

## Notat

**Til** Norce v/ Martin Engquist og Ulrich Pulg **Dato** 27.05.2024  
**Fra** Jostein Jerkø **Arkivnr.** [000000]  
**Kopi** [Skriv inn navn]

# Årsaksanalyse Gassmetning Skibotn kraftverk

## Bakgrunn

Skibotn kraftverk produserer gassovermettet avløpsvann som følge av at bekkeinntakene sluker luft som trykkesett og løses inn i tilløpsvannet. Når trykket avlastes over turbinen inneholder avløpsvannet med luft enn hva vannet kan holde ved atmosfæretrykk og det oppstår en situasjon med luftovermetning av avløpsvannet. Fisk som oppholder seg i avløpsvannet kan dø av dykkersyken. Dette notat drøfter årsakene til at gassovermetningen oppstår og hvordan ulik kraftverksdrift påvirker gassproduksjonen.

## Innhold

Bakgrunn .....	1
1. Beskrivelse av tilløpssystemet.....	2
2. Empirisk tilnærming .....	2
2.1 Metode og resultat.....	2
2.2 Fortynning ved å øke fra lavlast til fullast.....	4
2.3 Konsekvensen av lastendring på Skibotnelva .....	5
3. Statisk modellering av TDG.....	5
3.1 Metode .....	5
3.1.1 Vannføringer .....	6
3.1.2 Vannhastighet.....	6
3.1.3 Luftmedrivning .....	6
3.1.4 Turbinvannets sammensetning – avløpets TDG-konsentrasjon .....	6
3.2 Resultater .....	7
4. Dynamisk modellering .....	9
5. Identifiserte hendelser .....	10
5.1 Identifisering av hendelser.....	10
5.2 Overordna oppsummering.....	10
5.3 Detaljer om hendelsene.....	12
6. Konklusjon.....	18
6.1 Kilde .....	18
6.2 Avbøtende tiltak.....	18



## 1. Beskrivelse av tilløpssystemet

Kraftverket er beliggende på kt. 30 med inntak i Rihpojávri magasin HRV kt. 486, 15 km innover Skibotndalen. På vei fra magasinet til kraftverket mates det inn vatn fra Lávka kraftverk og fem bekkeinntak. Bekkeinntakene er nummerert B1 til B5 hvor B1 er nærmest magasinet og B5 er nærmest kraftverket. Avløpstunnelen fra Lávka kraftverk kommer inn på tilløpstunnelen imellom B1 og B2. I situasjoner hvor tilsiget til bekkeinntakene er større enn forbrukt vatn i Skibotn kraftverk så mates det overskytende tilsiget til magasinering i Rihpojávri magasin. Vice versa vil det forbrukes vatn fra magasinet dersom forbruket i Skibotn overstiger tilsiget. I tilfeller hvor tilsiget er større enn forbruket så vil turbinen prioritere vatn fra de nærmeste bekkeinntakene først (dvs. følgende rekkefølge: B5, B4/B3, B2, Lávka, B1) hvorpå inntakene nærmest magasinet leverer til Rihpo.

Bekkeinntakene B3 og B5 er svært små, det er inntakene B4 (18 km<sup>2</sup>), B2 (16,5 km<sup>2</sup>) og B1 (12 km<sup>2</sup>) som bidrar med vannføring av betydning. Sjaktene er som hovedregel utført i 5 m<sup>2</sup> tverrsnitt med unntak av Kvitlia som er 9 m<sup>2</sup> og B1 som er 7 m<sup>2</sup>. Høyere vannføringer og snevrere sjaktverrsnitt gir økte vannhastigheter og dertil økt luftmedrivning. B1 er plassert nedstrøms Lávka magasin; så i overløpsituasjoner kan vannføringen i B1 mangedobles til å drenere et vesentlig større nedslagsfelt (38 km<sup>2</sup>).

## 2. Empirisk tilnærming

### 2.1 Metode og resultat

Følgende tidsserier plottes mot hverandre:

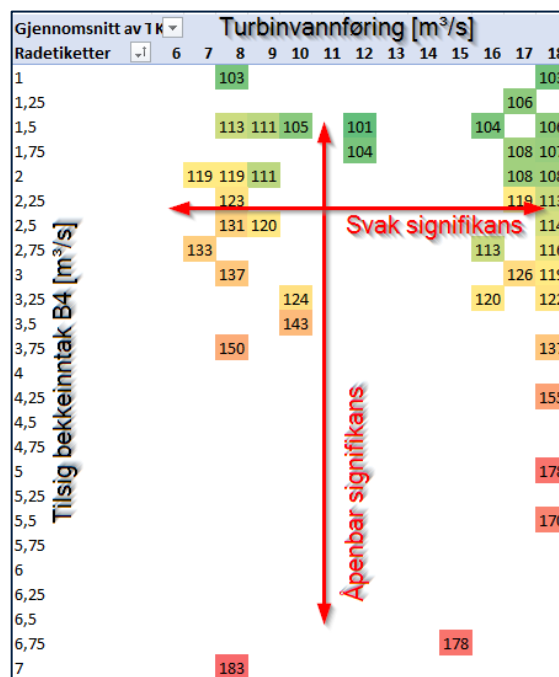
- Observert TDG (avløpskanalen før uttynning)
- Turbinvannføring
- Vannføring i bekkeinntak B4

Det antas for enkelhets skyld at vannføringen i B4 er representativ for avløpsprofilen fra de øvrige bekkeinntakene.

NB: Manøvreringa av Lávka kraftverk og mertilsig til B1 som følge av overløp Lávka-javri er ikke representert etter denne metoden.

Alle tidsseriene fra juli 2021 til oktober 2023 er gjennomgått og det er identifisert 68 hendelser (tidspunkt) som er vurdert til å være representative for en stasjonær tilstand, dvs. at systemet er i balanse og sluker vatn fra bekkeinntakene på en forutsigbar måte.

Når alle hendelsene sammenstilles så er det åpenbart en signifikans mellom tilsiget til B4 og resulterende TDG ved kraftstasjonen. Det er også en tendens til at høy turbinvannføring demper gassmetningen, dog er denne sammenhengen ikke like åpenbar.

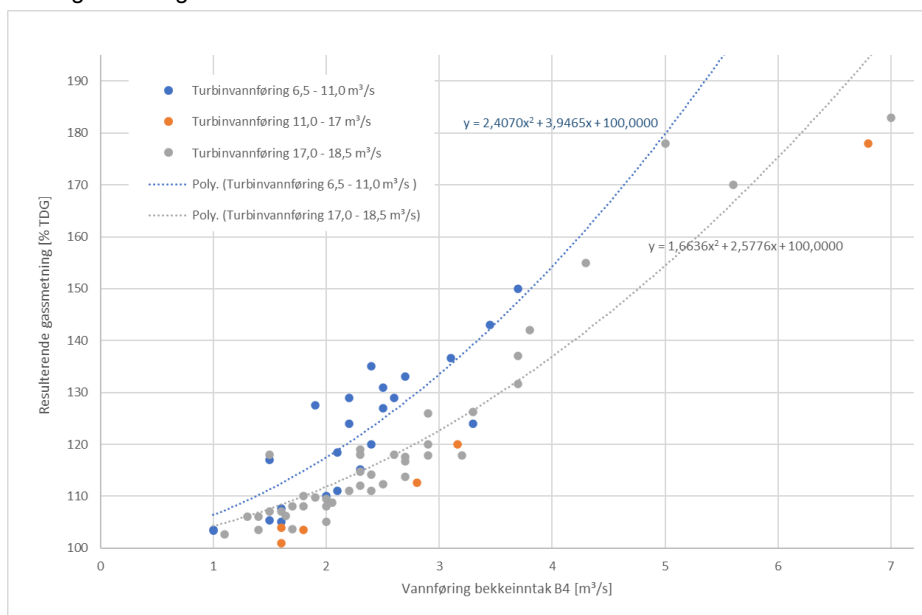




Datagrunnlaget er ikke stort nok og/eller detaljert nok til at det er lett å etablere en funksjon som håndterer både turbinvannføring og tilsig i én å samme funksjon. For å håndtere denne doble avhengigheten så velger jeg derfor å etablere to separate funksjoner for TDG beregnet som funksjon av tilsig til B4:

- Lavlastsegmentet 7,5 – 10 m<sup>3</sup>/s turbinvannføring (tilsvare 30 – 40 MW)<sup>1</sup>
- Høyloadsegmentet 17,0 - 18,5 m<sup>3</sup>/s turbinvannføring (tilsvare 65-72 MW)
- 6 enkelthendelser 12-16 m<sup>3</sup>/s inngår ikke i kalibreringsunderlaget.

Dette gir oss følgende resultat:



Blå punkter (og regresjonslinje) er lavlast, grå punkter (og linje) er høyload. Oransje punkter ligger i mellomloadsegmentet og er ikke medtatt i kalibreringa.

Selv om dataunderlaget er begrenset så synes metoden å modellere forskjellene på høy og lav turbinvannføring på en tilfredsstillende måte.

Punktene har relativt stor spredning fra regresjonslinja; dette kan forklares bl.a. med at gruppene er vide pluss at det er store usikkerheter i alt dataunderlag. Den største feilkilden skyldes nok helst at

- Kjøring av Lávka kraftverk er ikke hensyntatt. I situasjoner hvor Lávka kjører så vil avløpet fra Lávka fortrenge tilsig fra B1.
- Forøket tilsig til B1 som følge av overløp Lávkaávrí er ikke hensyntatt.

<sup>1</sup> De to hendelsene ved hhv. 6,5 og 7,0 m<sup>3</sup>/s turbinvannføring for lov til å være med i denne gruppen...



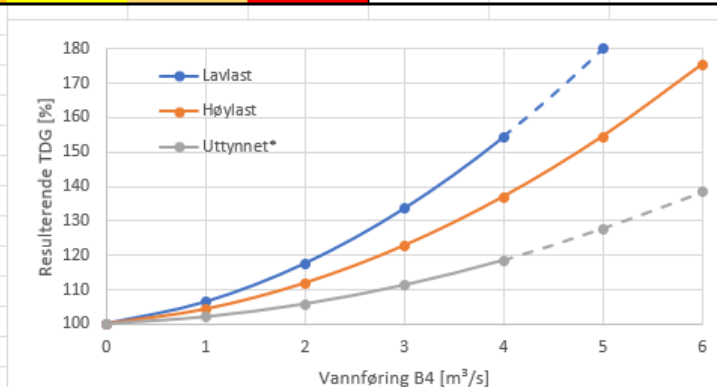
## 2.2 Fortynning ved å øke fra lavlast til fullast

Vi ser av kurvene over at gassmetningen i avløpsvannet reduseres når turbinvannføringen øker. Dette skyldes trolig at man ved lavlast kjører ut nær sagt ufortynnet vatn fra bekkeinntakene B2 og B4 (de antatt mest gassproduserende inntakene). Ved lastøkning forbruker man også vatn fra (i denne rekkefølge) Lávka, B1 og til sist Rihpojávri. Vi antar innledningsvis at både Lávka og Rihpo har tilnærmelsesvis «reint» vatn mens B1 kan være gassholdig.

Konsentrasjonen av *merforbruket av vatn* ved økning fra lavlast til fullast kan tolkes som differansen mellom de to TDG-kurvene, i praksis beregnet fra elementær fortynningsmatematikk<sup>2</sup> (vist som «Uttynnet\*» i tabellen og som grå kurve under).

Tilslig til bekkeinntakene [m <sup>3</sup> /s]							TDG-konsentrasjon		
B5	B4	B3	B2	Lávka	B1	Rihpo	Lavlast	Høylast	Uttynnet*
0,0	0,0	0,0	0,0	?	0,0		100	100	100
0,2	1,0	0,2	0,9	?	0,6		106	104	102
0,5	2,0	0,4	1,8	?	1,3		118	112	106
0,7	3,0	0,6	2,7	?	1,9		134	123	111
1,0	4,0	0,8	3,6	?	2,6		154	137	119
1,2	5,0	1,0	4,5	?	3,2		180	154	128
1,5	6,0	1,2	5,4	?	3,9		210	175	138

	Kildene slukes ved lavlastkjøring
	Kildene slukes ved høylast, men ikke lavlast
	Kilden slukes selv ikke ved høylast
	Variierende



Ved å øke fra lavlast til høylast i en flomsituasjon så oppnår man å redusere metningen i avløpsvannet. Likevel tilføres det mer gass samla til vassdraget siden avløpsvannet ikke tynnes ut med «reint» vatn, kun med vatn av *mindre* gassholdighet enn vatnet fra B2/B4.

Vi må gå ut fra at dersom Lávka kraftverk kjøres for fullt så vil dette bidra til ytterligere redusering.

Kun ved lave tilslig (B4 < 3 m<sup>3</sup>/s) oppnår man tynning med magasin vann fra Rihpojávri.

<sup>2</sup> Zolezzi et al (2011),  $T_d = \frac{Q_u T_u + Q_p T_p}{Q_d}$



## 2.3 Konsekvensen av lastendring på Skibotnelva

Kapittel 2.2 viser at økning fra lavlast til fullast vil ta ned den absolute gassmetningen i avløpsvannet, men avløpsvannet tynnes ikke ut med reint tilløpsvann. Derfor vil den totale gassmengde fra kraftverket også øke når lasta økes. Det må derfor evalueres om en lastøkning gir økt eller redusert *total utblandet gassmetning* i Skibotnelva nedstrøms kraftverket. Sagt folkelig «er det best med mye turbinvann med moderat TDG eller lite turbinvann med høy TDG».

TDG-nivået utblandet i Skibotnelva og differansen mellom lav- og høylastkjøring beregnes for tre ulike tilfeller av restvannføring: 10, 20 og 50 m<sup>3</sup>/s. Se under. Forutsetter 102 % bakgrunnsmetning av restvannføringa.

Tilslig B4 [m <sup>3</sup> /s]	Situasjon med 10 m <sup>3</sup> /s restvannføring Skibotnelv					Situasjon med 20 m <sup>3</sup> /s restvannføring Skibotnelv					Situasjon med 50 m <sup>3</sup> /s restvannføring Skibotnelv				
	Lavlast [% TDG]		Høylast [% TDG]		Diff høy-lav	Lavlast [% TDG]		Høylast [% TDG]		Diff høy-lav	Lavlast [% TDG]		Høylast [% TDG]		Diff høy-lav
	Avløpet	Elva	Avløpet	Elva		Avløpet	Elva	Avløpet	Elva		Avløpet	Elva	Avløpet	Elva	
0	100	101	100	101	-0,3	100	101	100	101	-0,3	100	102	100	101	-0,2
1	106	104	104	103	-0,6	106	103	104	103	-0,3	106	103	104	103	-0,1
2	118	109	112	108	-1,1	118	107	112	107	-0,2	118	104	112	105	0,2
3	134	117	123	115	-1,7	134	112	123	112	-0,1	134	107	123	107	0,6
4	154	127	137	124	-2,5	154	118	137	118	0,1	154	110	137	111	1,1
5	180	139	154	135	-3,5	180	126	154	126	0,3	180	114	154	116	1,7
6	210	153	175	149	-4,6	210	136	175	136	0,6	210	119	175	121	2,5

Resultatene viser at forskjellen mellom lav- og høylastkjøring har små effekter på den utblandede gassmetningen i vassdraget. Analysene indikerer en grenseverdi på 17 m<sup>3</sup>/s (matematisk presis, men fysisk er grenseverdien høyst diffus):

- Restvannføring <17 m<sup>3</sup>/s: Fordelaktig å kjøre høylast
- Restvannføring >17 m<sup>3</sup>/s: Fordelaktig å kjøre lavlast

Likevel må nevnes at forskjellene er små; kun +/- 2 % TDG.

Ferskvannsbiologisk forbehold:

Denne analysen vurderer gassmetninga i Skibotnelva *etter at det har foregått en total sammenblanding med restvannføringa*. I virkeligheten vet vi at det foregår en tofasestrømning nærmest avløpet med kraftverksvannet på venstre side og restvannføringa på høyre side (sett medstrøms). Kjøring på lav last med høye TDG-konsentrasjoner vil kunne gi utfordrende forhold på venstre side inntil vannstrømmene er tilstrekkelig mikset. Hvorvidt fisk har unnvikelse fra venstre elvebredd i slike situasjoner må vurderes av Norge.

## 3. Statisk modellering av TDG

### 3.1 Metode

Det søkes å etablere en modell som kan predikere produsert gassmetning som funksjon av tilsiget til bekkeinntakene og kjøringen i kraftverket løpende hver time. Denne modellen vil også (riktig kalibrert) kunne tallfeste hvert enkel bekkeinntaks bidrag til den totale overmetningen.

Metoden som beskrives her er forenklet og forutsetter en stasjonær tilstand i vannveien. Modellen mister altså sin gyldighet ved ett av følgende (listen er ikke uttømmende):

- Effektendringer i kraftverket. Presis ved effektendringer oppstår konsentrasjonssvingninger og -bobler som ikke modelleres her. For å modellere dette behøves en dynamisk vannpakkemodell, se kap. 4.
- Ved oppstart etter stans. I slike situasjoner er det ulik konsentrasjon i ulike delstrekk av tunnelen (se kap. 4)
- Hurtige vannføringsendringer
- Og annet...



### 3.1.1 Vannføringer

Inndata er generert som følger:

- Tilsig er instrumentert i B2 og B4. Vannføringskurven er teoretisk fundert, kalibrert etter noen enkeltmålinger. Det er flere hull i begge tidsseriene som følge av kommunikasjonssvikt; disse hullene er primært tettet ved å skalere det ene bekkeinntaket til det andre. Sekundært er det tettet ved hjelp av tilsigsdata fra Lávka magasin eller Didno vannmerke. Tidsseriene kan overestimere flomvannføringene pga. falltap over inntaksrista.
- B5 og B3 er estimert som skalerte serier av B4.
- B1 er skalert fra B2 med tillegg av instrumentert overløp fra Lávka. Lávka har imidlertid hatt ustabil vannstandsmål i perioder i 2021 og 2022, så det er visse usikkerheter knyttet til overløpsvolumet.
- Turbinvannføring Lávka og Skibotn kraftverk er beregnet fra turbinenes ytelse.

Av alle disse inndataene så er det størst usikkerheter knyttet til vannføringen i B1.

Alle tidsseriene timesoppløst, men er i modellen midlet over 5 timer for å glatte ut måleturbulens.

### 3.1.2 Vannhastighet

Vannhastigheten i sjaktene er en avgjørende nøkkelfaktor for luftmedrivningen. Denne beregnes som  $v=Q/A$  hvor  $Q$  er vannføringen og  $A$  er sjaktas tverrsnitt. Sjakttverrsnittet er initielt satt i tråd med «som bygget»-tegning, men modellen har evne til å kalibrere også sjakttverrsnittet. Gjeldende kalibreringsresultater har endt med å redusere B4 fra 5 til 4 m<sup>2</sup> og øke B2 fra 5 til 6 m<sup>2</sup>.

### 3.1.3 Luftmedrivning

Bekkeinntaksrapporten (1986) refererer til følgende målinger av luftmedrivning i skråsjakter:

*I den senere tid er det utført målinger av dannelsen av luftovermetning som funksjon av vannføring. Det gjelder to sjakter som er fullprofilboret med diameter 2,4 m (tverrsnitt 4,7 m<sup>2</sup>) og to råspregte sjakter med tverrsnitt hhv, 6 og 8 m<sup>2</sup>. For sjakter av denne størrelsen (4-8 m<sup>2</sup>) dannes det overmetning av betydning først når vannhastigheten i fylt tverrsnitt blir større enn ca 0,3 m/s. Ved en vannhastighet på ca 0,9 m/s dabbes 100 % overmetning, mens 200 % overmetning dannes når vannhastigheten i fylt tverrsnitt er rundt 1,3 m/s. Det understrekes imidlertid at dette er svært grove tall.*

Dette gir sammenheng vist i figur kapittel 3.2. Luftmedrivninga beskrives i modellen som en funksjon på formen  $TDG(v) = av^2 + bv + c$  hvor initielle parametere er  $a=124$ ,  $b=-3,0$  og  $c=96,5$ . Alle koeffisientene kan kalibreres i modellen, men erfaringene fra bekkeinntaksrapporten tjener som et utgangspunkt.

Det er i modellen lagt inn ytre beskrankninger at gassmetningen ikke skal være lavere enn 100% og ikke høyere enn et kalibrert øvre tak (i størrelsesorden 2-300%)

### 3.1.4 Turbinvannets sammensetning – avløpets TDG-konsentrasjon

Så lenge turbinvannføringa hver time er kjent så beregnes hvor mye som slukes fra hvert enkelt bekkeinntak. Bekkeinntakene prioriteres (som beskrevet i kap 1) i rekkefølgen B5, 4/3, 2, Lávka, B1. For hver time beregnes både forbrukt vannføring og hvor mange % av turbinvannet som stammer fra hvilken kilde.

Når blandingsforholdet mellom bekkeinntakene er beregnet og luftmedrivninga i hvert bekkeinntak er beregnet så følger avløpets endelige TDG-konsentrasjon av seg selv.

Det er en tidsforsinkelse mellom modellert respons og reell respons. Denne tidsforskyvinga viser seg å være ca 5 timer; modellen er korrigert for dette.

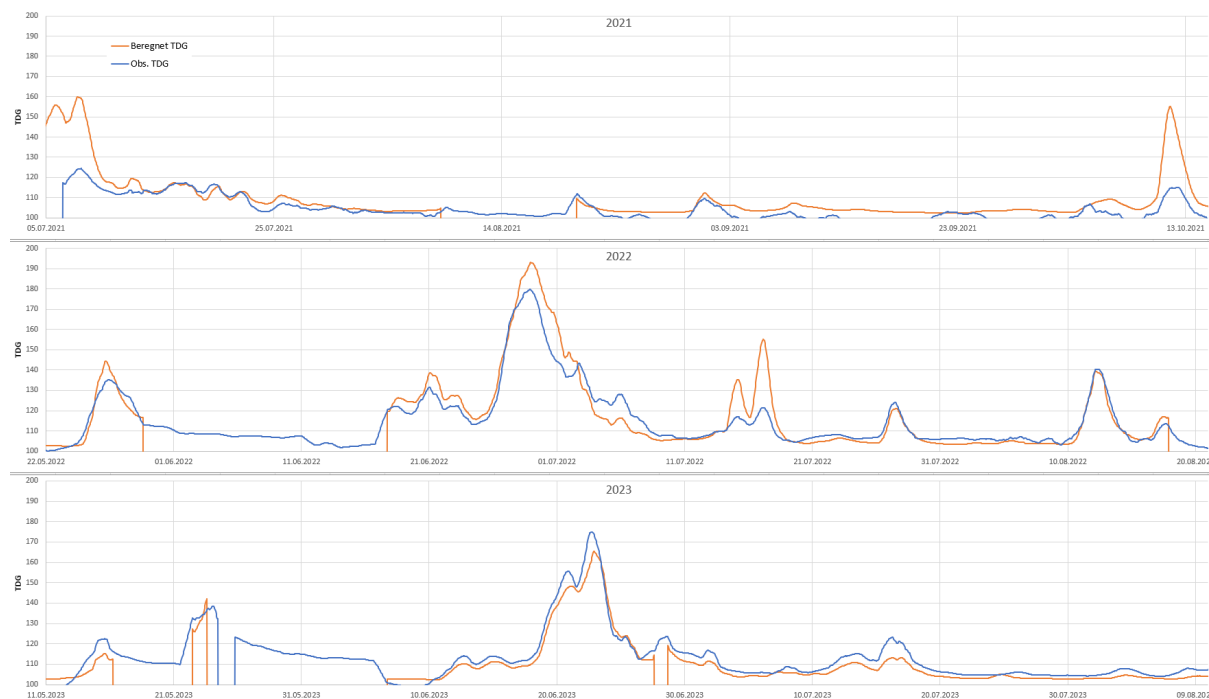


### 3.2 Resultater

Modellen har til hensikt å predikere TDG i vår, sommer og høst. Vintersituasjon gir ofte <100 % TDG, og det er ikke formålstjenlig at modellen skal representere disse situasjonene. Modellen kalibreres primært visuelt, men kalibreringsytelse måles med snittet av R-kvadrat for 5 ulike representative perioder.

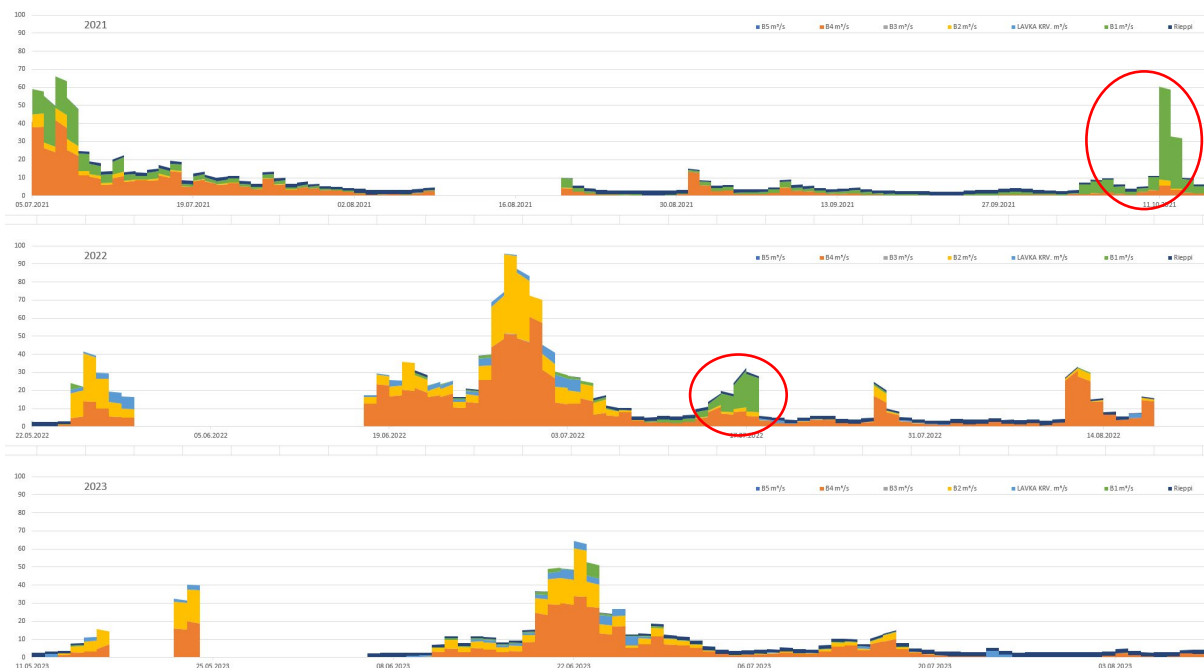
Modellen viser seg å ha utfordringer med å modellere *både* seinsommer og vårflokk på en tilfredsstillende måte. Seinsommer ble konsekvent underestimert. Dette ledet til hypotesen om at gassholdig vatn fra bekkeinntakene (spesielt B1, og samtlige bekkeinntak når det er opphør i kraftproduksjonen) går til mellomlagring i Rihpojávri magasin før det tappes tilbake til kraftverket noen uker seinere. For å tilnærme så er det innført en egen parameter «bakgrunnsmetning Rihpojávri magasin» som definerer magasin vannet til å holde en konsentrasjon >100 % som default. Denne tilnærminga gir forbedrede resultater.

Det er oppnådd modellresultat med  $R^2 = 0,84$ . Dette er ikke forbløffende godt treff, men det spørs om modellen er begrenset av sine egne forenklinger og at inndataene (vannføringene) må forbedres. Til formålet i denne omgang tror jeg vi kan gå ut fra at modellen vil representere fysikken i vannveien på en tilstrekkelig måte.

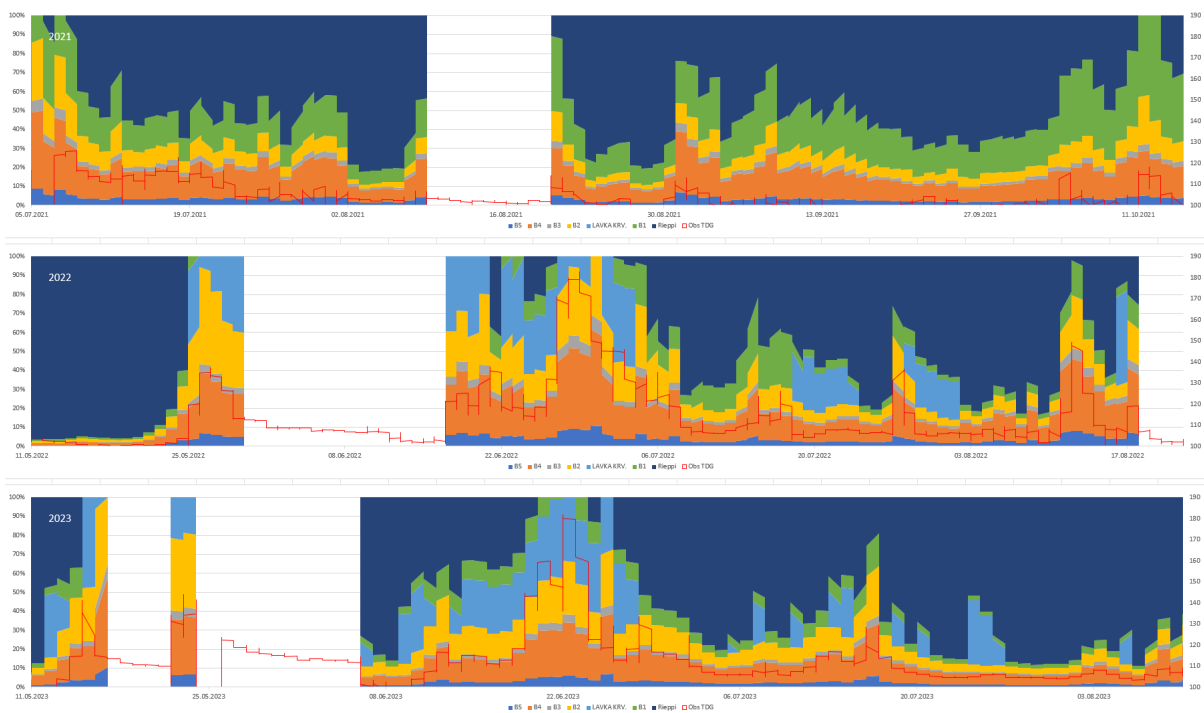


Blå kurve er observert TDG og rød kurve er simulert TDG. Begge kurvene er midlet over 24 timer.

Det er flere spikere (okt. 2021 og juli 2022) som modelleres, men ikke observeres. Fra kildeanalysen kan disse spores tilbake til bekkeinntak B1 (se innringet på figur under), så det synes som om B1 i disse situasjonene har en flomtopp som ikke er riktig beskrevet i vannføringsseriene. Trolig skyldes dette feilaktig vannstandsinstansering og dertil overløpsberegning ved Lávkejávri magasin. Under vises de enkelte kildenes bidrag til den samlede gassmetning. Merk at vertikal skala er % overmetning.



Der figuren over viser hver kildes bidrag til total TDG så vises under sammensetninga av avløpsvannet i de samme periodene (rød strek er observert TDG). Som det fremgår så er det i perioder hvor hele turbinvannføringa kommer udelt fra B4 og B2 at gassmetningen er på sitt høyeste.



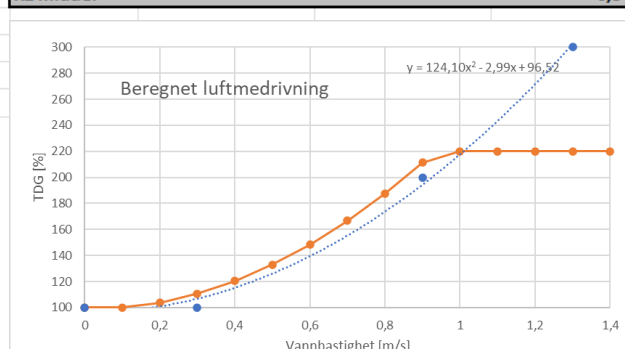




Endelig parametersett er:

Luftmedrivning $y=ax^2+b+c$	
a	140
b	0
c	98
max	220 %
Sjaktvernsnitt	
B5	9 m <sup>2</sup>
B4	4 m <sup>2</sup>
B3	5 m <sup>2</sup>
B2	6 m <sup>2</sup>
L	20 m <sup>2</sup>
B1	7 m <sup>2</sup>
<b>Rihpojávri bakgrunnsmetning</b>	<b>103 %</b>

Kalibreringsytelse			
Periode	Fra	Til	R <sup>2</sup> ytelse
2023 vår	06.06.2023 18:00	27.06.2023 15:00	0,96
2023 høst	30.06.2023 18:00	12.08.2023 00:00	0,86
2022 vår	19.06.2022 00:00	08.07.2022 00:00	0,86
2022 høst	21.07.2022 00:00	17.08.2022 21:00	0,70
2021 høst	10.07.2021 00:00	07.08.2021 00:00	0,80
<b>R2 middel</b>			<b>0,84</b>



Kalibrert luftmedrivning er vist i figur til høyre; sågar også utgangspunktet fra Bekkeinntakshåndboken.

#### 4. Dynamisk modellering

Flow Design Bureau har gjort forsøk på å etablere en dynamisk modell i en software designet for stabilitetsanalyse av svingninger i vannvei. Her er vannveien modellert med lengder, volumer og tverrsnitt. Tilslutt er lagt til hvert enkelt inntak og hver kubikk med vatn kan spores igjennom hele modellen. Intensjonen har vært å klare å spore kraftverkets avløpssammensetning på samme måte som den statiske modellen, men samtidig kunne modellere konsekvensen av effektendringer og stanser i kraftverket, dvs. kunne spore eventuelle vannpakker i vannveien med høy gasskonsentrasjon.

Foreløpig har det vist seg vanskelig å modellere lengre tidsserier vha. denne modellen, for den er svært ressurskrevende. Modellen klarer heller ikke uten videre å predikere TDG, men vil kun gi resultatet som %-andel fra hvert enkelt bekkeinntak.

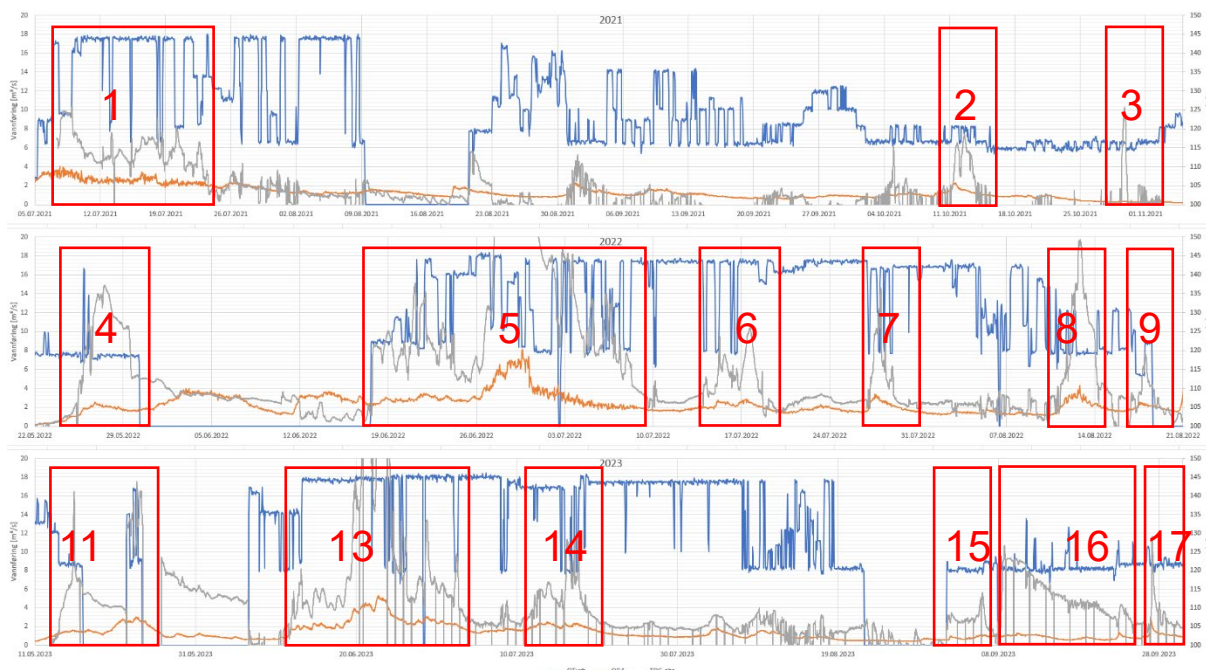
Endelige resultater fra denne dynamiske modellen må rapporteres på et seinere tidspunkt.



## 5. Identifiserte hendelser

### 5.1 Identifisering av hendelser

Norce har identifisert 16 hendelser som er vurdert å ha skadepotensiale av betydning i perioden 2021-23. Disse er ringa inn på figuren under. I tillegg til TDG referert høyre akse (grå = avløpet, oransje = Avfallsservice), så er turbinvannføring og tilsig B4 vist.



### 5.2 Overordna oppsummering

Årsaksbildet kan i overordna trekk knyttes til følgende forhold

i) Høyt tilsig til bekkeinntakene

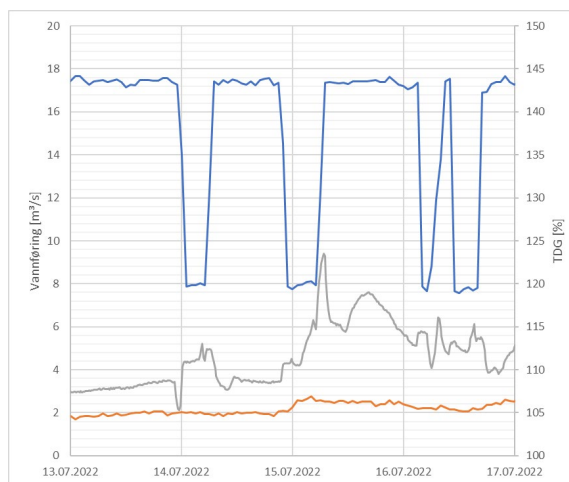
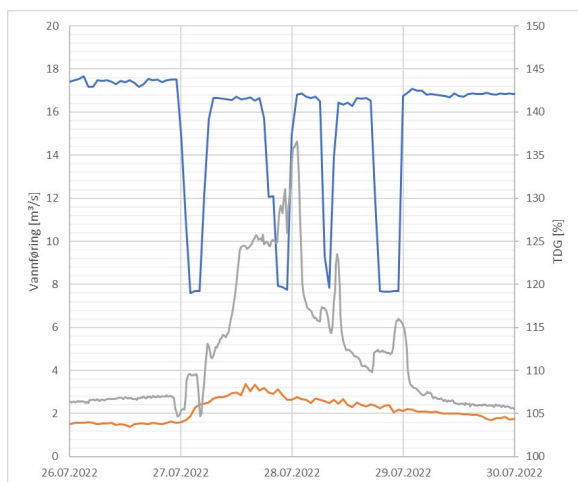
Dette er hovedårsaken til gassmetning ved Skibotn kraftverk og nær sagt betingelsen for at gassmetning skal oppstå. Drøfta ytterligere i øvrige kapittel.

ii) Kraftverket opererer på antatt verstpunkt 45 MW

Ref kap 2.2 så produserer kraftverket maksimal gassmetning når det opereres på lav/moderat last.

iii) Lastregulering/effektendring

Ved lastendringer (i hovedsak ved oppregulering) man kan komme i en situasjon at den høye gasskonsentrasjonen som har stabilisert seg i vannveien fra lavlastkjøringa forut kjøres ut i høy hastighet den første timen etter oppregulering. Dette innebærer at det oppstår en kortvarig høykonsentrasjonssituasjon i vassdraget. Motsatt effekt oppnås ved nedregulering. Situasjonen er ikke langvarig, men toppen kan være høy. Eksempel på slike spikre under.



iv) Uheldig samsvar med restfeltet (lav restvannføring)

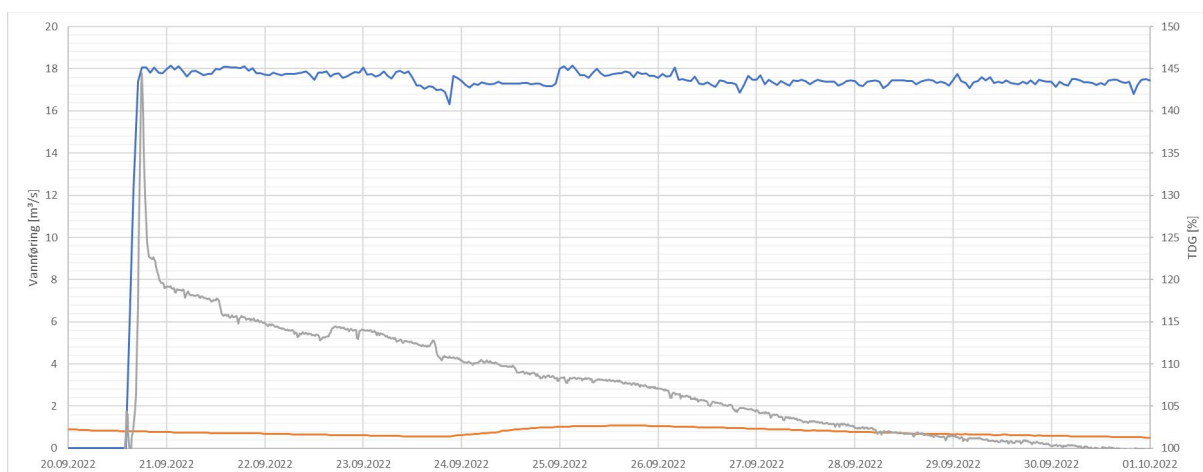
Situasjoner hvor det mates mye gassmettet vatn ut i et vassdrag hvor kraftverket utgjør en stor andel av vannføringen. Lite fortytning.

v) Oppstart etter stans

Dette er en underart av (iii) og (iv), at det er reindyrka noen høykonsentrasjonsbobler av vatn som har ligget lagret i tilløpstunnelen siden en flomhendelse noen dager i forveien. Ved oppstart av kraftverket (særlig på fullast) kan dette forårsake høye gass-topper som *ikke* treffer vassdraget samtidig med restfeltets kulminering siden det er en tidsforsinkelse mellom luftmedrivningen og kraftproduksjonen. Situasjonen kan gi høye spikre, men sjelden av varighet lengre enn 4 timer (må kontrolleres).

vi) Oppstart etter nedtapping

Ved oppfylling av vannveiene etter at de har vært nedtappet for drift og vedlikehold så oppstår det luftlommer i høybrekk i tilløpstunnelen. Lufta har ingen plass å evakuere annet enn å løses opp i vatnet og produseres ut gjennom turbinen.



Dette gjelder hendelse 10 spesifikt. Også hendelse 15 kan imidlertid være disponert for det samme, men i mindre grad for da var det kun trykksjakta som var nedtappa og der er det kun plass til små luftlommer under taket.



For hendelse 10 reflekteres følgende:

- Høy spiker 2 ½ timers varighet 145 % i oppstarten. Det skyldes trolig at stillestående vatn ved luftpute trykksatt til 6 bars trykk har blitt supermettet i dagene etter oppfylling men før oppstart. Varigheten på spikeren kan stemme høvelig bra med tida kraftverket bruker på å kjøre ut vannet fra den aktuelle luftputesonen.
- Deretter en 11 dager lang hale avtakende fra 122 til 100 %. Trolig at luftputa gradvis løses opp i vannet og kjøres ut. Etter hvert som luftputa reduseres i volum så vil også overflatearealet reduseres og derfor går metningen i vannet ned.
- Turbinvannføringen var stabil 17,5 m<sup>3</sup>/s i hele perioden. Jeg tipper at lavere last ville gitt øket TDG siden vannhastigheten forbi boblene blir saktere og luftutvekslingen blir lengre for hver m<sup>3</sup> vatn.
- Restvannføringen var på tidspunktet 18,5 m<sup>3</sup>/s.
  - Dette ga utblandet metning nedstrøms kraftverket på 124 % etter spikeren og 113 % i starten av halen.
  - Dersom restvannføringen hadde vært 7 m<sup>3</sup>/s så ville utblandet metning økt til 134 % etter spikeren og 118 % i starten av halen.
  - Høy restvannføring kan med andre ord ha vært med på å redusere skadeligheten av hendelsen betraktelig.

Problemstillingen med gassmetning etter nedtapping gjelder for øvrig alle kraftverk med francisturbiner, uavhengig av om de har bekkeinntak eller ikke.

### 5.3 Detaljer om hendelsene

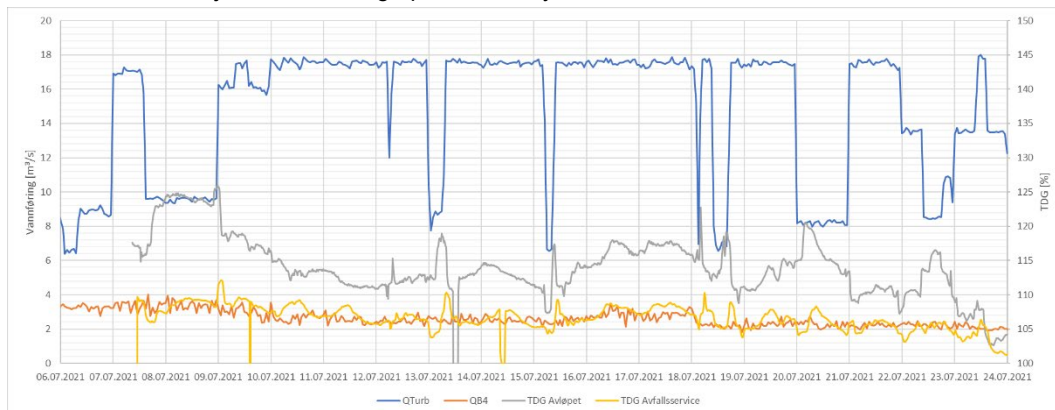
Følgende hendelser er registrert. De evalueres fortløpende:

Nr	Tid (h)	Dato	Tilslig bekkeinntak	Oppstart etter stans	Lav-lastkjøring	Last-regulering	Uheldig samsvar med restfelt	Oppstart etter nedtapping
1	374	7/7 – 21	x			x		
2	47	11/10 – 21	x					
3	12	29/10 – 21						
4	174	25/5 – 22						
5	503	17/6 – 22	x					
6	91	14/7 – 22	x		x	x		
7	44	26/7 – 22	x		x	x		
8	91	11/8 – 22	x					
9	22	17/8 – 22	x		x			
10	89	20/9 – 22					x	x
11	181	13/5 – 23	x		x			
12	364	22/5 – 23	x	x				
13	499	10/6 – 23	x	28/6	2/7	x		
14	158	11/7 – 23	x		x	x		
15	292	07/9 – 23	?	?	?			
16	26	26/9 – 23	x		x		x	



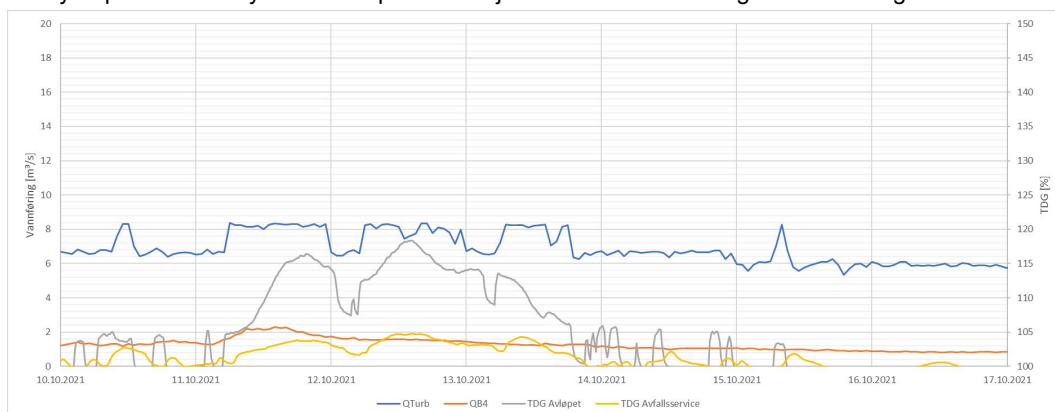
- Hendelse 1 (7. juli 2021)

Tilslig 3,5 m<sup>3</sup>/s i kombinasjon med 9,5 m<sup>3</sup>/s turbQ. Høy restvannføring. Dette var i starten av instrumenteringsfasen; bølgen hadde trolig vart en stund forut for oppstart logging. Indikasjon på at jevn 45MW ikke nødvendigvis gir en høy tynna konsentrasjon i elva, men at det er *lastendringene* i seg selv som forårsaker skade ved at man kjører ut kortvarige pulser av høykonsentrert vann i.



- Hendelse 2 (11. okt. 2021)

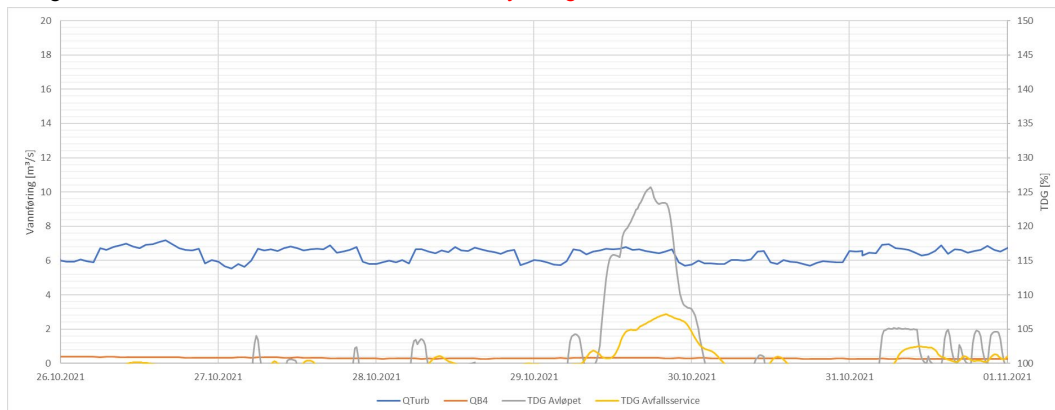
Tilslig 2 m<sup>3</sup>/s, turbQ 8 m<sup>3</sup>s. **Andre topp er vanskelig å forklare**, da er tilsliget på retur, men de statiske analysene kan tyde på at dette skyldes overløp fra Låvkajávri som ledes til B1 og luftmedrivning der.



- Hendelse 3 (29. okt. 2021)

Gassmetningstopp 15 timer kulminerer på 130 % uten noe forklaring!

Tilslig 0,4 m<sup>3</sup>/s, turbQ 6,5 m<sup>3</sup>s. **Må etterforskes ytterligere?**

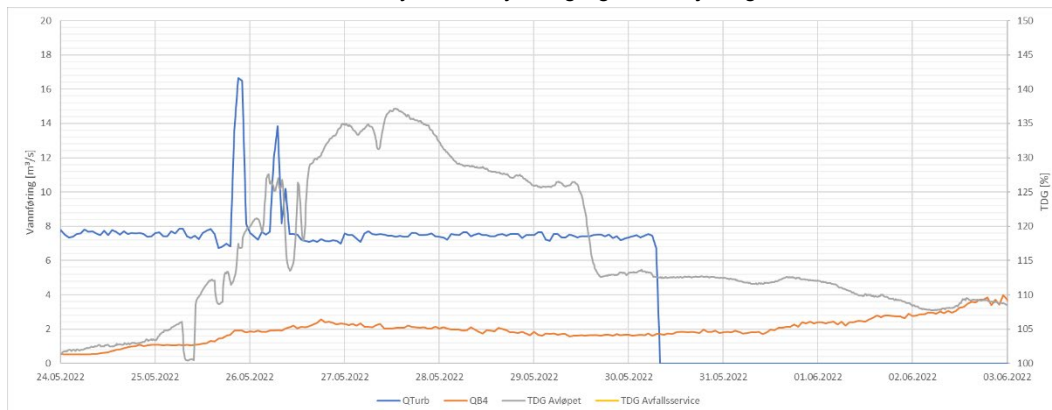




- Hendelse 4 (25. mai 2022)

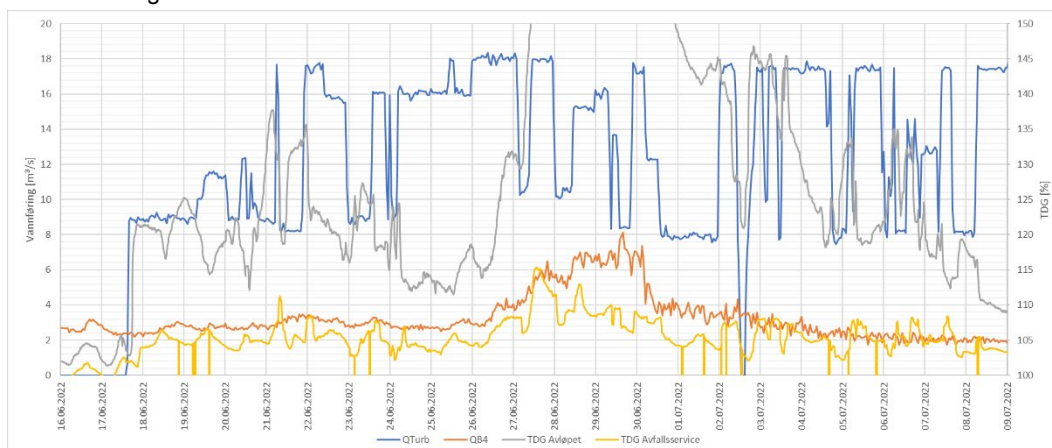
Tilslig økende til 2,5 m<sup>3</sup>/s, turbQ 7,5 m<sup>3</sup>/s.

Pussig respons: Det kan se ut til at det har skjedd en ca 12 timers forskyvelse mellom dataseriene, for de ventede effektene på TDG kommer *før* lastendring. Dette gjelder både høylasttimene 25/5 og avslaget 30/5. Korrigeret for dette antatte avviket er hendelsen knyttet til høyt tilslig og lavlastkjøring.



- Hendelse 5 (17. juni 2022)

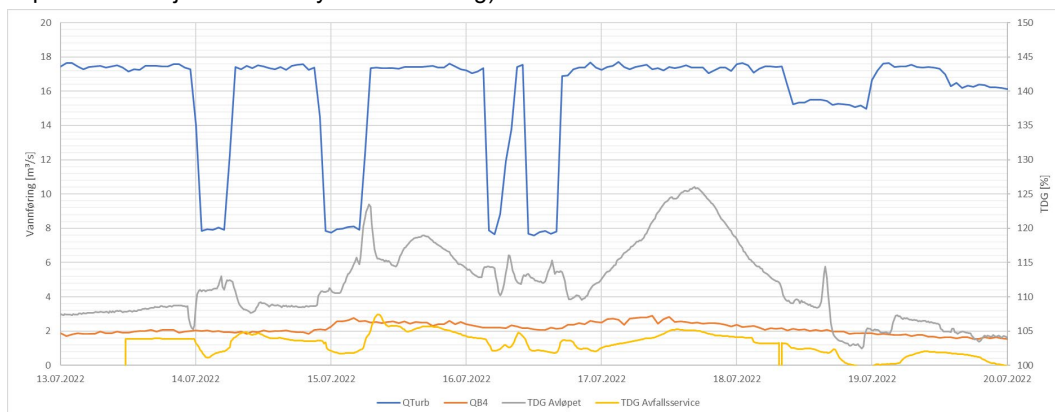
Vårflommen. Oppstart etter stans (3 m<sup>3</sup>/s forut) gir *ikke* uforholdsmessig gassmetning. Ellers stort tilslig og høy restvannføring. Ekstremverdier.





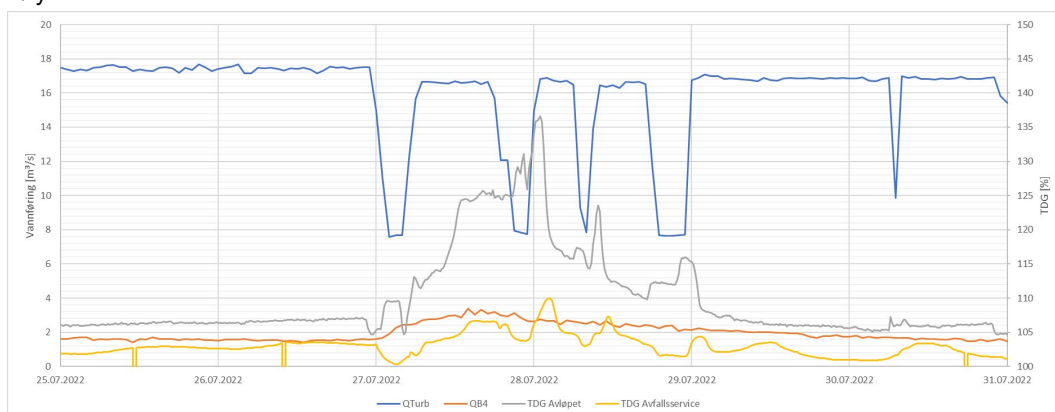
- **Hendelse 6 (14. juli 2022)**

Tilslig 2,8 m<sup>3</sup>/s og en midlertidig lastreduksjon fra 17,5 til 8 m<sup>3</sup>/s med påfølgende kortvarig TDG-spiker like før restfeltet økte. NB: de to første lastreduksjonene natt til 14/7 og natt til 15/7 viser for øvrig hvordan totalmetningen ved Avfallsservice *reduseres* ved lastreduksjon selv om gassmetninga i avløpsvannet *øker* (slik som beregnet i kap. 2.3 i situasjoner med høy restvannføring).



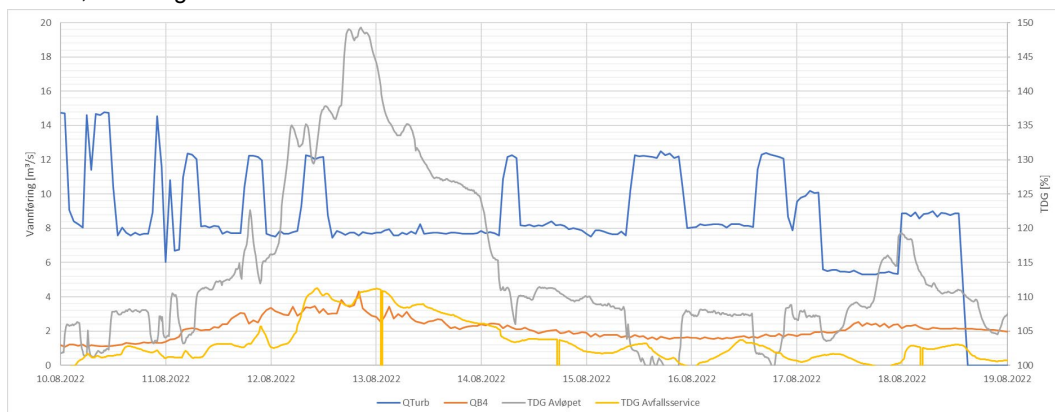
- **Hendelse 7 (26. juli 2022)**

Tilslig 3 m<sup>3</sup>/s. TurbQ 17 m<sup>3</sup>/s, men med fire sekvenser av nedregulering til 8 m<sup>3</sup>/s. Selve nedreguleringen gir høyere TDG i avløpet, men lavere TDG i elva. Selve toppen 28/7 kl 01 er en følge av oppregulering fra lavlast til høylast.



- **Hendelse 8 (11. august 2022)**

Flom 3,5 m<sup>3</sup>/s og 8 m<sup>3</sup>/s turbQ





- Hendelse 9 (17. august 2022)

Tilslig 2,5 m<sup>3</sup>/s og turbQ 5,5-9,0 m<sup>3</sup>/s.

Se figur over.

- Hendelse 10 (20. sept. 2022)

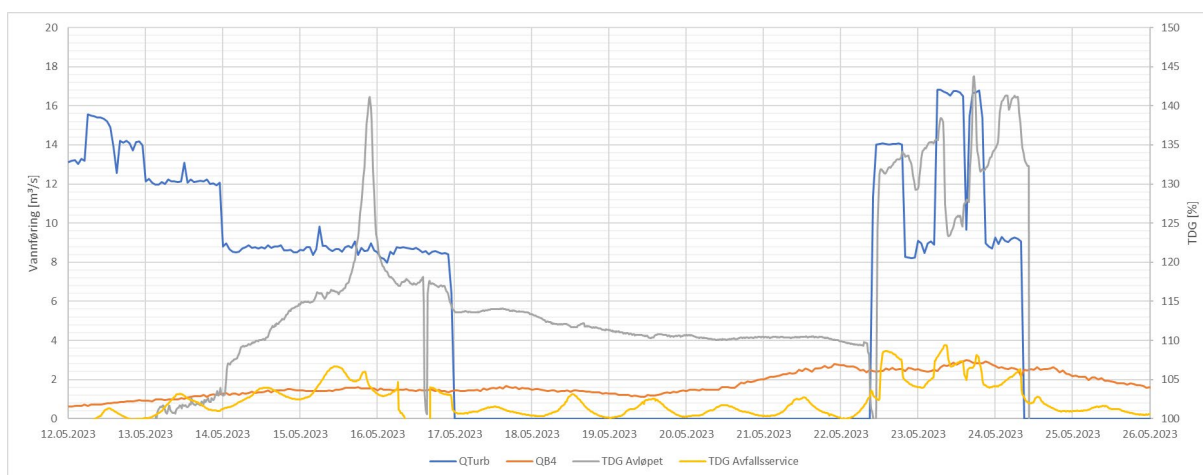
Oppstart etter nedtappet vannvei og lengre revisjon.

Se mer detaljert beskrivelse i kapittel 5.2 punkt vi)

- Hendelse 11 (13. mai 2023)

Økende tilslig til B4 (1,5 m<sup>3</sup>/s, B4) i kombinasjon med 45 MW på maskina.

En **uforklarlig** spiker på målingene fra kraftverket (140 %) uten at jeg klarer å finne igjen den forventede responsen på Avfallsservice. **Målefeil?**



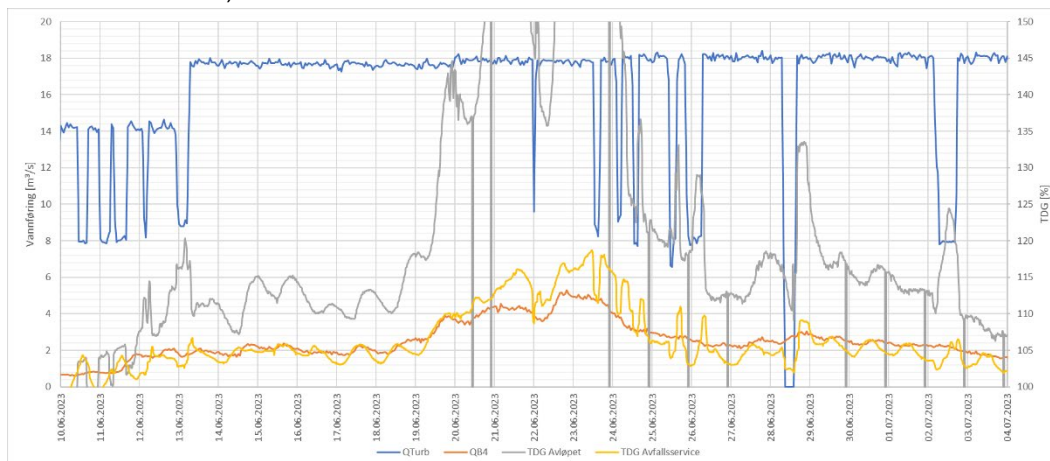
- Hendelse 12 (22. mai 2023)

Oppstart etter stans under flommen. Akkumulert høykonsentrat i tunnelene. Tilslig til B4 2,5 m<sup>3</sup>/s forut for og igjennom sekvensen. Flom fra restfeltet demper effekten betraktelig. Se figur over.

- Hendelse 13 (10. juni 2023)

Høyt tilslig 4-5 m<sup>3</sup>/s til B4 kombinert med makslast. Høy restvannføring.

Noen enkelttimer er kjørt lavt, det gir uheldige spikere ved pålasting (kunne redusert flere spikere med opptil 5 % ved å unngå lavlasttimene). En situasjon med oppstart etter en kortere stans gir 15-20 % forøket TDG i avløpet (3 % ved Avfallsservice)

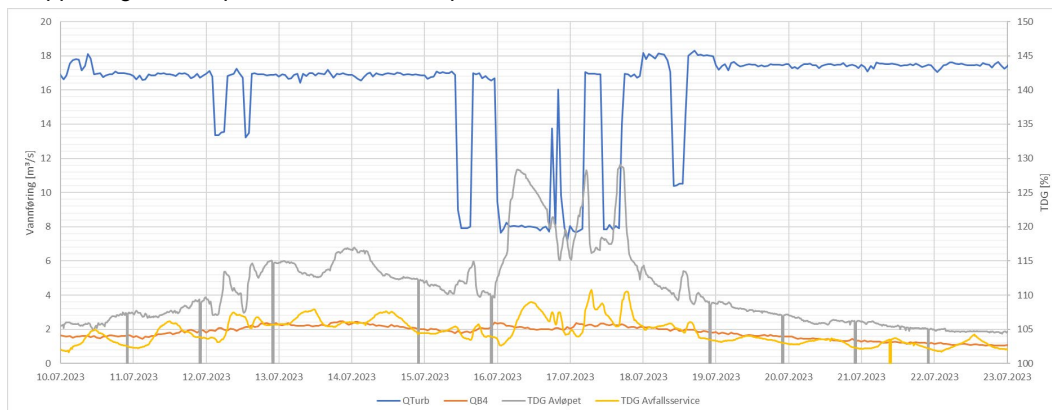






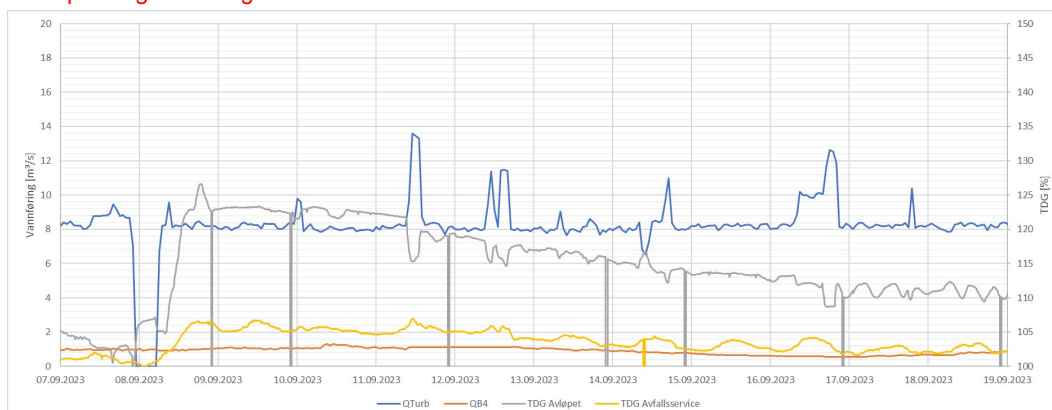
- Hendelse 14 (11. juli 2023)

Tilsig 2 m<sup>3</sup>/s til B4, men relativt lavt tilsig fra restfelt. Kjører jevnt høy last, men med noen dropp til 45 MW. Droppene gir TDG-spikre noen timer etterpå.



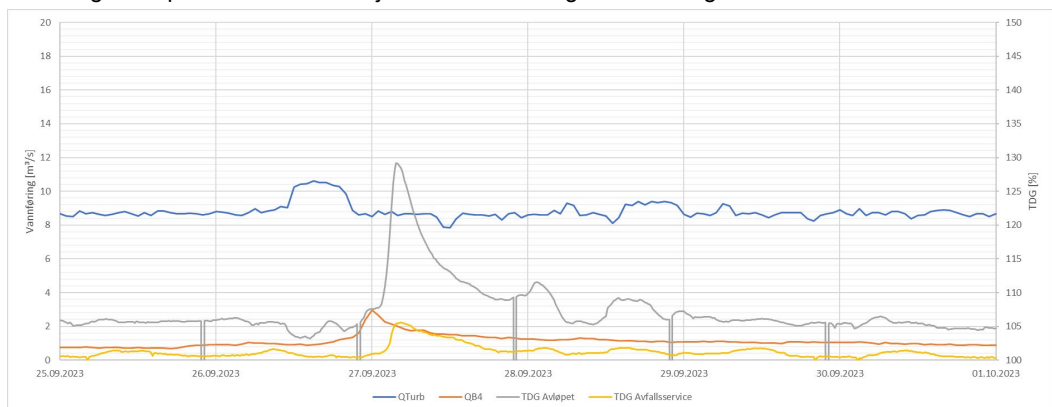
- Hendelse 15 (7. sept. 2023)

Tilsig 1 m<sup>3</sup>/s høvelig jevnt, men slightly økende til 1,3 m<sup>3</sup>/s når gassmetning peaker. Kraftverk jevnt på 35 MW, men en kort stans 6 timer like forut for TDG-toppen. Akkurat peaken er litt uforklarlig; kan det være at vi har passert en grenseverdi på 1 m<sup>3</sup>/s eller er det stoppen som har forårsaket forhøyet metning i 3 døgn? **Har ikke noen pålitelig forklaring av dette forholdet.**



- Hendelse 16 (26. sept. 2023)

Kortvarig flomspiker B4 i kombinasjon med 35 MW og lavt resttilsig.





## 6. Konklusjon

### 6.1 Kilde

Det produseres gassmetning fra bekkeinntakene B4, B2 og B1. Bidraget fra B1 er imidlertid begrenset siden dette inntaket i mange situasjoner sendes til magasinering i Rihpojávri. Bidraget fra B1 kan imidlertid være stort i situasjoner hvor Lávka kraftverk ikke er i drift og Lávkejávri er i overløp. Det kan ikke utelukkes at de små inntakene B5 og B3 også trekker luft i visse situasjoner, men omfanget er begrenset.

Instrumenteringen har avdekket at det også skapes gassmetning i oppstartssituasjoner etter at vannveien har vært nedtappet. Dette som følge av innestengte luftlommer i tunnelen som trykkeses ved oppfylling. Denne prosessen er ikke eksklusiv for Skibotn, men vi må forvente at samme prosess kan gjøre seg gjeldende ved alle kraftverk med høybrekk i vannveien og lukket turbin.

Det er etablert prognoseverktøy som i svært grove trekk beregner gassmetning som funksjon av tilsig til B4 og turbinvannføring.

Modelleringen indikerer at det kan forekomme marginal luftmedrivning også i avløpstunnelen fra Lávka kraftverk. I tillegg er det tegn på at gassmettet vatn kan mellomlagres i Rihpojávri før det suges tilbake til vannveien på et seinere tidspunkt.

### 6.2 Avbøtende tiltak

Følgende har vært omhandlet i kapitlene ovenfor.

1. Det produseres høyere gassmetning ved lavlast enn ved høylast. Hard kraftverkskjøring kan derfor bidra til å redusere avløpsvannets konsentrasjon. I situasjoner med lav restvannføring vil økning til høylast innebære en reduksjon i gassmetningen i elva. I situasjoner med høy restvannføring vil lavlastkjøring gi lavest konsentrasjoner i elva. Lavlastkjøring vil imidlertid innebære forøket TDG langs venstre elvebredd nærmest utløpet; Norce må vurdere om dette er ugunstig.
2. Dersom Lávka kraftverk er tilgjengelig så vil det trolig være gunstig å kjøre både Skibotn og Lávka på fullast; dette innebærer at TDG i Skibotnelva tynnes ut med Lavkavann.
3. En må være varsom med stans i gassmetningssesongen siden dette kan reindyrke høykonsentrasjonsvann fra B2/B4 i deler av tunnelstrekningen. Ved oppstart kan det komme en kortere 1-4 timers TDG-peak i avløpet. Vær spesielt oppmerksom ved oppstart til fullast siden fullastkjøring innebærer begrenset tynningseffekt i elva.
4. Tilsvarende vil også oppregulering fra lavlast til høylast innebære risiko for en kortvarig (<1 time) peak i TDG. Mekanismen er den samme som ved stans.