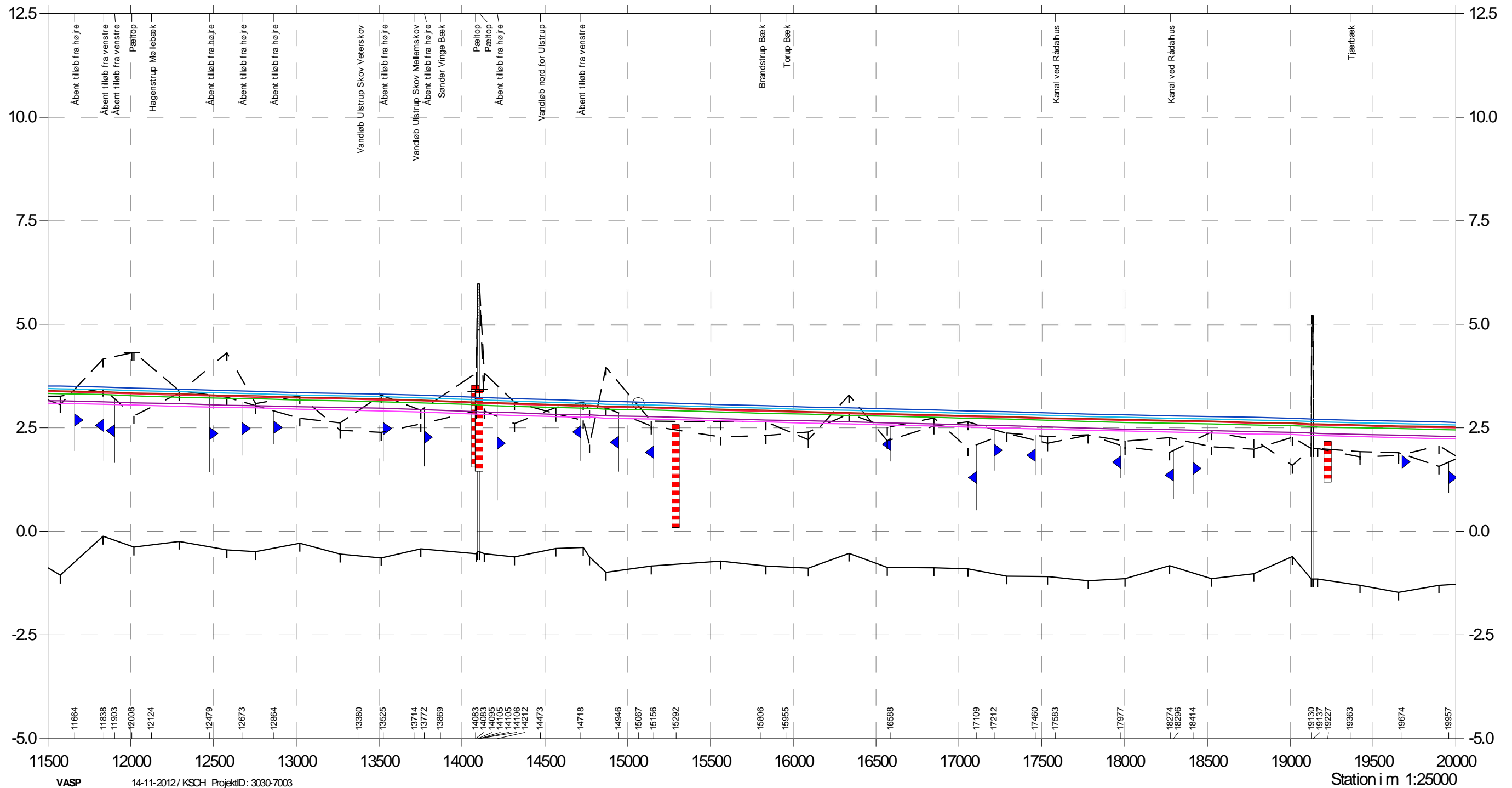
Manningtal februar - april



Bilag 4



Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

Vandstandsudvikling

10-års maksimum vandføring

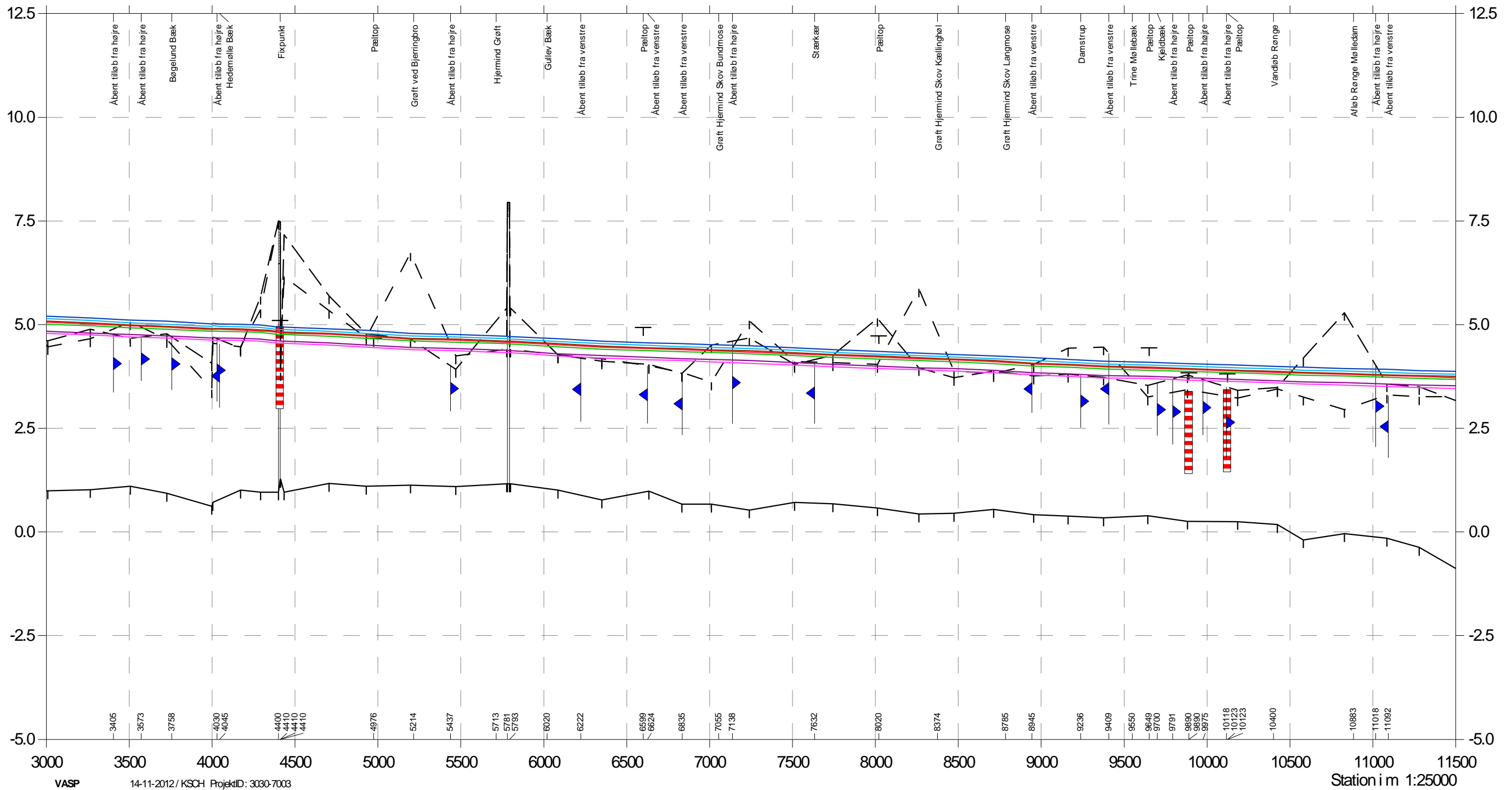
Manningtal februar - april



Bilag 5

- 1974 - 1989
- 2009
- - - Terræn højre
- 2008
- - - Terræn venstre
- 2007
- Bund
- 1990 - 1999
- 2011
- 2010

Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

Vandstandsudvikling

10-års maksimum vandføring

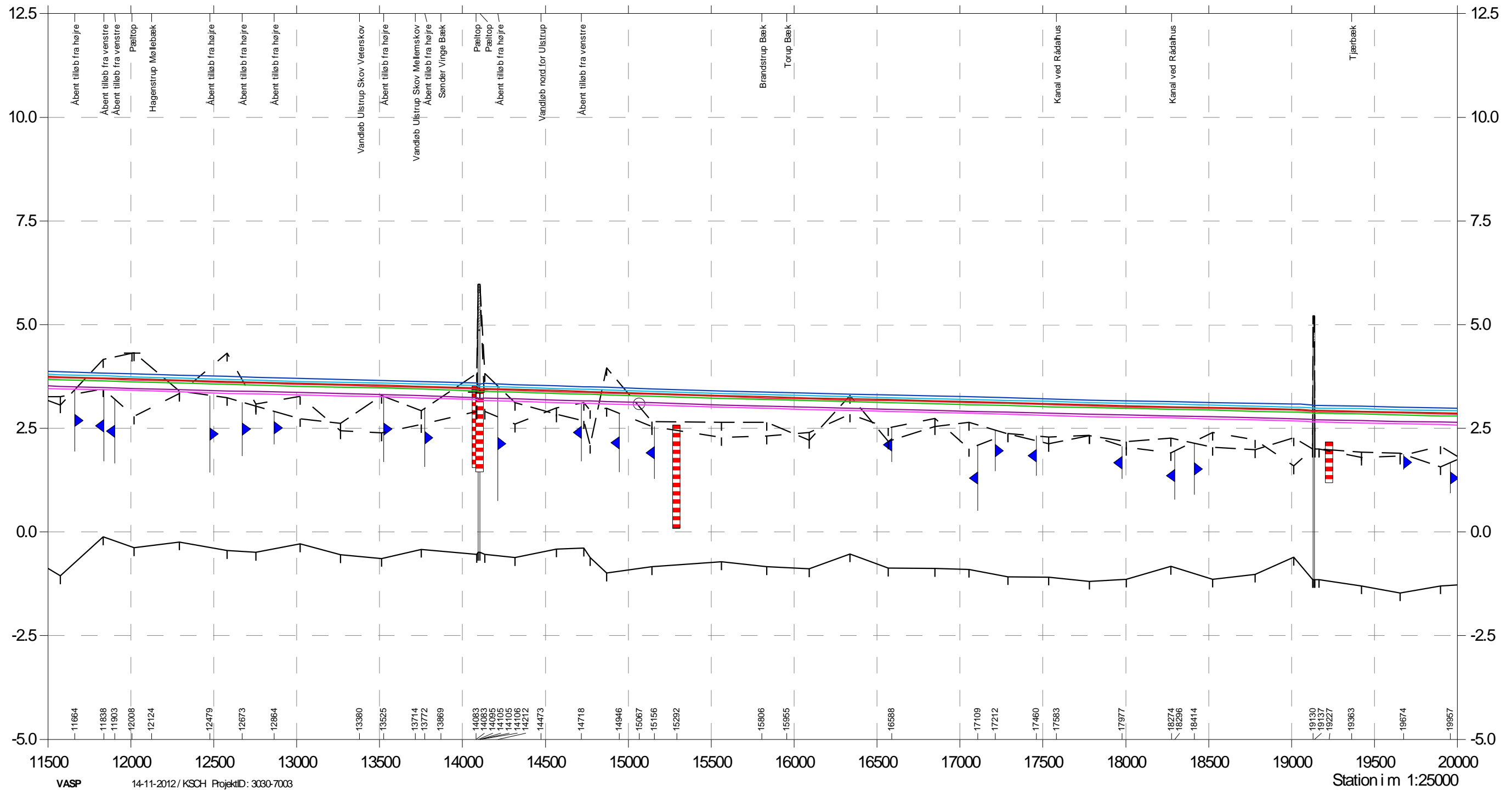
Manningtal februar - april



Bilag 5

- 1974 - 1989
- 2009
- Terræn højre
- 2008
- Terræn venstre
- 2007
- 2011
- Bund
- 1990 - 1999
- 2010

Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

Vandstandsudvikling

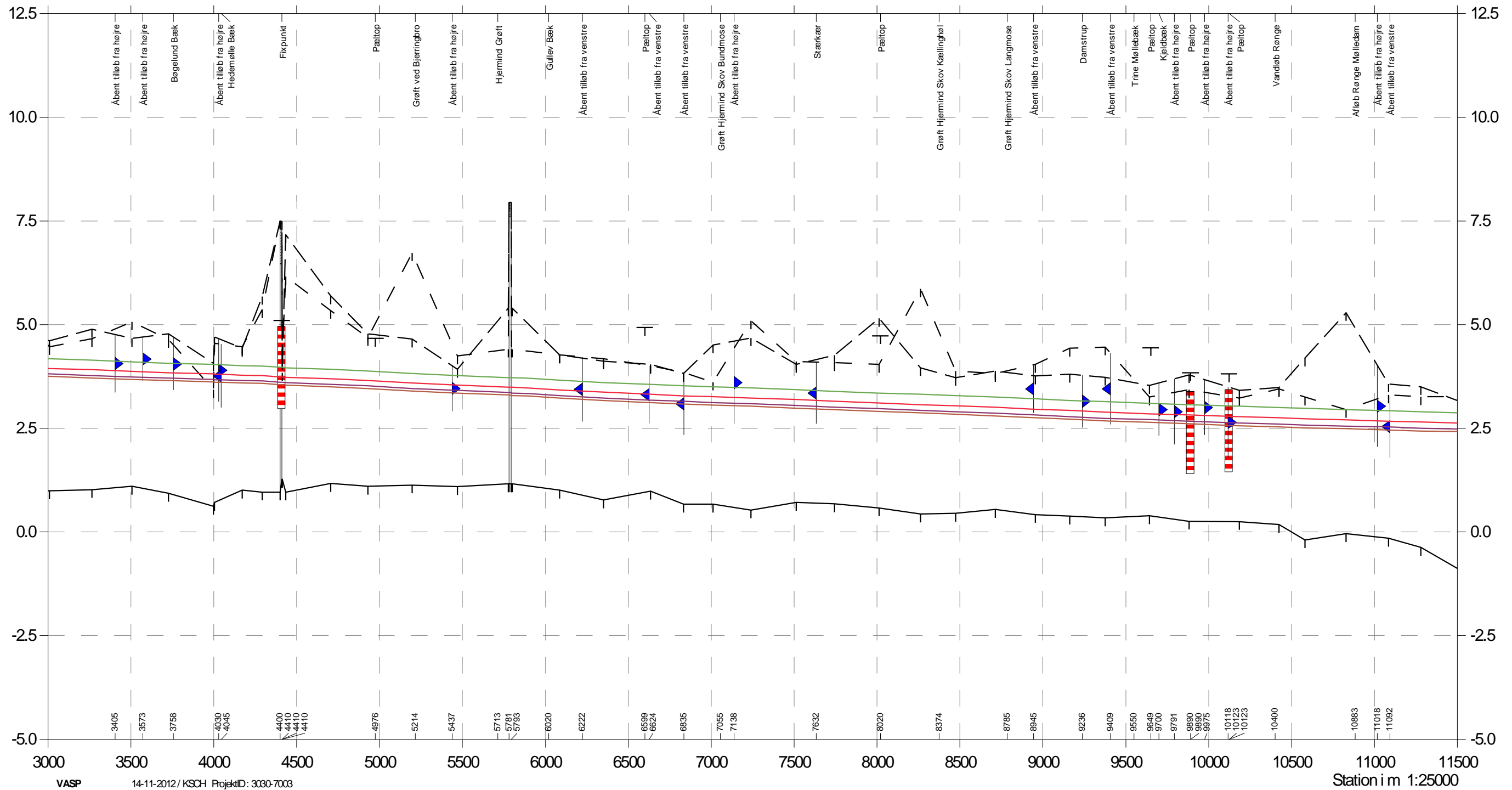
Sommermiddel vandføring
Manningtal juni - september



Bilag 6

- 1 skæring
- Ingen skæring
- 1 fuld skæring
- 3 skæringer
- - - Terræn højre
- - - Terræn venstre
- Bund

Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

Vandstandsudvikling

Sommermiddel vandføring

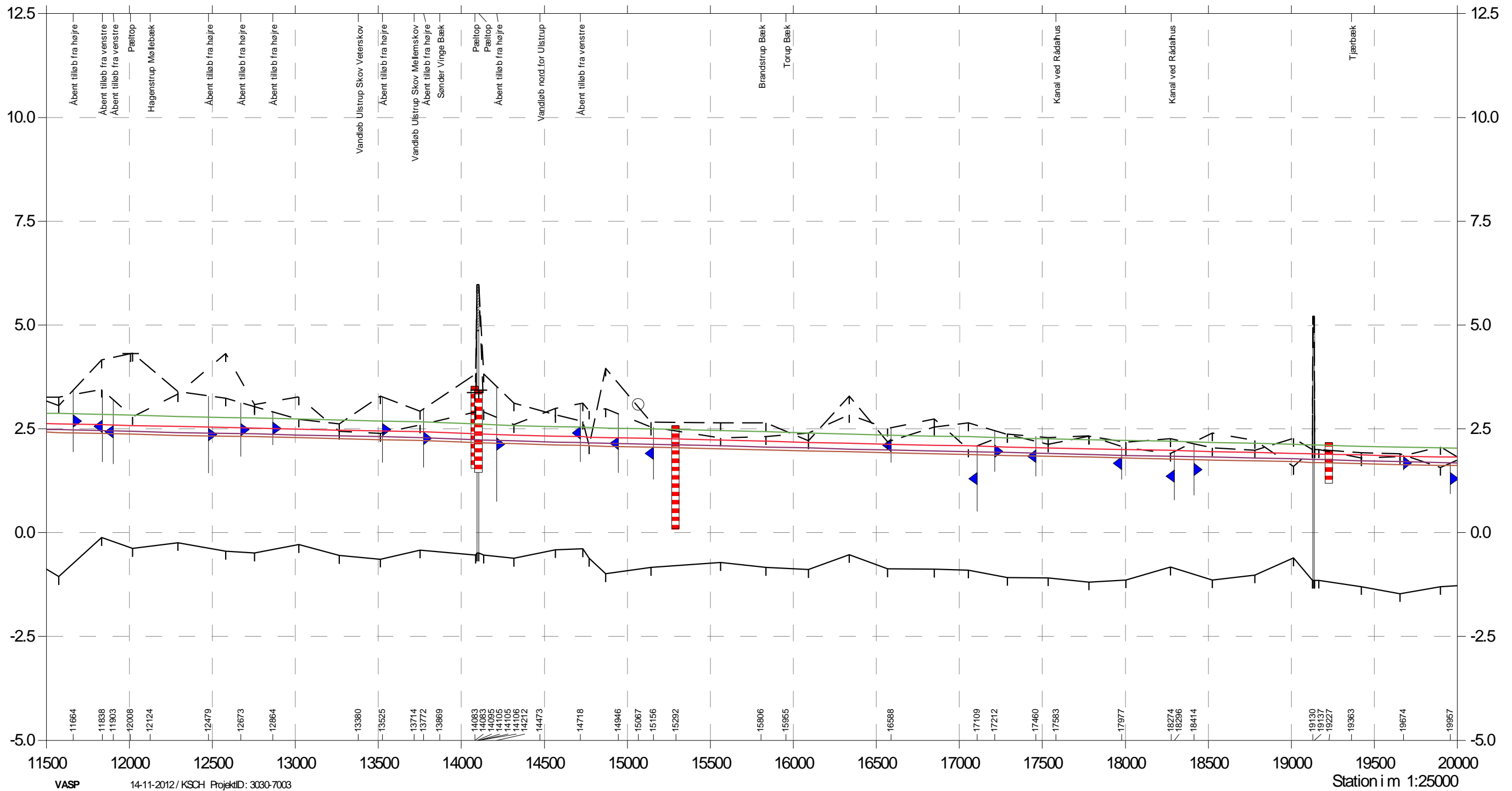
Manningtal juni - september



Bilag 6

- 1 skæring
- Ingen skæring
- 1 fuld skæring
- 3 skæringer
- - - Terræn højre
- - - Terræn venstre
- Bund

Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

Vandstandsudvikling

Sommermedian maksimum vandføring

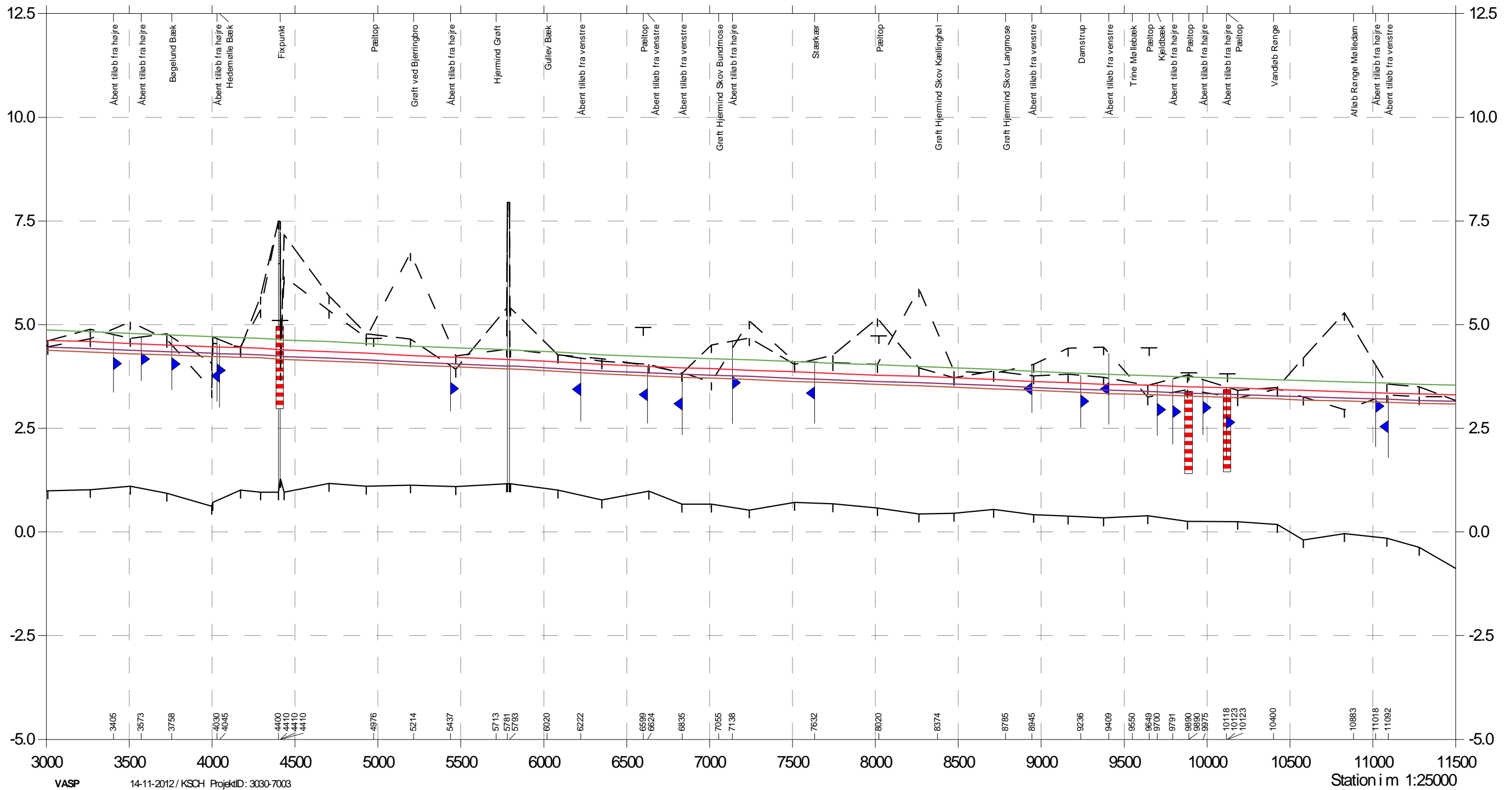
Manningtal juni - september



Bilag 7

- 1 skæring
- Ingen skæring
- 1 fuld skæring
- 3 skæringer
- - - Terraen højre
- - - Terraen venstre
- Bund

Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

Vandstandsudvikling

Sommermedian maksimum vandføring

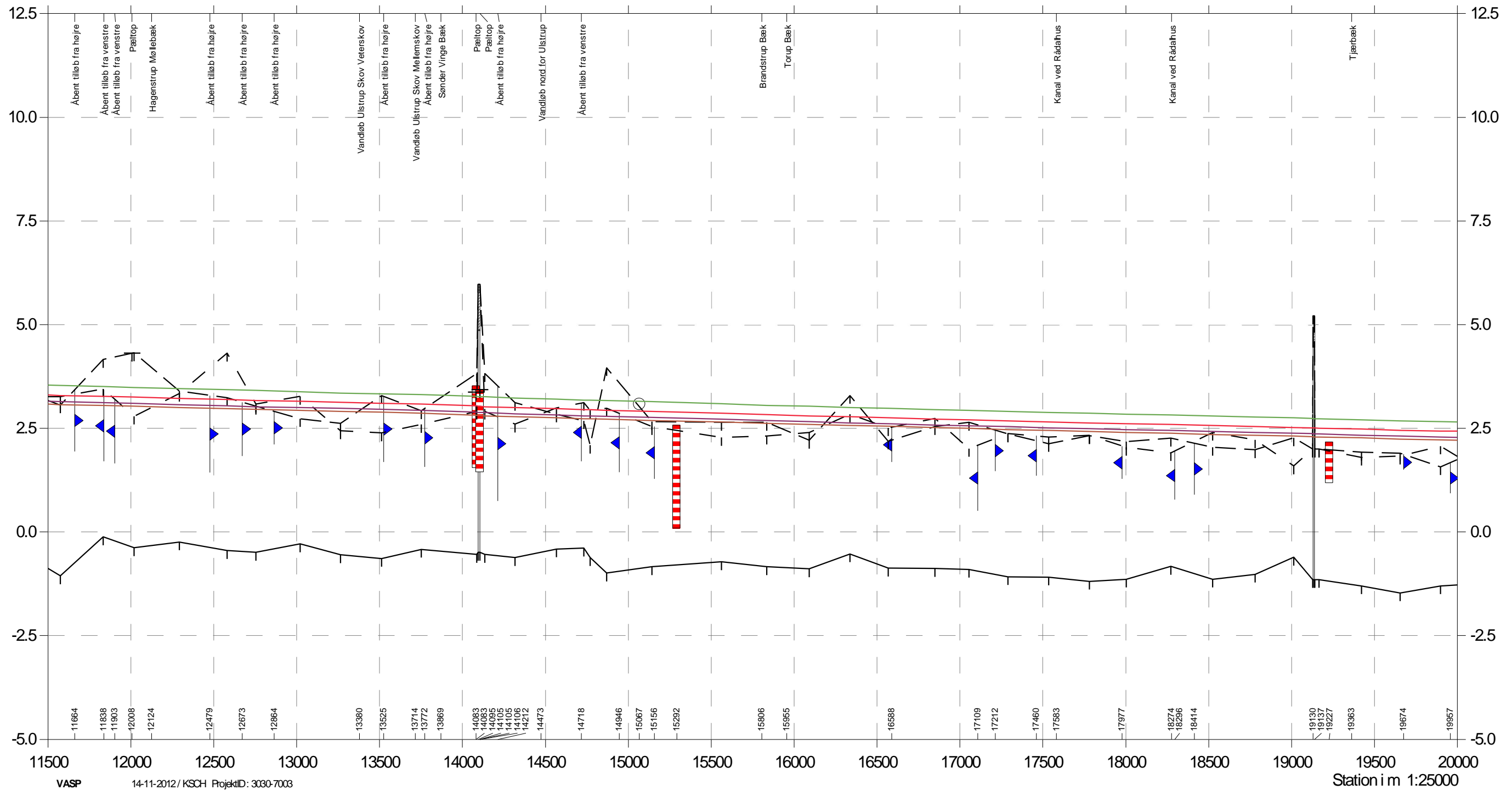
Manningtal juni - september



Bilag 7

- 1 skæring
- - - Terraen højre
- - - Terraen venstre
- Bund
- Ingen skæring
- 1 fuld skæring
- 3 skæringer

Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

Vandstandsudvikling

Vintermiddel vandføring

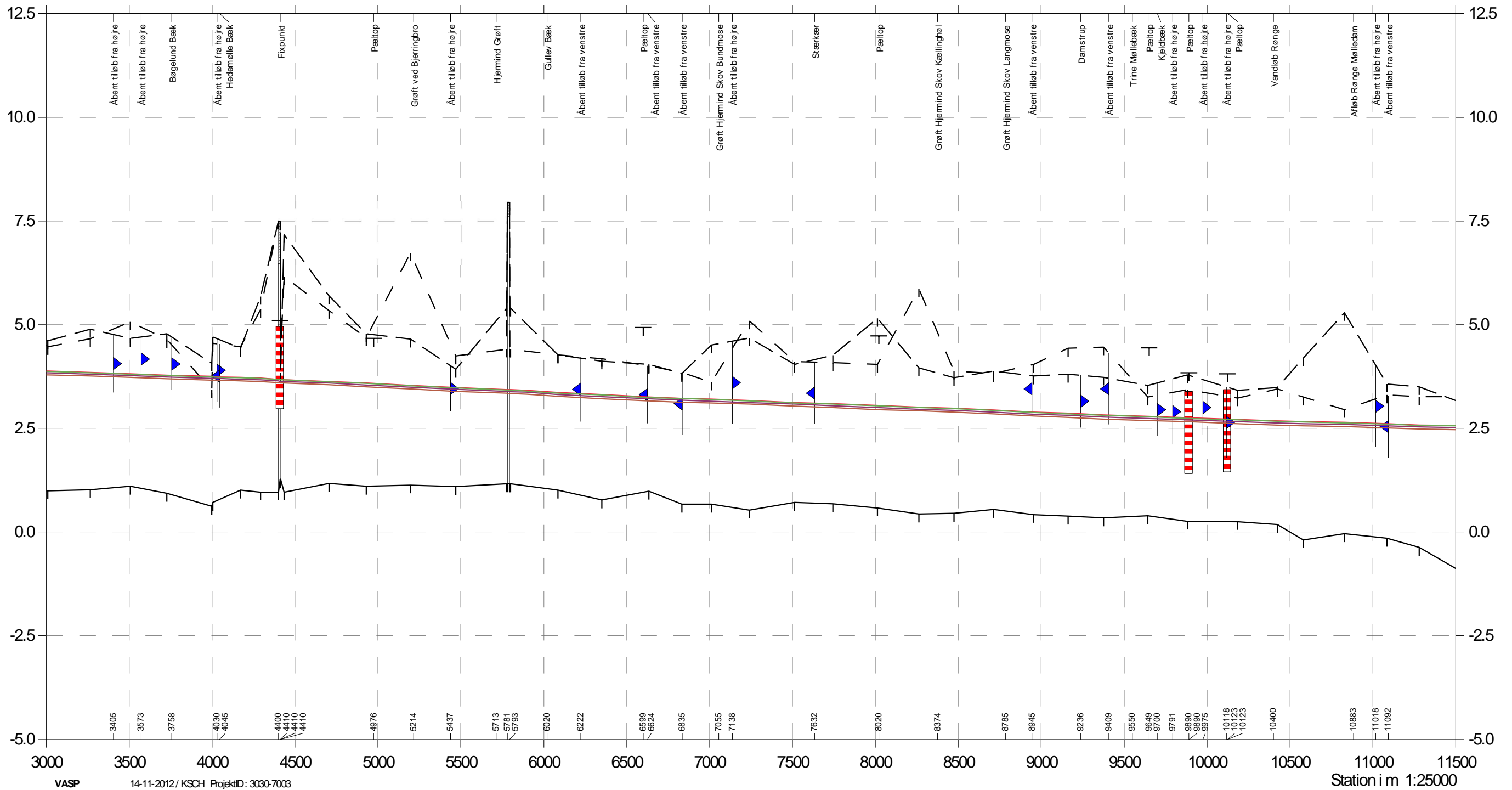
Manningtal februar - april



Bilag 8

- 1 skæring
- Ingen skæring
- 1 fuld skæring
- 3 skæringer
- - - Terræn højre
- - - Terræn venstre
- Bund

Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

Vandstandsudvikling

Vintermiddel vandføring

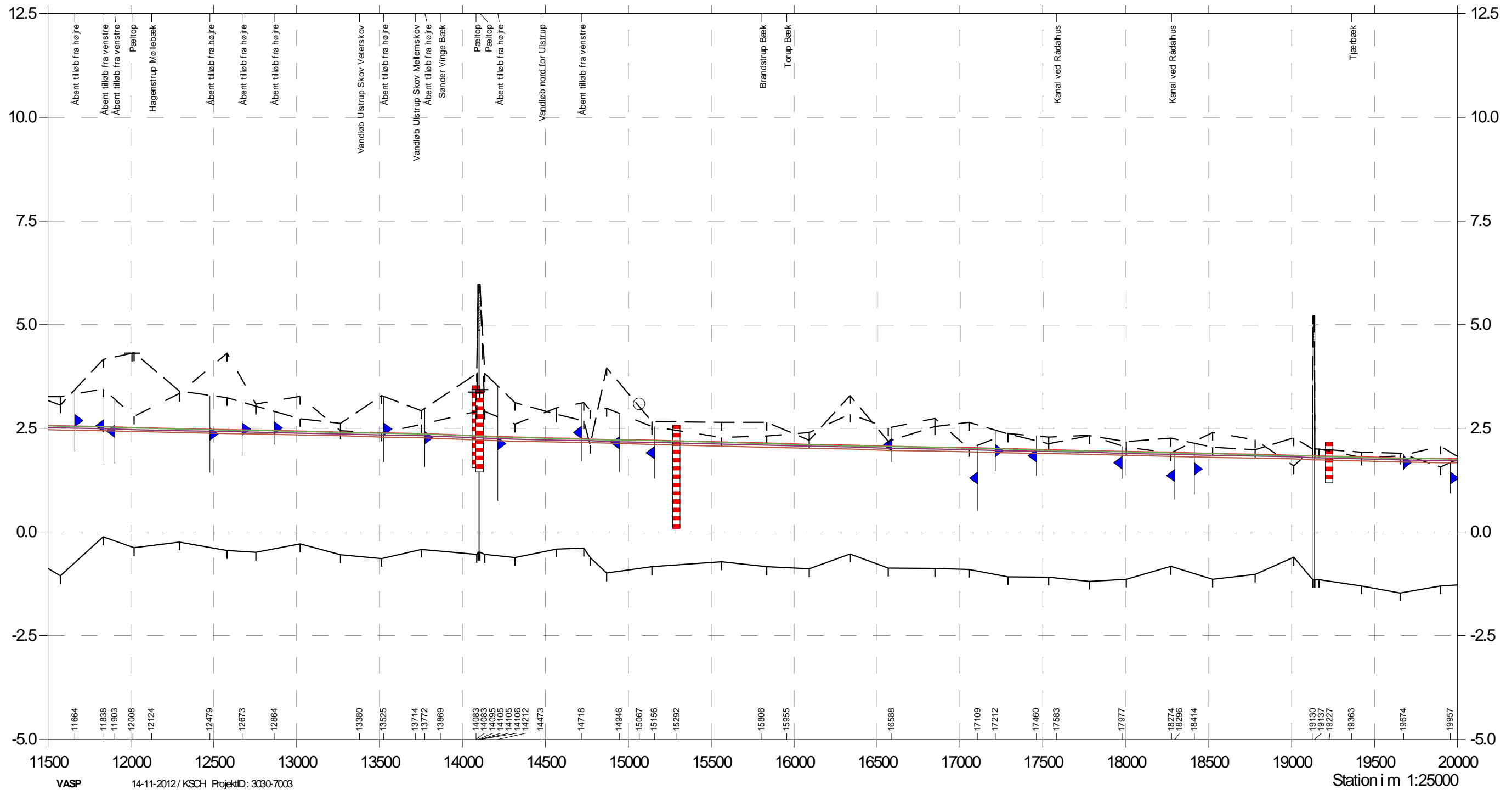
Manningtal februar - april



Bilag 8

- 1 skæring
- — — Terræn højre
- — — Terræn venstre
- Bund
- Ingen skæring
- 1 fuld skæring
- 3 skæringer

Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

Vandstandsudvikling

Medianmaksimum vandføring

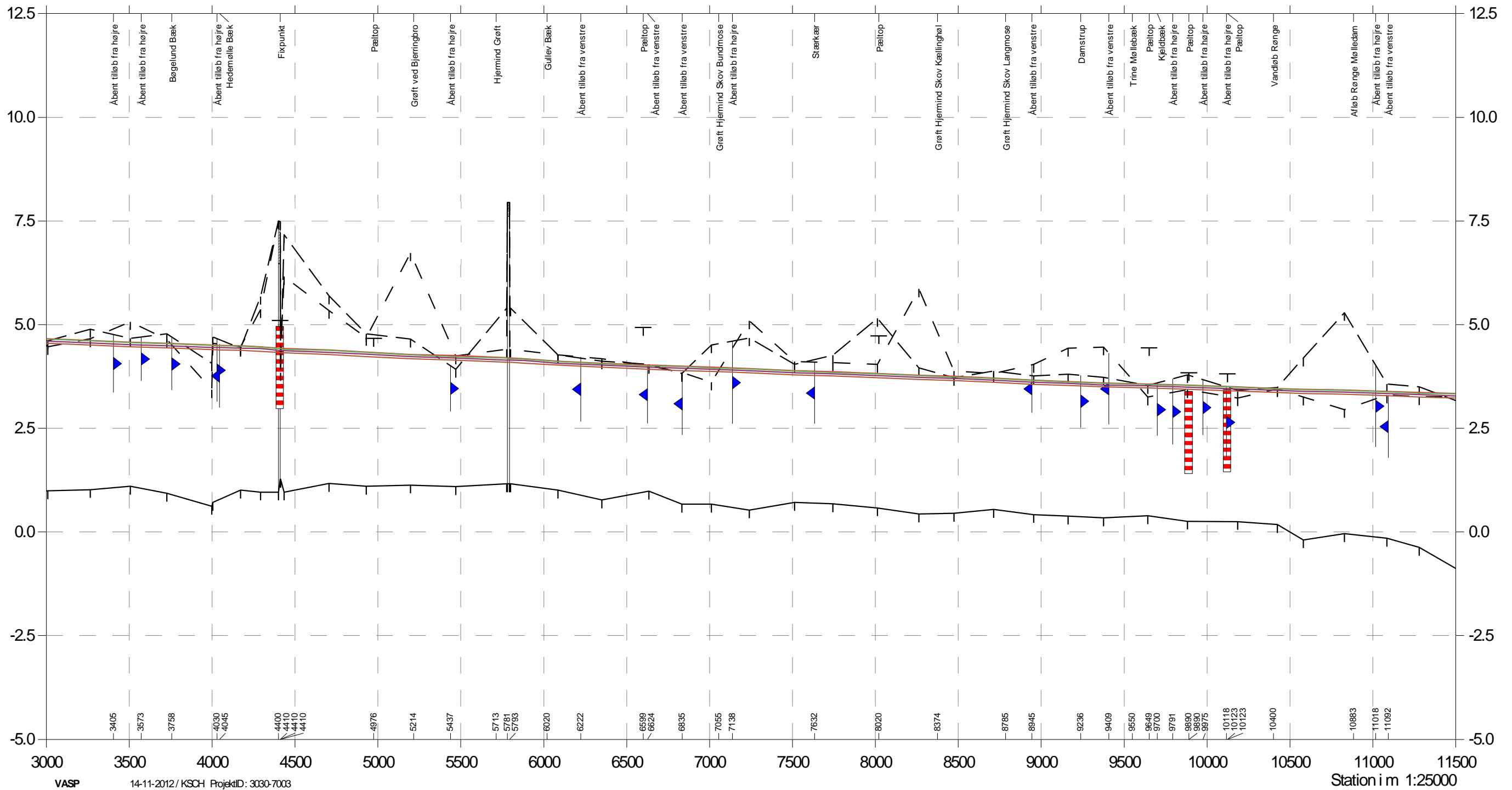
Manningtal februar - april



Bilag 9

- 1 skæring
- Ingen skæring
- 1 fuld skæring
- 3 skæringer
- - - Terraen højre
- - - Terraen venstre
- Bund

Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

Vandstandsudvikling

Medianmaksimum vandføring

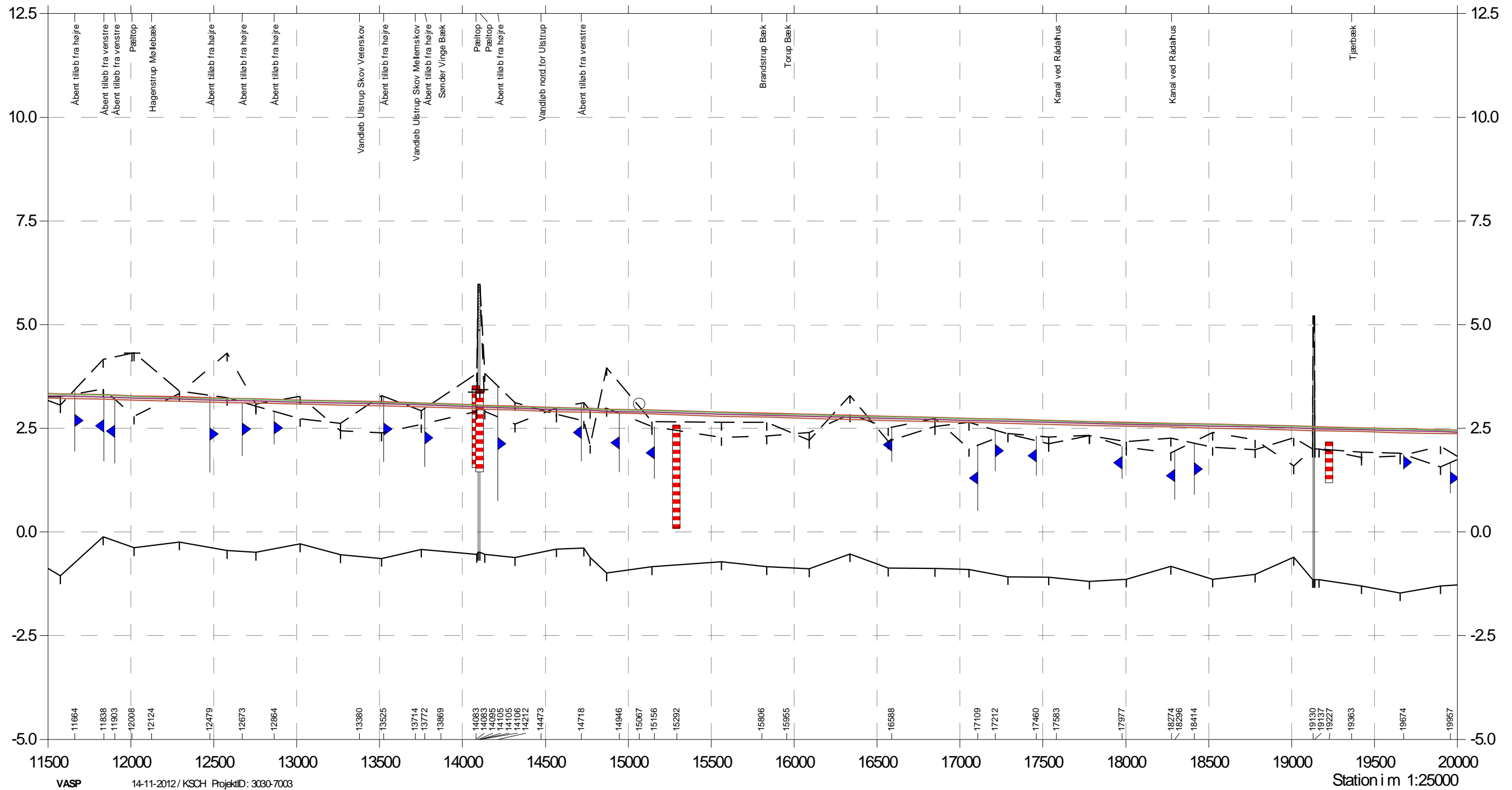
Manningtal februar - april



Bilag 9

- 1 skæring
- Ingen skæring
- 1 fuld skæring
- 3 skæringer
- - - Terraen højre
- - - Terraen venstre
- Bund

Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

Vandstandsudvikling

10-års maksimum vandføring

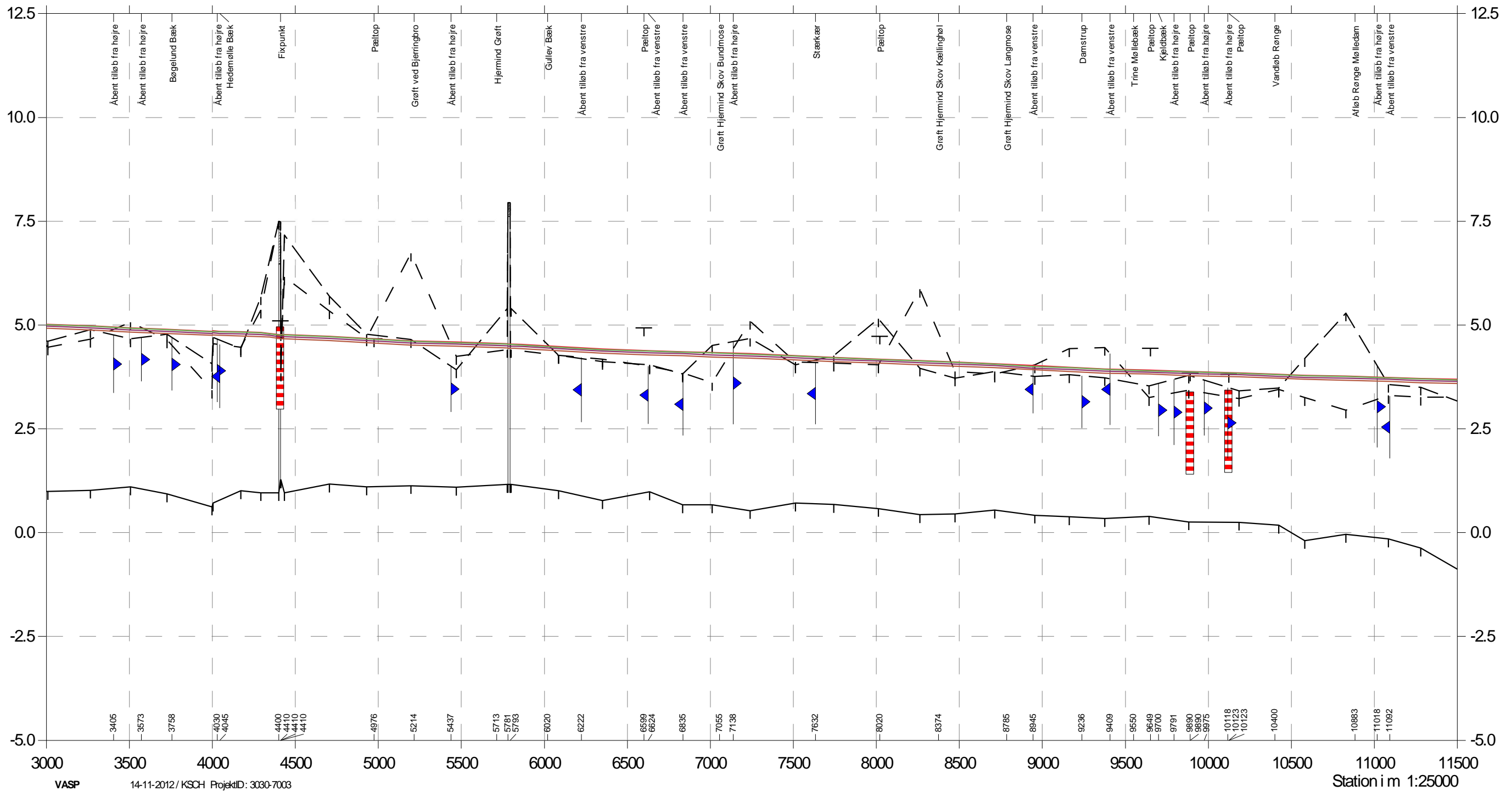
Manningtal februar - april



Bilag 10

- 1 skæring
- Ingen skæring
- 1 fuld skæring
- 3 skæringer
- - - Terræn højre
- - - Terræn venstre
- Bund

Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

Vandstandsudvikling

10-års maksimum vandføring

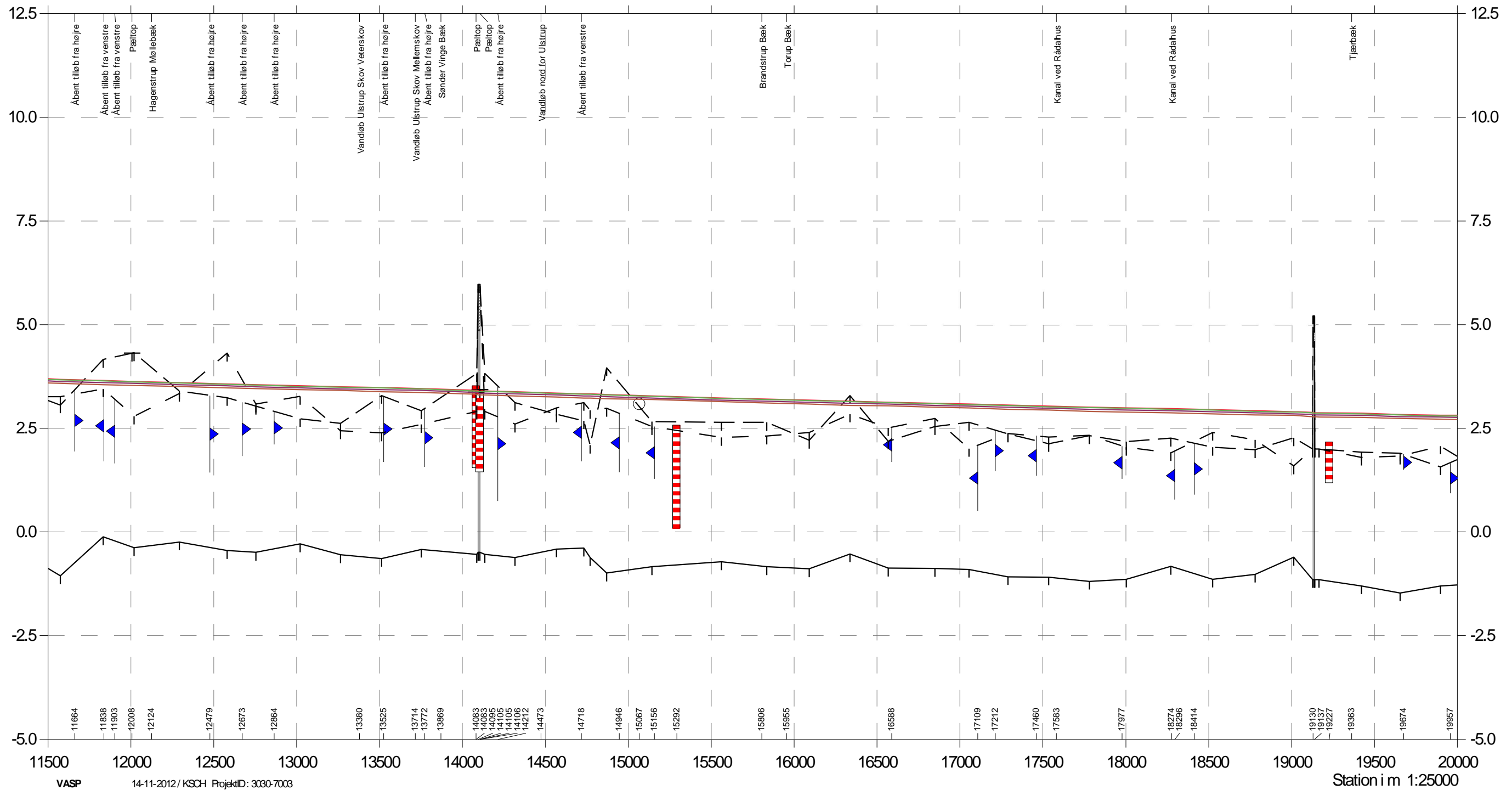
Manningtal februar - april



Bilag 10

- 1 skæring
- - - Terraen højre
- 1 fuld skæring
- - - Terraen venstre
- 3 skæringer
- Bund

Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

Sommervandføring

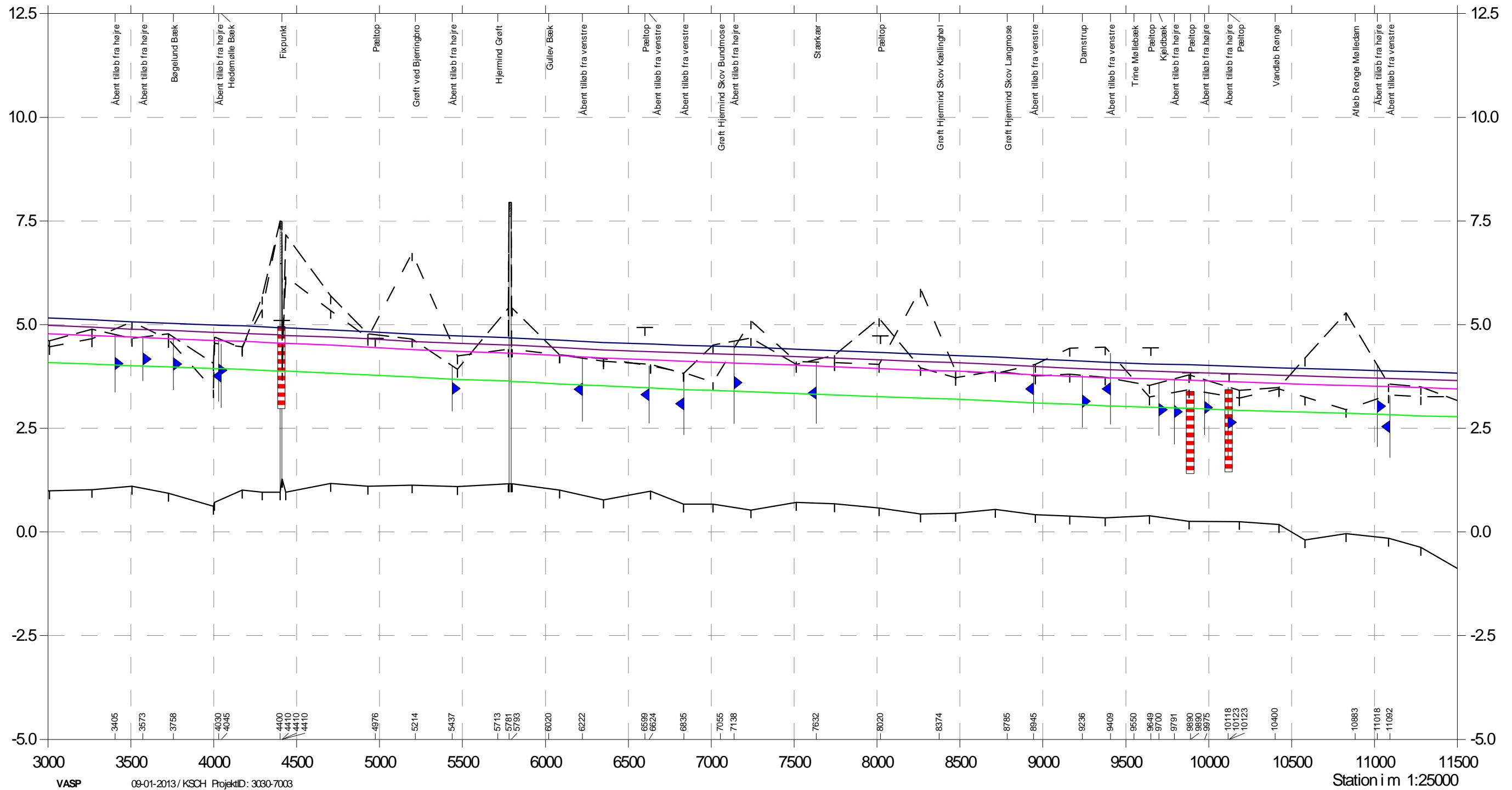
Manningtal juni - september



Bilag 11

- Sommerridde
- Sommer 10-års maksimum
- Sommer 5-års maksimum
- Sommer medianmaksimum
- - - Terræn højre
- - - Terræn venstre
- Bund

Kote i m DVR90 1:100



Gudenåen

Sommervandføring

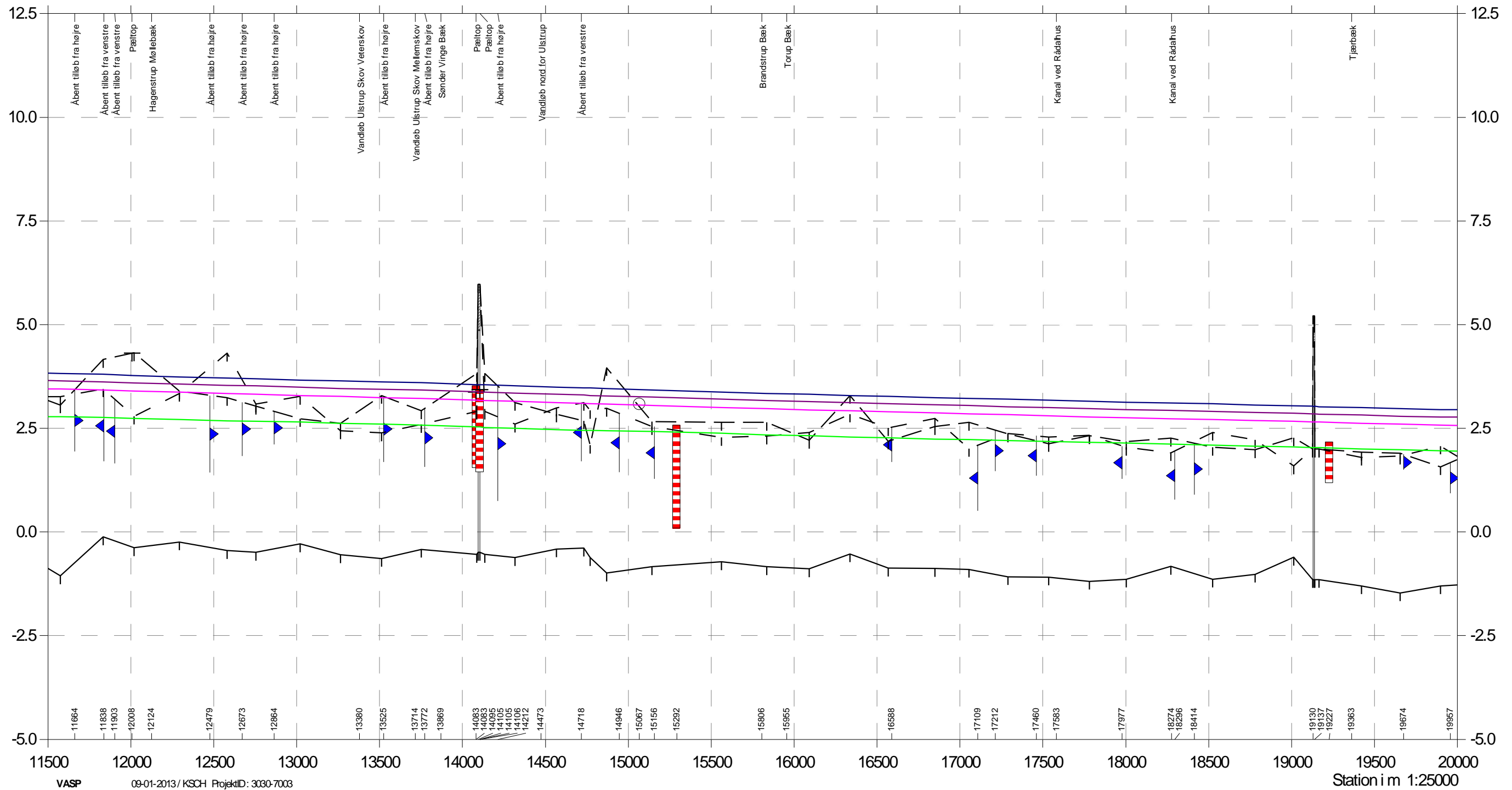
Manningtal juni - september

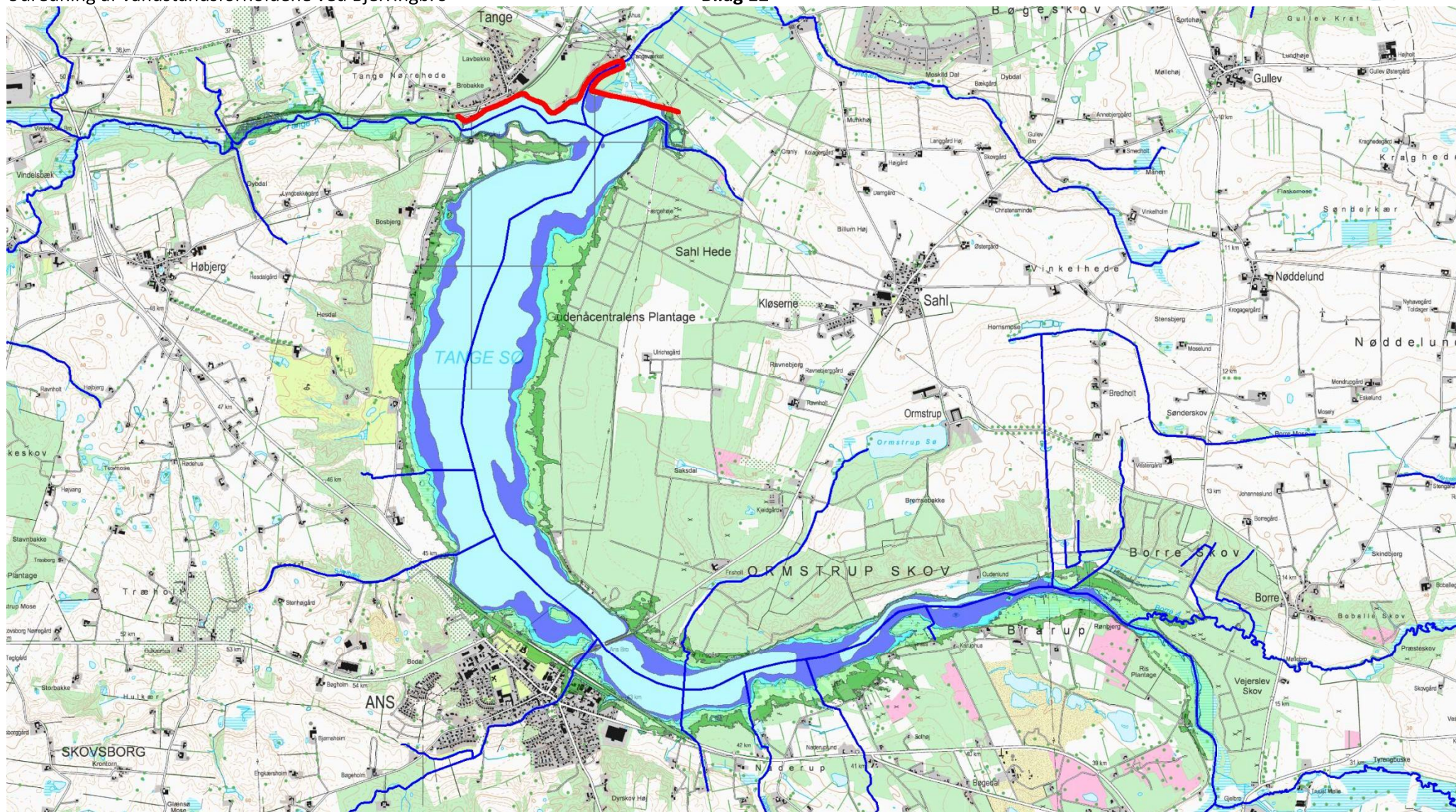


Bilag 11

- Sommerriddell
- Terræn højre
- Terræn venstre
- Bund
- Sommer 10-års maksimum
- Sommer 5-års maksimum
- Sommer medianmaksimum

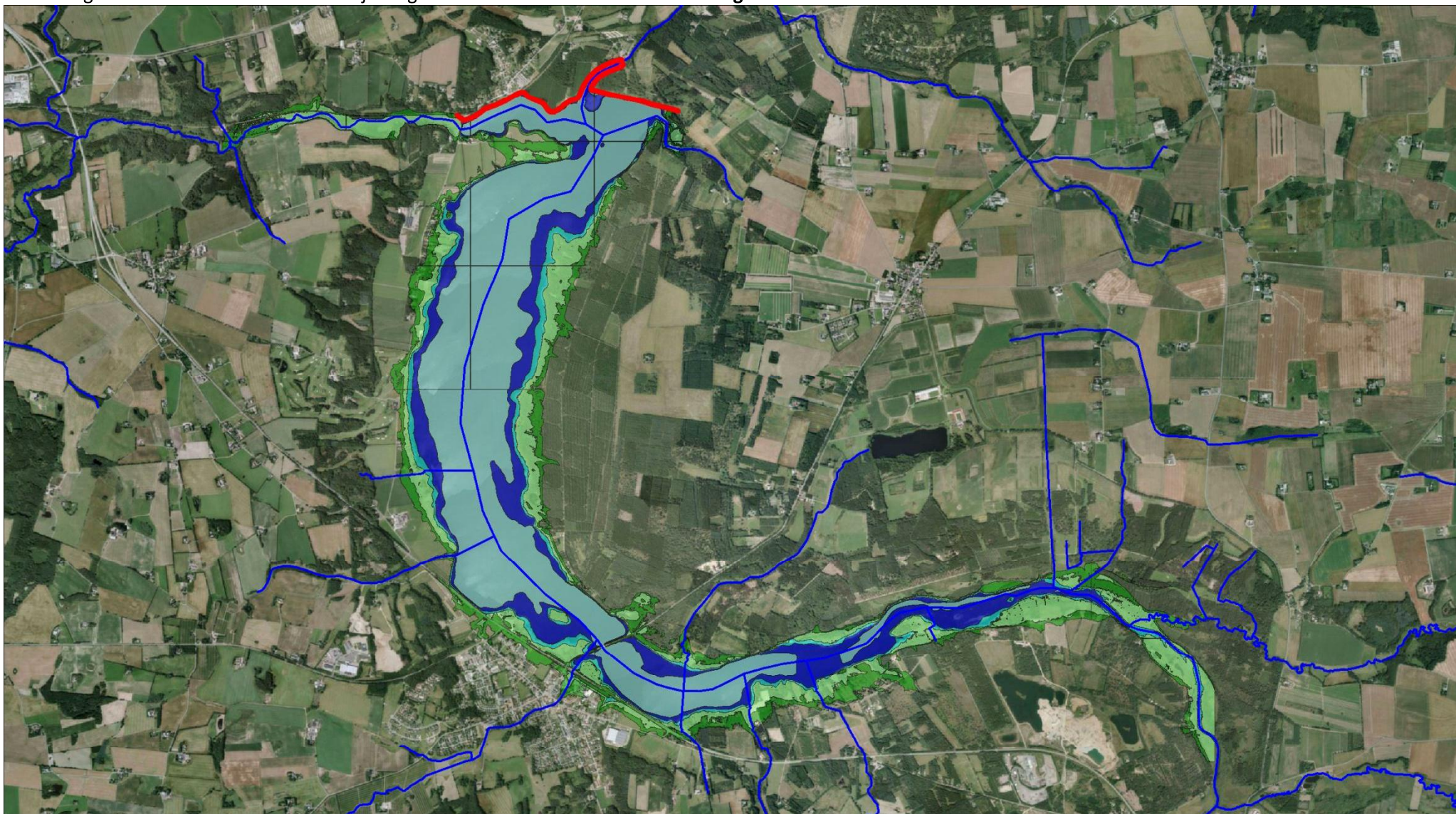
Kote i m DVR90 1:100





Lyseblå viser søens udbredelse ved en vandstand på 2 m under flodemålet. Det mørkeblå område viser vandstanden, såfremt denne øges til 1 m under flodemålet. Det turkis område viser vandstanden såfremt denne er lig med flodemålet. De lysegrønne og grønne områder viser udbredelsen ved henholdsvis 1 og 2 m over flodemålet. Rød streg viser dige/forhøjelse af eksisterende dæmning, som vil være nødvendig, såfremt vandstanden hæves til mere end 1 m over flodemålet. Gennemskinneligt vandstandstema med 4-cm kort som baggrund.

Vandstand i Tange Sø ved anvendelse af søen som buffer ved store afstrømninger (se afsnit 2.2 - scenarie 2 og afsnit 3.4.2).



Lyseblå viser søens udbredelse ved en vandstand på 2 m under flodemålet. Det mørkeblå område viser vandstanden, såfremt denne øges til 1 m under flodemålet. Det turkis område viser vandstanden såfremt denne er lig med flodemålet. De lysegrønne og grønne områder viser udbredelsen ved henholdsvis 1 og 2 m over flodemålet. Rød streg viser dige/forhøjelse af eksisterende dæmning, som vil være nødvendig, såfremt vandstanden hæves til mere end 1 m over flodemålet. Gennemskinneligt vandstandstema med luftfoto (2012) som baggrund.

Vandstand i Tange Sø ved anvendelse af søen som buffer ved store afstrømninger (se afsnit 2.2 - scenarie 2 og afsnit 3.4.2).