

Nr 63/2019

Styringssystem for omløpsventilar

.....

Eirik Vee Natvik og Kjetil Arne Vaskinn (SWECO)



Ekstern rapport nr 63-2019

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Jan Henning L'Abée-Lund

Trykk: NVEs hustrykkeri

Forsidefoto: Eirik Vee Natvik

ISBN: 978-82-410-1926-5

Sammendrag: Med grunnlagsdata frå drift av fire små kraftverk er det laga eit generelt styringsverktøy for alle kraftverk med omløpsventil. Kravet er at vasstanden nedstraums kraftverket ikkje skal være raskare enn 10 cm/t. Denne rapporten presenterer valideringsforsøk på fire kraftverk av den teoretiske modellen. Resultata er gode der programmeringa er gjort korrekt og nytta grunnlagsdata er av god kvalitet.

Emneord: Omløpsventil, styringssystem, styringsverktøy, drift, småkraft

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Epost: nve@nve.no
Internett: www.nve.no

September 2019

FORORD

For å kunne gi konsesjon til vannkraftverk som ligger oppstrøms verdifulle elvestrekninger for fisk, setter Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) normalt krav om installering av omløpsventil. Denne skal åpne seg hvis kraftverket stopper brått. Den skal sørge for at vannføringen i elva nedstrøms kraftverket reduseres gradvis og over så lang tid at man unngår at fisk blir liggende på tørt land.

Målet med dette FoU-prosjektet har vært å utvikle et styringsverktøy for omløpsventiler og teste verktøyet på kraftverk med installert omløpsventil. Styringsverktøyet er basert på resultatene fra FoU-prosjektet; *Optimalisert drift av omløpsventiler (NVE 2017-83)*. SWECO AS har gjennomført begge prosjektene for NVE. I denne rapporten presenteres resultatene fra testingen av styringsverktøyet. Rapporten er skrevet av SWECO AS som står ansvarlig for konklusjonene.

Oslo, september 2019



Ingunn Åsgard Bendiksen
direktør



Mari Hegg Gundersen
seksjonssjef

RAPPORT

Styringsystem for omløpsventilar



Kunde: Norges vassdrags- og energidirektorat

Prosjekt: Styring av omløpsventilar

Prosjektnummer: 10204589

Dokumentnummer: 10204589

Rev.: 00

Samandrag:

Som oppfølging av prosjektet «Styring av omløpsventiler» har Sweco fått i oppdrag av NVE å utvikla eit nytt styringsverktøy som skal fungera for alle kraftverk med omløpsventilar. Krava som skal tilfredsstillast er at synkehastigheita i elveløpet ikkje skal overstiga 10 cm/t og at momentane dropp i vasstand på over 3 cm ikkje skal skje. Styringsverktøyet må også vera lett å forstå for kraftverkseigarar, og det må vera enkelt for NVE å kunna kontrollera at omløpsventilen har den funksjonen han er tiltenkt å ha i ettertid. For å sikra eit verktøy som er enkelt å implementera på både nye og eksisterande kraftverk vart det valt å vidareutvikla eit teoretisk forslag frå det førre prosjektet, med opning for at styring mot vasstandsloggar også bør vera mogleg. Kontroll ved bruk av nedstraums vasstandsloggar og stopp av kraftverk kan gjerast uavhengig av kva metode som er lagt til grunn i programmeringa. Det er gjort valideringsforsøk på fire kraftverk av den teoretiske metoden. Resultata er gode der programmeringa er gjort korrekt og nytta grunnlagsdata er av god kvalitet. I dei tilfella programmering ikkje er gjort i tråd med anbefalinga eller grunnlagsdata er dårlege, er resultata frå valideringsforsøka ikkje gode. Den utvikla metoden vert tilrådd brukt vidare. Det vert også tilrådd oppfølgande valideringsforsøk grunna problema som oppstod ved fleire av forsøka i denne testrunden.

Rapporteringsstatus:

- Endeleg
- Oversending for kommentar
- Utkast

| | |
|---|--|
| Utarbeidd av: Eirik Vee Natvik | Sign.: |
| Kontrollert av: Kjetil Arne Vaskinn | Sign.: |
| Prosjektleder: Eirik Vee Natvik | Prosjekteigar: Wolf Marchand |

Revisjonshistorikk:

| Rev. | Dato | Skildring | Utarbeidd av | Kontrollert av |
|------|------|-----------|--------------|----------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Innhald

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Innleiing | 5 |
| 2 | Utvikling av nye reglar for styring av omløpsventilar | 6 |
| 2.1 | Oppsummering av tidlegare arbeid | 6 |
| 2.2 | Val av konsept | 7 |
| 2.3 | Metode 1 a – Anbefalt kurve | 7 |
| 2.4 | Metode 1 b – Kurve tilpassa kraftverket | 10 |
| 2.5 | Metode 2 – Smartsystem med maskinlæring | 11 |
| 2.6 | Forslag til reglar for styring av omløpsventilar | 11 |
| 3 | Verifisering av utvikla styringsverktøy | 15 |
| 3.1 | Skildring av kraftverk | 16 |
| 3.1.1 | Kraftverk 1 – Skyggeelva | 16 |
| 3.1.2 | Kraftverk 2 – Kvamselva | 17 |
| 3.1.3 | Kraftverk 3 – Knutfoss | 17 |
| 3.1.4 | Kraftverk 4 – Tua | 18 |
| 3.2 | Metodikk | 18 |
| 3.2.1 | Nytta utstyr | 18 |
| 3.2.2 | Arbeid før feltarbeid | 18 |
| 3.2.3 | Føresetnader for valideringsforsøk | 19 |
| 3.2.4 | Feltarbeid | 19 |
| 3.3 | Resultat og analyse | 20 |
| 3.3.1 | Kraftverk 1 – Skyggeelva | 20 |
| 3.3.2 | Kraftverk 2 – Kvamselva | 21 |
| 3.3.3 | Kraftverk 3 – Knutfoss | 22 |
| 3.3.4 | Kraftverk 4 – Tua | 23 |
| 3.3.5 | Generelle observasjonar og betraktningar | 24 |
| 4 | Konklusjon | 25 |
| 4.1 | Reglar for styring av omløpsventilar | 25 |
| 4.2 | Vidare arbeid | 25 |
| 5 | Referansar | 26 |

Vedleggliste

- Vedlegg 1 – Retningslinjer sendt til kraftverk
- Vedlegg 2 – Teoretisk utrekna nedstenging av omløpsventilar
- Vedlegg 3 – Kart over loggarplasseringar ved feltforsøk
- Vedlegg 4 – Rådata frå loggarar (elektronisk)
- Vedlegg 5 – Bilete og filmar (elektronisk)

Figurliste

| | |
|---|----|
| Figur 1 Samanheng vasstand – vassføring nedstraums utløp kraftverk (Sweco, 2017) | 6 |
| Figur 2 Vasstand-vassføringskurver frå Hydra II. Utvalde data er frå 2016 og 2017. | 9 |
| Figur 3 Samanheng vasstand – vassføring nedstraums utløp kraftverk (Sweco, 2017) | 13 |
| Figur 4 Oversikt over kraftverk 1 (NVE Atlas) | 15 |
| Figur 5 Oversikt over kraftverk 2 (NVE Atlas) | 16 |
| Figur 6 Resultat valideringsforsøk Skyggeelva | 20 |
| Figur 7 Resultat valideringsforsøk Kvamselva | 21 |
| Figur 8 Resultat valideringsforsøk Knutfoss | 22 |
| Figur 9 Resultat valideringsforsøk Tua | 23 |

Tabelliste

| | |
|---|----|
| Tabell 1 Minste endring i vassføring som gir endring i vasstand på 3 cm. Verdiar henta frå Hydra II-databasen. | 9 |
| Tabell 2 Kraftverksdata Skyggeelva | 16 |
| Tabell 3 Kraftverksdata Kvamselva | 17 |
| Tabell 4 Kraftverksdata Knutfoss | 17 |
| Tabell 5 Kraftverksdata Tua | 18 |

1 Innleiing

Rapporten «Optimalisert drift av omløpsventiler» (Sweco, 2017) slår fast at omløpsventilar ved norske småkraftverk i mange tilfelle ikkje fungerer etter intensjonen. Som ei vidareføring av dette arbeidet ynskjer NVE difor å utvikla ei retningslinje som skildrar korleis omløpsventilar kan styrast på ein trygg måte, slik at hovudføremålet til omløpsventilane med å unngå at fisk strandar på elvebreiddene blir ivaretatt.

Sweco har difor fått i oppgåve å:

1. På bakgrunn av funna i 2016 laga eit styringsverktøy for alle omløpsventilar.
2. Validera styringsverktøyet ved å testa det på eit par kraftverk med omløpsventil som har ein annan karakteristikk enn dei fem som vart testa i første rapport (t.d. større/mindre fall, anna hydrologisk regime).
3. Om naudsynt modifisera styringsverktøyet.

Styringsverktøyet må også vera lett å forstå for kraftverkseigarar, og det må vera enkelt for NVE å kunna kontrollera at omløpsventilen har den funksjonen han er tiltenkt å ha i ettertid.

2 Utvikling av nye regler for styring av omløpsventilar

2.1 Oppsummering av tidlegare arbeid

Sweco (2017) foreslår tre metodar for regulering av omløpsventilen:

1. Regulering mot vasspegel i elva
 - Styring av omløpsventil direkte mot data frå målestasjon
2. Regulering mot vassføring gjennom kraftverket
 - Regulering av vassføring gjennom omløpsventil basert på følgende formel:

$$\Delta Q = \frac{\Delta h}{0,0248Q^{-0,69}} = \frac{0,1m \cdot \frac{1time}{60min}}{0,0248Q^{-0,69}} = 0,0672Q^{0,69} \left[\frac{l}{s} \right]$$

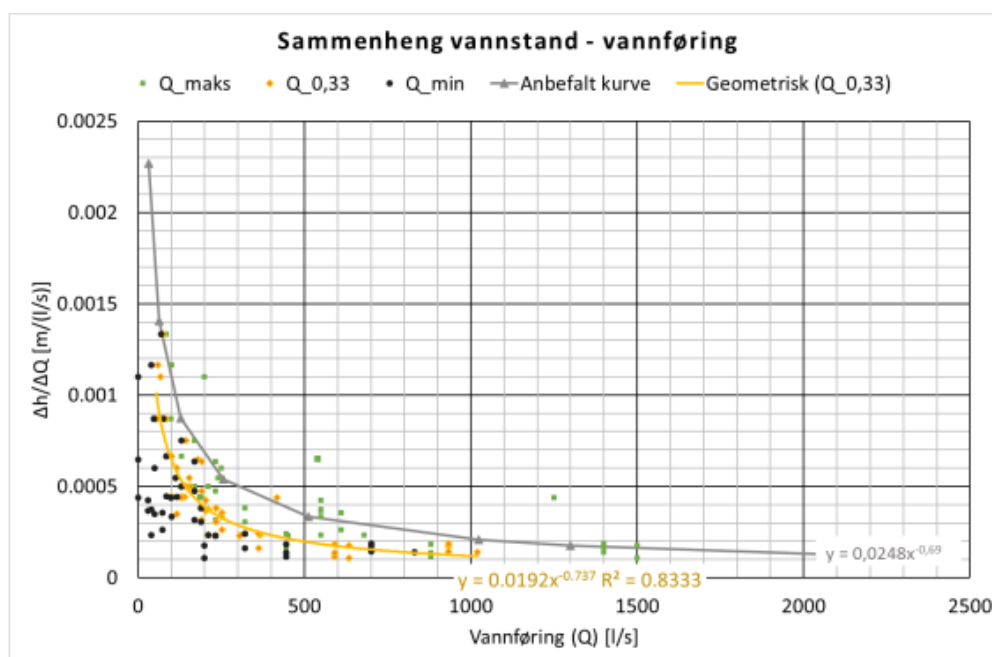
3. Billig metode for eksisterande kraftverk
 - Regulering av vassføring gjennom omløpsventil basert på følgende formel:

$$nedstegningstid = \frac{\Delta h}{10 \text{ cm/time}} * 10$$

Det blir også lista opp fordelar og ulemper med dei ulike metodane.

Alle metodane baserer seg på maksimal synkehastigheit på 10 cm/t. Rapporten nemner også at momentane dropp i vasstand på over 3 cm bør unngåast.

Formelen i metode 2 baserer seg på resultat frå feltforsøk på fem kraftverk og ei anbefalt kurve som er utarbeidd basert på dette. Figur 1 syner desse resultatata.



Figur 1 Samanheng vasstand – vassføring nedstraums utløp kraftverk (Sweco, 2017)

2.2 Val av konsept

Kriteria frå NVE for ny styringsrutine for omløpsventilar er at det må fungera for alle kraftverk med omløpsventil, vera lett å forstå for eigarar av kraftverk og at det må vera enkelt for NVE å kunna kontrollera at omløpsventilen har den funksjonen han er tiltenkt å ha i ettertid.

På bakgrunn av dette er metode 3 frå føregåande arbeid valt vekk, då dette er eit enkelt forslag meint for eksisterande kraftverk.

Det vart som hovudløysing valt å sjå vidare på metode 2 med styring etter teoretisk formel. Dette vart valt fordi dette er enkelt å implementera i eksisterande kraftverk, og vil vera ei både billeg og sikker løysing.

Metode 1 med styring etter målt vasstand vil truleg vera den sikraste løysinga, men krever mykje meir i form av oppretting og vedlikehald av målestasjon nedstraums kvart enkelt kraftverk. Sjølv om denne løysinga ikkje er jobba vidare med i dette arbeidet, er dette uansett å ansjå som ei god løysing for kraftverk vil nytta dette som utgangspunkt. Sjølv om metoden ikkje er valt som hovudløysing, er det likevel nemnt som ei mogleg løysing i dei føreslåtte retningslinjene.

Andre tilnærmingar til løysing av oppgåva er ikkje vurdert.

Uansett konsept vil kontroll kunna utførast på enkelt vis ved bruk av vasstandsloggar og måling av vasstand ved stopp av kraftverk maksimalt 100 meter nedstraums utløpet frå kraftverket i eit profil som er typisk for elveløpet.

Det er lagt opp til ei retningslinje der tre ulike metodar å styra omløpsventilen på, som alle tilfredsstillar krava som er lagt til grunn om maksimal synkehastigheit på 10 cm/t og maksimale momentane dropp i vasstand på 3 cm. Harby et. al. (2004) nemner at det i spesielle tilfelle kan vera fare for stranding av fisk ned mot 6 cm/t, men seier også at det ikkje alltid er mogleg å fullstendig eliminera strandingsfaren. Dette blir ikkje omtala av forslaget til retningslinjene, men er noko som eventuelt må vurderast i spesielle tilfelle av NVE. Alle dei utarbeidde forslaga kan enkelt tilpassast andre synkehastigheiter enn 10 cm/t.

2.3 Metode 1 a – Anbefalt kurve

Den anbefalte kurva i Figur 1 er utforma for å gi ei overestimering av vasstandsending som følge av vassføringsending, og vil difor gi ekstra tryggleik for at nedsenkingshastigheita ikkje blir for stor. Med utgangspunkt i den anbefalte kurva, og ei lita omskriving for å ta omsyn til at synkehastigheita ikkje skal overstiga 10 cm/t, så får ein følgjande samanheng mellom vassføring nedstraums utløpet til kraftverket og vassføringsending:

$$\frac{\Delta h}{\Delta Q} = 0,0248Q^{-0,69}$$

$$\Delta Q = \frac{\Delta h}{0,0248Q^{-0,69}}$$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\Delta h}{\Delta t} * \frac{1}{0,0248Q^{-0,69}}; \frac{\Delta h}{\Delta t} = 10 \text{ cm/t} = 0,1 \text{ m/t} = \frac{1}{600} \text{ m/min}$$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = 0,0672Q^{0,69} \left[\frac{l/s}{min} \right]$$

$$\Delta Q = 0,0672Q^{0,69}\Delta t \text{ [l/s]}$$

Ettersom Q er vassføringa nedstrøms kraftverket og omløpsventilen regulerer endringa i vassføring, kan formelen konkretiserast til:

$$\Delta Q_{\text{omløpsventil}} = 0,0672(Q_{\text{omløpsventil}} + Q_{\text{minstevassføring}})^{0,69}\Delta t \text{ [l/s]}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta Q_{\text{omløpsventil}}}{0,0672(Q_{\text{omløpsventil}} + Q_{\text{minstevassføring}})^{0,69}} \text{ [min]}$$

Her er:

Δt – Tidssteg mellom kvar endring i vassføring gjennom omløpsventilen [min]

$\Delta Q_{\text{omløpsventil}}$ – Endring i vassføring gjennom omløpsventil [l/s]

$Q_{\text{omløpsventil}}$ – Vassføring gjennom omløpsventilen [l/s]

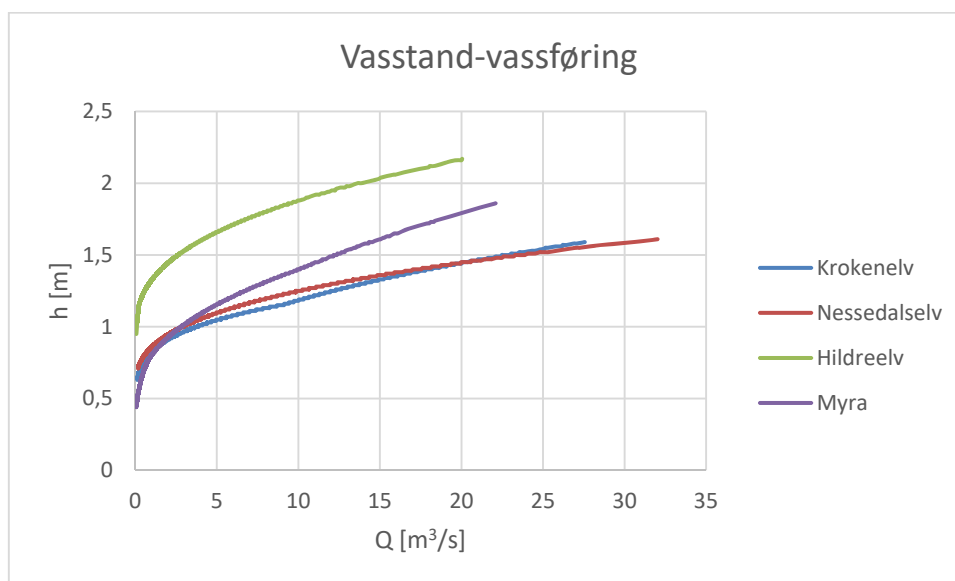
$Q_{\text{minstevassføring}}$ – Minstevassføring forbi kraftverket [l/s]

Dersom det er ulike krav til slipp av minstevassføring gjennom året, må dette bli tatt omsyn til. Alternativt kan ventilen programmerast for den lågaste minstevassføringa, og nedstenginga vil då også vera trygg resten av året.

Denne formelen gjer at vassføringa kan regulerast ned med hyppige tidsintervall i starten, medan tidsintervalla blir større jo lågare vassføringa blir.

Ettersom ventilar stengjer ned stegvis og ikkje heilt glatt, så er det ønskjeleg å kunna seia noko om kva maksimalt nedstengingssteg, $\Delta Q_{\text{omløpsventil}}$, skal vera. Utgangspunktet er at kvart nedstengingssteg ikkje skal senka vasstanden meir enn maksimalt 3 cm (Sweco, 2017).

For å undersøka dette vart fire vassføringsseriar frå små nedbørsfelt i Hydra II-databasen undersøkt, sjå Figur 2.



Figur 2 Vasstand-vassføringskurver frå Hydra II. Utvalde data er frå 2016 og 2017.

Figuren syner at vasstanden endrar seg raskast ved låg vassføring, og dette legg føringa for kor store steg som kan akseptéast. Tabell 1 syner minste endring i vassføring som gav 3 cm endring i vasstand for dei ulike elvene. Dette vil vera kritisk endring i vassføring for å unngå for store steg ved nedstenging av omløpsventilar.

Tabell 1 Minste endring i vassføring som gir endring i vasstand på 3 cm. Verdier henta frå Hydra II-databasen.

| Lokasjon | h_1 [m] | Q_1 [l/s] | h_2 [m] | Q_2 [l/s] | Δh [m] | ΔQ [l/s] |
|--------------|-----------|-------------|-----------|-------------|----------------|------------------|
| Krokenelv | 0,64 | 120 | 0,67 | 190 | 0,03 | 70 |
| Nessedalselv | 0,71 | 180 | 0,74 | 250 | 0,03 | 70 |
| Hildreelv | 1,03 | 120 | 1,06 | 140 | 0,03 | 20 |
| Myra | 0,44 | 60 | 0,47 | 90 | 0,03 | 30 |

Den minste endringa i vassføring som gir 3 cm endring i vasstand i dei undersøkte elvene er 20 l/s. Det er uklart om alle omløpsventilar vil klara så fin regulering, og det er difor tilrådd at det blir lagt eit atterhald om at minste moglege regulering blir nytta dersom dette ikkje kan oppfyllest. For nye omløpsventilar må kravet kunna følgjast, eller det må dokumentéast ved hjelp av vassføringskurve nedstrøms kraftverket kva som er kritisk ΔQ for den aktuelle elva. For kraftverk med magasin vil det uansett vera gunstig med ΔQ så låg som mogleg for å tapa minst mogleg vatn under nedstenginga. Det er difor foreslått å setja $\Delta Q_{\text{oml\oepsventil_maks}} = 20$ l/s som retningslinje.

Denne metoden tek ikkje omsyn til vassmengda i elveløpet oppstrøms utløpet til kraftverket, eller om denne endrar seg i løpet av nedstengingsperioden. Sweco foreslår at det blir tatt omsyn til minstevassføringa i elva, då denne alltid vil vera til stades i elva, og at eventuell ekstra vassføring over dette blir rekna som ekstra tryggleik ved nedstenging.

Metoden tek heller ikkje omsyn til flodbølgja som kan koma frå overløpet i enkelte tilfelle. Denne flodbølgja er svært vanskeleg å talfesta, og varierer frå gong til gong avhengig av tilsiget på det aktuelle tidspunktet og med lengda og topografien til vassvegen mellom inntaket og kraftverket. Det er difor foreslått at denne faktoren blir neglisjert i retningslinjene.

Det denne metoden krever av kraftverkseigar, i tillegg til å programmere inn denne formelen i styresystemet, er å vita eller finna ut av samanhengen mellom ventilopning og vassføring ut av omløpsventilen. Dette er naudsynt fordi styresystemet til kraftverka regulerer ventilane med opningsgrad, og ikkje vassføring, og fordi samanhengen mellom opningsgrad og vassføring ikkje er lineær. Desse karakteristikane er også ulike for ulike typar ventilar, og det er difor ikkje noko poeng i å generalisera denne informasjonen. Denne informasjonen må så koplust saman med nedstengingslikninga. I tillegg må det vera kjent kor fint omløpsventilen kan regulera vassføringa for å kunna fastsetja $\Delta Q_{\text{omløpsventil}}$.

2.4 Metode 1 b – Kurve tilpassa kraftverket

Dette er ein modifisert versjon av metode 1 a. Den anbefalte kurva i metode 1 a er konservativ, og dersom kraftverkseigarar ynskjer å optimalisera stenginga av omløpsventilen, spesielt aktuelt for kraftverk med magasin for å tapa minst mogleg vatn, så kan dette gjerast ved å etablere ei eiga vasstand-vassføringskurve med data frå eige kraftverk og konvertera den til tilsvarande diagram som vist i Figur 1. Data frå denne kurva kan så puttast inn i denne formelen, som er ein generalisert versjon av den i metode 1 a:

$$\frac{\Delta h}{\Delta Q} = aQ^{-b}$$

$$\Delta Q = \frac{1}{600a} Q^b \Delta t \text{ [l/s]}$$

$$\Delta Q_{\text{omløpsventil}} = \frac{1}{600a} (Q_{\text{omløpsventil}} + Q_{\text{minstevassføring}})^b \Delta t \text{ [l/s]}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta Q_{\text{omløpsventil}}}{\frac{1}{600a} (Q_{\text{omløpsventil}} + Q_{\text{minstevassføring}})^b} \text{ [min]}$$

Her er:

Δt – Tidssteg mellom kvar endring i vassføring gjennom omløpsventilen [min]

$\Delta Q_{\text{omløpsventil}}$ – Endring i vassføring gjennom omløpsventil [l/s]

$Q_{\text{omløpsventil}}$ – Vassføring gjennom omløpsventilen [l/s]

$Q_{\text{minstevassføring}}$ – Minstevassføring forbi kraftverket [l/s]

Elles gjeld same krav som i metode 1 a.

2.5 Metode 2 – Smartsystem med maskinlæring

Med dagens teknologi er det mogleg å programmere smarte system som lærer seg korleis anlegget oppfører seg i ulike situasjonar. Ein kan då fortelja systemet at ved avslag på kraftverket, så skal vasstanden ved ein vasstandsloggar nedstraums ikkje synka raskare enn 10 cm/t, og så vil omløpsventilen regulerast automatisk deretter. Eit slikt system vil også kunna vera i stand til å ta omsyn til overløp og tida vatnet brukar frå overløpet til kraftverket ved ulike vassføringar i denne prosessen. Det vil også kunna nytta omløpsventilen til hjelp for å halda vasstanden stabil under oppstart av kraftverket. Eit slikt system vil krevja instrumentering for måling av vasstand for å fungera. Det kan uansett vera fornuftig å ha eit program med metode 1 a eller b liggjande som kan slå inn dersom det skulle oppstå problem med instrumenteringa.

Voith Hydro presenterte eit døme på eit slikt system som dei hadde utvikla på PTK 2018. Sweco har vore i kontakt med Voith Hydro, og det er mogleg at dei vil leggja til rette for at desse kodane kan bli tilgjengelege for andre i framtida.

Truleg vil alle kraftverk bli styrt med slike system i framtida.

2.6 Forslag til reglar for styring av omløpsventilar

Omløpsventilar er ein installasjon for å hindra rask vasstandsreduksjon ved utfall av kraftverket. For at ventilen skal fungera etter føremålet, så må opning og nedstenging av ventilen gjerast på ein kontrollert måte slik at stranding av fisk langs elvebreiddene ikkje skjer.

Kraftverkseigarar kan velja mellom to prinsipielle metodar for korleis omløpsventilen skal programmerast. Ein kan velja å nytta ein tilrådd formel for reduksjon av vassføring gjennom omløpsventilen, basert på feltforsøk på ulike kraftverk, eller gjera eigne målingar for å laga ein tilpassa formel til sitt eige kraftverk. Den tilrådde formelen er laga for å gje sikker senking av vasstand i elva nedstraums kraftverket for alle typar utforma elveløp. Andre metodar, som styring mot nedstraums vasstandsloggar, kan også godkjennast dersom det kan dokumenterast at alle gjeldande krav blir ivaretatt. I slike tilfelle blir det uansett tilrådd å ha tilrådd eller eigen formel i bakhand i tilfelle det skulle oppstå problem med instrumenteringa.

Uavhengig av val av metode, må følgande kriteria oppfyllest:

1. Omløpsventilen må opnast umiddelbart ved utfall av kraftverket.
2. Omløpsventilen må opnast til korrekt vassføring:
 - a. Dersom driftvassføringa i kraftverket er høgare enn kapasiteten til omløpsventilen, så opnast omløpsventilen til maksimal kapasitet.
 - b. Dersom driftvassføringa i kraftverket er lågare enn kapasiteten til omløpsventilen, så opnast omløpsventilen til driftvassføringa. For kraftverk med inntaksbasseng er det spesielt viktig at ventilen ikkje vert opna høgare enn tilsiget for å unngå luft i systemet, og for å unngå at det går ut over minstevassføringa som blir sluppen.

3. Omløpsventilen må stengast gradvis på ein måte som sørger for at vasstanden nedstraums kraftverket ikkje synk raskare enn 10 cm/time. Dette krevjer at samanhengen mellom ventilopning og vassføring er kjent, slik at dette kan programmerast inn korrekt i styresystemet.

Omløpsventilen skal heller ikkje stengast i steg som gjer at vassføringa synk meir enn 3 cm kvart steg.

- a. Bruk tilrådd formel:

$$\Delta t = \frac{\Delta Q_{\text{oml\u00f8psventil}}}{0,0672(Q_{\text{oml\u00f8psventil}} + Q_{\text{minstevassf\u00f8ring}})^{0,69}} \text{ [min]}$$

Her er:

Δt – Tidssteg mellom kvar endring i vassføring gjennom omløpsventilen [min]

$\Delta Q_{\text{oml\u00f8psventil}}$ – Endring i vassføring gjennom omløpsventil [l/s]

$Q_{\text{oml\u00f8psventil}}$ – Vassføring gjennom omløpsventilen [l/s]

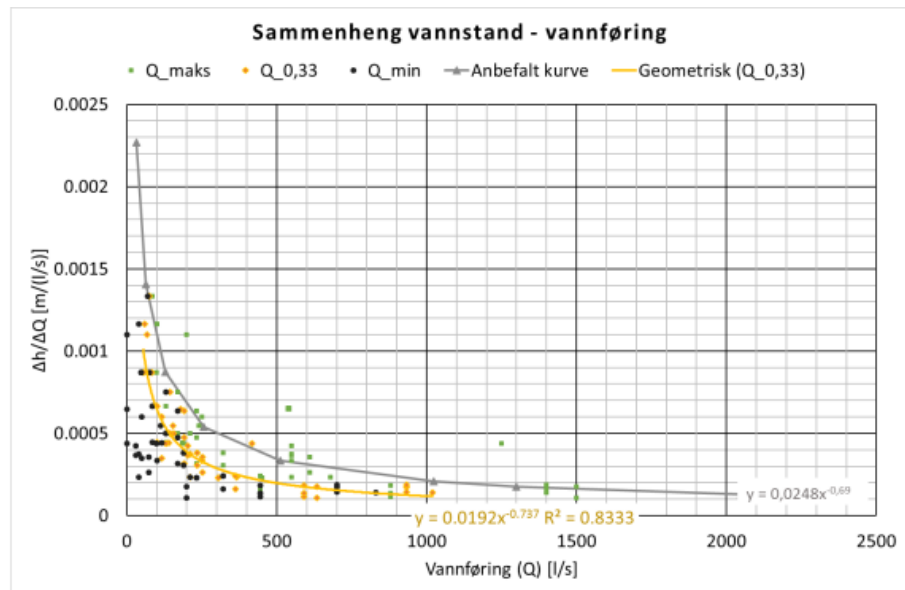
$Q_{\text{minstevassf\u00f8ring}}$ – Minstevassføring forbi kraftverket [l/s]

Formelen skildrar ein iterativ prosess som blir gjentatt til omløpsventilen er stengt ($Q_{\text{oml\u00f8psventil}} = 0$), eller til kraftverket blir satt i drift igjen.

$\Delta Q_{\text{oml\u00f8psventil}}$ skal setjast til maksimalt 20 l/s for å unngå at vasstanden synk meir enn 3 cm kvart steg, eller så lågt som omløpsventilen tillét å regulera kvart steg dersom dette ikkje er mogleg. Det totale vasstapet for kraftverk med inntak i reguleringsmagasin vil verta minst mogleg med finast mogleg regulering, men den totale nedstengingstida vil ikkje bli påverka.

Dersom det er ulike krav til slipp av minstevassføring gjennom året, må dette bli tatt omsyn til. Alternativt kan ventilen programmerast for den lågaste minstevassføringa, og nedstenginga vil då også vera trygg resten av året.

- b. Opprett eigen formel for kraftverket. Dette kan gjerast ved å oppretta ei vasstand-vassføringskurve i eit passende parti maksimalt 100 m nedstraums kraftverket, og laga ei tilpassa kurve basert på måleresultata som synt i Figur 3. Relevant måleintervall er frå minstevassføring opp til minstevassføring pluss maksimal kapasitet for omløpsventilen.



Figur 3 Sammenheng vasstand – vassføring nedstraums utløp kraftverk (Sweco, 2017)

Resultatet av den tilpassa kurva gjev ein formel på forma:

$$\frac{\Delta h}{\Delta Q} = aQ^{-b}$$

Å ta ut konstantane a og b frå denne formelen og setja dei inn i formelen under gir ein tilpassa formel for reduksjon av vassføring gjennom omløpsventilen for kraftverket:

$$\Delta t = \frac{\Delta Q_{oml\ddot{o}psventil}}{\frac{1}{600a} (Q_{oml\ddot{o}psventil} + Q_{minstevassf\ddot{o}ring})^b} [min]$$

Her er:

Δt – Tidssteg mellom kvar endring i vassføring gjennom omløpsventilen [min]

$\Delta Q_{oml\ddot{o}psventil}$ – Endring i vassføring gjennom omløpsventil [l/s]

$Q_{oml\ddot{o}psventil}$ – Vassføring gjennom omløpsventilen [l/s]

$Q_{minstevassf\ddot{o}ring}$ – Minstevassføring forbi kraftverket [l/s]

Formelen skildrar ein iterativ prosess som blir gjentatt til omløpsventilen er stengt ($Q_{\text{omløpsventil}} = 0$), eller til kraftverket blir satt i drift igjen.

$\Delta Q_{\text{omløpsventil}}$ skal setjast til maksimalt 20 l/s for å unngå at vasstanden synk meir enn 3 cm kvart steg, eller så lågt som omløpsventilen tillét å regulera kvart steg dersom dette ikkje er mogleg. Det totale vasstapet for kraftverk med inntak i reguleringsmagasin vil verta minst mogleg med finast mogleg regulering, men den totale nedstengingstida vil ikkje bli påverka.

Dersom det er ulike krav til slipp av minstevassføring gjennom året, må dette bli tatt omsyn til. Alternativt kan ventilen programmerast for den lågaste minstevassføringa, og nedstenginga vil då også vera trygg resten av året.

Denne metoden kan føra til raskare nedstengingstid for omløpsventilen, og dimed mindre tap av vatn om kraftverket har inntak i eit reguleringsmagasin.

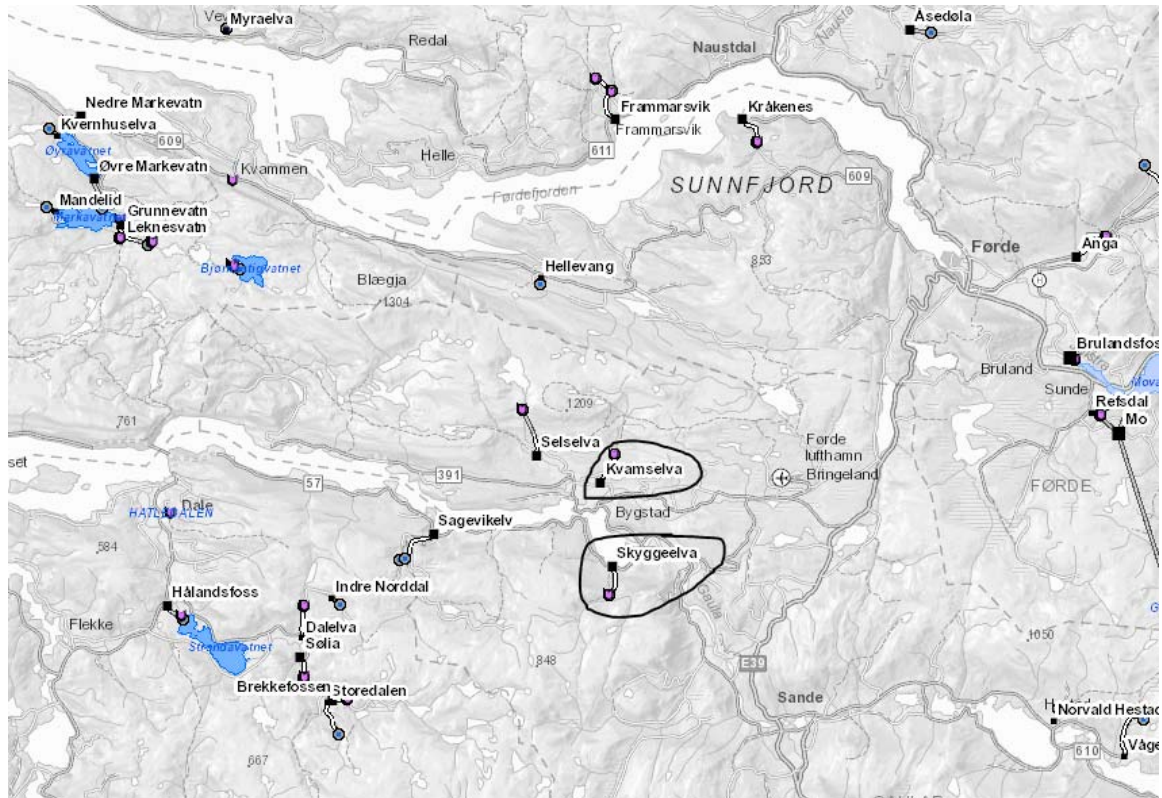
4. Dersom kraftverket blir starta igjen før ventilen er stengt, så må dette bli gjort på ein måte som unngår brå vasstandsendingar. Det vil ofte vera ynskjeleg å koma tilbake til normalsituasjonen så fort som mogleg, så det blir understreka at det ikkje er naudsynt å venta til omløpsventilen er stengt før kraftverket blir satt i drift igjen. Dersom kraftverket blir satt i drift igjen før omløpsventilen har stengt, skal omløpsventilen stengast i takt med at kraftverket startar. Dette skal gjerast på ein måte som ikkje reduserer vassføringa nedstraums kraftverket raskare enn nedstenginga av omløpsventilen elles ville ha gjort.
5. Kontroll av funksjonen til omløpsventilen skal skje ved måling av vasstand maksimalt 100 meter nedstraums kraftverket i eit profil som er typisk for elveløpet ved stopp av kraftverket. Kontroll bør skje i periode utan overløp, og på eit tidspunkt som er gunstig for dyr/fisk i elva.

3 Verifisering av utvikla styringsverktøy

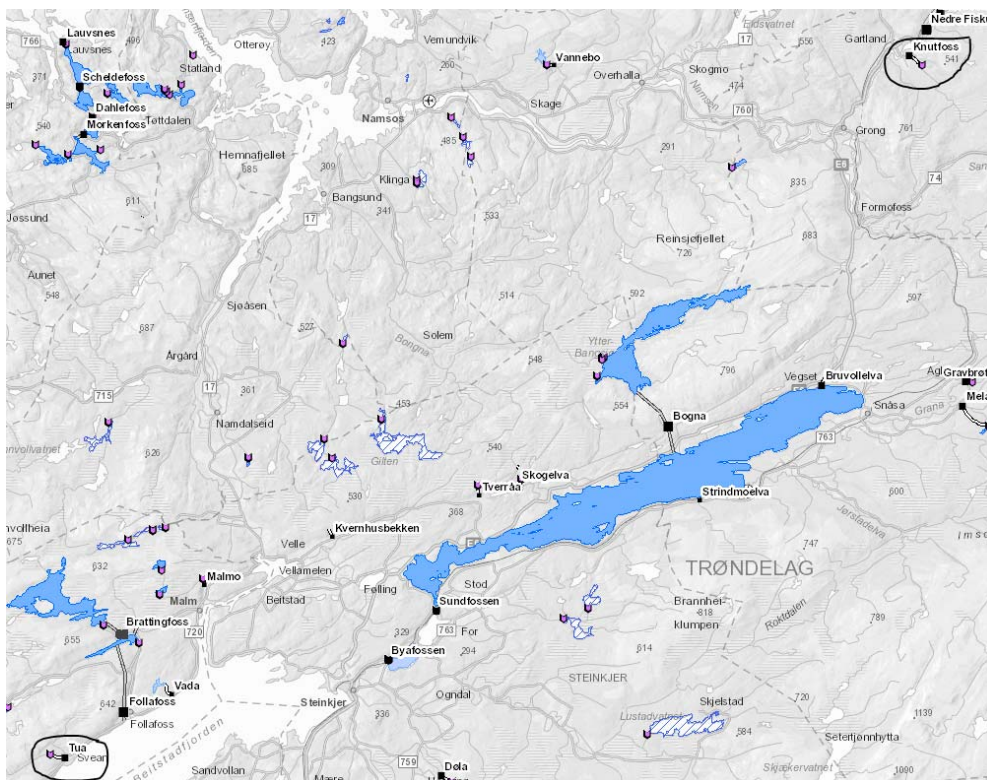
Det har blitt utført forsøk ved fire kraftverk valt ut av NVE for testing av det utvikla styringsverktøyet. Metoden som er testa er metode 1 a, og der det er skilnad på minstevassføring sommar og vinter er det testa for minste verdi.

Kraftverka det har blitt utført testar på er: Skyggeelva, Kvamselva, Knutfoss og Tua.

Figur 4 og Figur 5 syner plasseringa til dei fire kraftverka.



Figur 4 Oversikt over kraftverk 1 (NVE Atlas)



Figur 5 Oversikt over kraftverk 2 (NVE Atlas)

3.1 Skildring av kraftverk

Nedanfor finst nøkkelinformasjon om dei ulike kraftverka og omløpsventilane. Ei skildring av korleis Sweco fekk det forklart og oppfatta at omløpsventilfunksjonen fungerte før omprogrammering er også inkludert.

3.1.1 Kraftverk 1 – Skyggeelva

Tabell 2 Kraftverksdata Skyggeelva

| | | |
|-------------------------------------|------|-----|
| Maks slukeevne | 1600 | l/s |
| Maks vassføring omløpsventil | 800 | l/s |
| Minstevassføring sommar | 100 | l/s |
| Minstevassføring vinter | 30 | l/s |
| Magasin | Nei | |

Funksjon omløpsventil før omprogrammering

Opnar til maksimalt 50 % av Q_{maks} (800 l/s), eller til driftvassføringa om denne er mindre enn 800 l/s, og stenger etter 15-20 min (når flodbølgja har nådd utløpet). Ventilen har ein kapasitet på 1400 l/s, mens skal aldri opnast til meir enn 800 l/s innanfor garantien.

3.1.2 Kraftverk 2 – Kvamselva

Tabell 3 Kraftverksdata Kvamselva

| | | |
|-------------------------------------|------|-----|
| Maks slukeevne | 1300 | l/s |
| Maks vassføring omløpsventil | 780 | l/s |
| Minstevassføring sommar | 86 | l/s |
| Minstevassføring vinter | 50 | l/s |
| Magasin | Nei | |

Funksjon omløpsventil før omprogrammering

Ventilen opnar seg til 60 % av Q_{maks} , eller til driftvassføringa om denne er mindre enn 780 l/s, og står opent på dette nivået i 1 time før direkte stenging.

3.1.3 Kraftverk 3 – Knutfoss

Tabell 4 Kraftverksdata Knutfoss

| | | |
|-------------------------------------|------|-----|
| Maks slukeevne | 9600 | l/s |
| Maks vassføring omløpsventil | 4800 | l/s |
| Minstevassføring sommar | 400 | l/s |
| Minstevassføring vinter | 400 | l/s |
| Magasin | Nei | |

Funksjon omløpsventil før omprogrammering

Ved stans av anlegget blir omløpsventil opna til om lag 50% av driftvassføring. Omløpsventilen vert deretter køyrt trinnvis mot stengt.

3.1.4 Kraftverk 4 – Tua

Tabell 5 Kraftverksdata Tua

| | | |
|-------------------------------------|------|-----|
| Maks slukeevne | 1500 | l/s |
| Maks vassføring omløpsventil | 750 | l/s |
| Minstevassføring sommar | 40 | l/s |
| Minstevassføring vinter | 40 | l/s |
| Magasin | Nei | |

Funksjon omløpsventil før omprogrammering

Nedkøyringssekvens på 15 min (3 x 5 min) ved stopp. Det blir skalert ei ynskt vassføring til forbisliping som er 50 % av vassføringa ved stopp. Denne blir halvert kvart 5. min. Dette er basert på nåloping, og ikkje vassføring. Sekvensen vil vera ferdig etter 15 minutt, eller dersom pådraget kjem under 5 %. Dette vil då seia at om anlegget går på låg effekt og pådraget er til dømes 5 %, vil det stenga brått (utan nedstengingssekvens).

Merk at på Tua fungerer dysene på turbinen som omløpsventil ved at deflektorar blir satt ut.

3.2 Metodikk

3.2.1 Nytt utstyr

Følgande utstyr vart nytta i samband med feltforsøka:

- ❖ Global Water WL-16, vasstandsloggarar

3.2.2 Arbeid før feltarbeid

Alle vasstandsloggarar vart kontrollert og kalibrert før bruk.

Eit utkast av dei nye retningslinjene for omløpsventilar vart sendt ut til kraftverkseigarane. Det var kontinuerleg dialog med dei fram mot verifiseringsforsøka for å sørge for at implementeringa vart gjort så korrekt som mogleg. Forslaget til retningslinjer i kapittel 2.6 er noko modifisert basert på observasjonar og tilbakemeldingar under feltforsøka, men er i all hovudsak dei same som vart nytta. Formlane og tala som ligg til grunn er ikkje endra. Endringane som er gjort i etterkant har ingen betydning for gyldigheita til testresultata. Utkastet som vart sendt til kraftselskapa og nytta under feltforsøka ligg vedlagt i vedlegg 1.

Det vart også sendt ut ein tabell som syner korleis teoretisk utrekna nedstenging såg ut på dei aktuelle kraftverka. Desse ligg vedlagt i vedlegg 2.

3.2.3 Føresetnader for valideringsforsøk

For å få best mogleg testa det nye styringsverktøyet vart det forsøkt å gjennomføra forsøka når driftvassføringa var mellom 50 % og 100 %. Dette ville gitt full opning av omløpsventil og minstevassføring i elva mellom inntaket og utløpet frå kraftstasjonen. Overløp utover minstevassføring var ikkje ønskeleg under forsøka, då dette ville ført til ekstra tryggleik mot rask vasstansending. For låg vassføring var heller ikkje ønskeleg, då dette ville ført til lite valideringsdata, men ville gitt god innsikt ettersom det sikrar test av det mest kritiske området.

3.2.4 Feltarbeid

Vasstandsloggarar vart sjekka og stilt inn i samsvar med sjekklister før utplassering ved kraftverket der det skulle gjerast forsøk.

Det var plassert ut vasstandsloggarar etter følgende oppsett:

1. Oppstraums utløpet
2. Utløpskanalen (viss aktuelt)
3. Nedstraums utløpet
4. Nedstraums utløpet (ekstra, viss aktuelt)

Den første loggaren nedstraums utløpet er den mest kritiske for å vurdere om styringssystemet fungerer etter intensjonen. Oppsettet vart individuelt tilpassa dei lokale forholda på dei enkelte kraftverka basert på kvar dei gode målelokalitetane fantes. Kart som syner plassering av loggarar for forsøka ved dei ulike kraftverka er vedlagt i vedlegg 3.

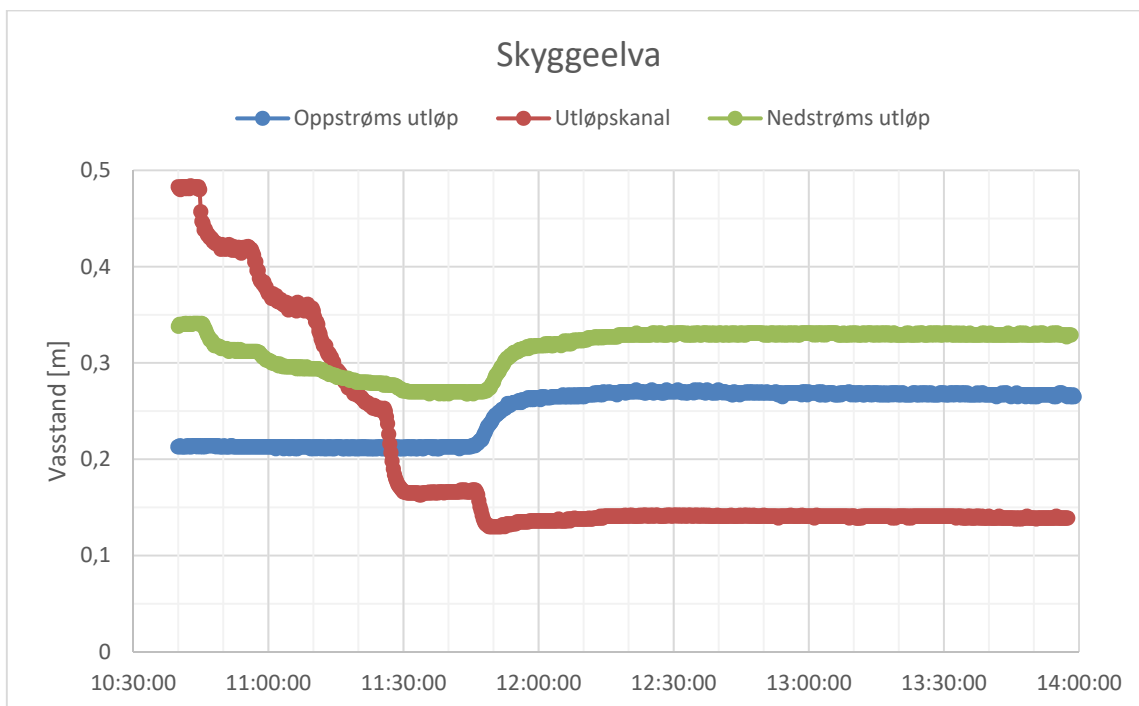
Etter utplassering av loggarar vart driftvassføringa registrert, og kraftverket vart stoppa. Forsøka vart stoppa og loggarane tatt opp igjen då omløpsventilen var stengt eller då det var synleg at overløpet på inntaksdammen var kome ned til kraftverket og vasstanden nedstraums kraftverket hadde byrja å stiga igjen. Kraftverket vart då starta opp igjen.

3.3 Resultat og analyse

3.3.1 Kraftverk 1 – Skyggeelva

Utført 22.06.2018 i tidsrommet 10:30 til 14:00. Driftvassføringa var om lag 155 l/s og krav til minstevassføring var 100 l/s denne dagen.

Figur 6 syner resultat frå valideringsforsøket på Skyggeelva.



Figur 6 Resultat valideringsforsøk Skyggeelva

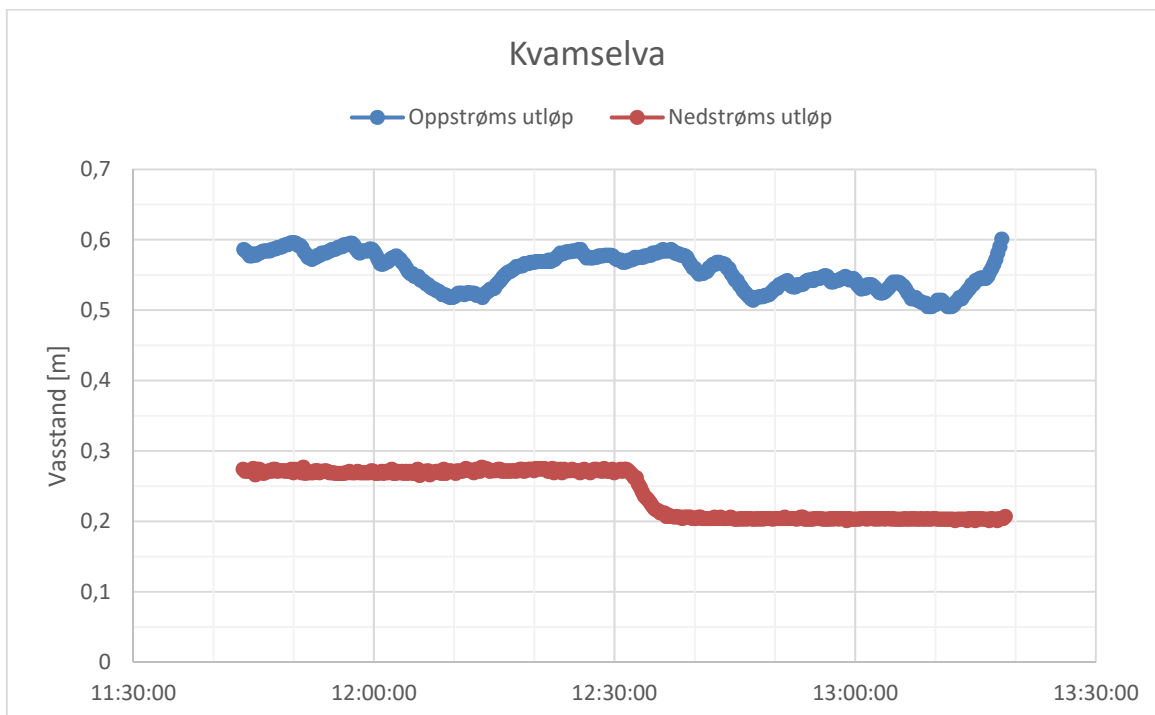
Implementering av det nye styringssystemet har fungert etter intensjonen.

Kurva «Nedstrøms utløp» syner jamn senking av vasstand under 10 cm/t utan store momentane dropp fram til overløpet har komme rundt og vasstanden stig igjen.

3.3.2 Kraftverk 2 – Kvamselva

Utført 22.06.2018 i tidsrommet 11:30 til 13:30. Driftvassføringa var om lag 285 l/s og krav til minstevassføring var 86 l/s denne dagen.

Figur 7 syner resultat frå valideringsforsøket på Kvamselva.



Figur 7 Resultat valideringsforsøk Kvamselva

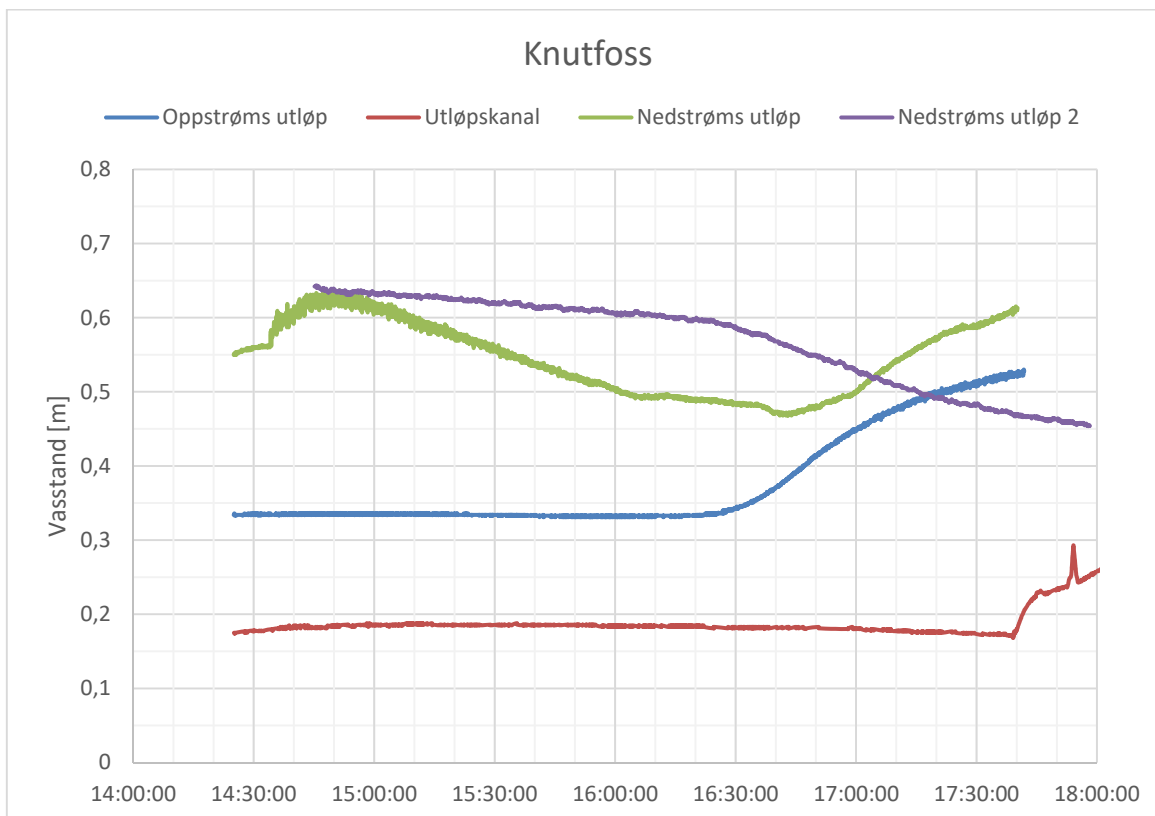
Kurva «Nedstrøms utløp» syner eit plutselig dropp i vasstand. Dette stemmer med observasjonen om at omløpsventilen aldri opna ved stopp av kraftverket.

Her opna omløpsventilen seg aldri, og dette skuldast truleg ein feil i datagrunnlaget som ligg til grunn. Dette syner viktigheita av å kjenna kor mykje vatn som går i kraftverket til ei kvar tid og samanhengen mellom opningsgrad og vassføring gjennom omløpsventilen. Utan gode data på dette har systemet ingen verdi. Om styringssystemet ville fungert etter intensjonen med korrekte grunnlagsdata er ikkje mogleg å vita.

3.3.3 Kraftverk 3 – Knutfoss

Utført 11.10.2018 i tidsrommet 14:30 til 18:00. Driftvassføringa var om lag 4900 l/s og krav til minstevassføring var 400 l/s denne dagen.

Figur 8 syner resultat frå valideringsforsøket på Knutfoss.



Figur 8 Resultat valideringsforsøk Knutfoss

Implementering av det nye styringssystemet har fungert etter intensjonen.

Kurva «Nedstrøms utløp» syner jamn senking av vasstand på om lag 10 cm/t utan store momentane dropp fram til overløpet har komme rundt og vasstanden stig igjen. At vasstanden stig i starten syner at omløpsventilen vart opna til høgare vassføring enn driftvassføringa.

Kurva «Nedstrøms utløp 2» gir same resultat, men her vart vasstandsloggaren plukka opp igjen før overløpet hadde komme ned.

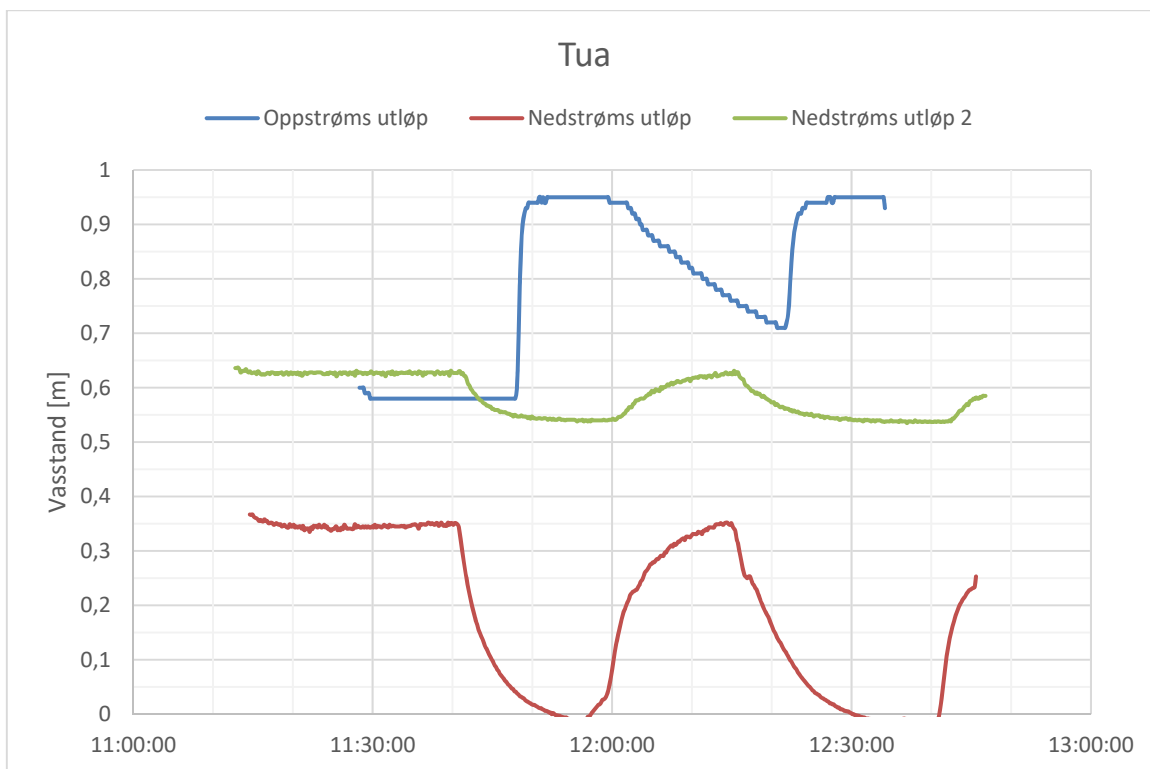
Data frå loggar i utløpskanal syner at det truleg har skjedd ein feil med denne loggaren. Desse kan difor sjåast vekk ifrå.

Det einaste som gjekk feil i programmeringa, og som vart oppklart med programmerarar i etterkant, var at sperra som sørga for at vasstanden i inntaksdammen ikkje skulle gå ned ved køyring av omløpsventilen vart fjerna frå koden. Dette har blitt forsøkt presisert enno tydelegare i revisjon av forslaget til nytt styringssystem.

3.3.4 Kraftverk 4 – Tua

Utført 02.05.2019 i tidsrommet 11:00 til 13:00. Driftvassføringa var om lag 340 l/s og krav til minstevassføring var 40 l/s denne dagen.

Figur 9 syner resultat frå valideringsforsøket på Tua. Merk at «Nedstrøms utløp 2» er nedstrøms samløp med ny elv.



Figur 9 Resultat valideringsforsøk Tua

Det vart her utført to stopp. Den første stoppen vart utført med nødstoppbrytar, men det viste seg etter samtale med kraftverkseigar at omløpsfunksjonen ikkje fungerte i dette tilfellet. Når vasstanden så hadde stabilisert seg på nivået før stopp igjen vart kraftverket stoppa på nytt slik kraftverkseigar hadde instruert. I dette tilfellet var det noko vassføring via omløpsfunksjonen, men som figuren viser gav dette ingen jamn senking av vasstand nedstrøms kraftverket som var innanfor krava som var satt og omløpsfunksjonen var stengt etter om lag sju minutt.

Her finst det ingen forklaring på kva som har gått feil anna enn at koden må ha blitt programmert inn feil, sjølv om det vart stadfesta før feltforsøket at koden hadde blitt testa og skulle fungera som angitt. Desse testresultata bør difor forkastast.

3.3.5 Generelle observasjonar og betraktningar

Erfaringar frå desse valideringsforsøka tilseier at datagrunnlaget for styring/programmering av omløpsventilane ofte er mangelfullt. Det må difor reknast med at mange kraftverk vil trenga litt tid for å få på plass det naudsynte grunnlaget som trengs for å gjera ein god jobb med omprogrammering av omløpsventilane slik at dei tilfredsstiller krava som vert foreslått.

Koden som skal programmerast inn er rimeleg enkel, og med tilhøyrande fasit på korleis systemet skal fungera er det vanskeleg å sjå at det ikkje skal gå an å køyra gode simuleringar av systemet som validerer om den programmerte koden fungerer som han skal. Sjølv om det har skjedd programmeringsfeil i spesielt eitt av dei fire tilfella som vart testa her, så burde dette vera ei enkel oppgåve for profesjonelle programmerarar å få til.

Ei utfordring som vart identifisert undervegs i prosjektet er at ut-parameter i kraftverk er produksjon. Når det er fleire enn éin turbin i eit kraftverk, gjev ikkje éin produksjon nødvendigvis ei eintydig vassføring. Dette er uheldig, for å anta for høg vassføring kan gi luft i systemet og å anta for låg vassføring kan gje eit plutseleg vasstandsdropp. Dette er ikkje mogleg å løysa med den utarbeidde formelen. Kor store utslag dette faktisk vil gi er ikkje vurdert nøye i dette arbeidet. For Knutfoss, som køyrte på to turbinar under feltforsøket, syntes dette ikkje å ha nokon påverknad på resultatet.

Ei anna erfaring er at det er ein del omgrepforvirring ute og går om kva ein omløpsventil er. Omløpsventil kan bli brukt om fleire ulike komponentar på eit kraftverk, og omløpsventil som blir omtalt i denne rapporten blir ofte også omtalt som forbislippsventil og fiskeventil avhengig av kven du pratar med.

4 Konklusjon

4.1 Reglar for styring av omløpsventilar

Det er tilrådd å gå vidare med styringsrutinane som er skildra i kapittel 2.6. Valideringsforsøka syner gode resultat der programmeringa er gjort korrekt og datagrunnlaget er bra.

Sjølv om berre den eine metoden er testa, bør det også bli gitt rom til kraftverk som har eller ynskjer å utvikla meir avanserte system. Kontroll av om systemet fungerer blir gjort på same måte uavhengig av kva metode som blir valt, og dersom desse systema skulle visa seg å ikkje fungera etter intensjonen vil det alltid vera mogleg å gå tilbake til den tilrådde formelen.

4.2 Vidare arbeid

Grunna utfordringane med nokre av verifiseringsforsøka blir det tilrådd å utføra nye verifiseringsforsøk for styringsrutina. Desse bør utførast på nye kraftverk som ikkje er nytta verken i dette eller det føregående arbeidet.

5 Referansar

Harby, A., Alfredsen, K., Arnekleiv, J.V., Flodmark, L.E.W., Halleraker, J.H., Johansen, S. og S.J. Saltveit. 2004. Raske vannstandsendinger i elver – virkninger på fisk, bunndyr og begroing. Sluttrapport fra forskningsprosjektet «Konsekvenser av effektkjøring på økosystemer i rennende vann». EFFEKT-programmet.

Sweco. 2017. Optimalisert drift av omløpsventiler.

Vedlegg 1 Retningslinjer sendt til kraftverk

NOTAT

| | | |
|--|-----------------------------------|--------------------|
| KUNDE / PROSJEKT Norges Vassdrags- og energidirektorat Styring av omløpsventiler --- Utvikling av regler for styring av omløpsventiler | PROSJEKTLEDER Eirik Vee Natvik | DATO 29.05.2018 |
| PROSJEKTNUMMER 10204589 | OPPRETTET AV Eirik Vee Natvik | REV. DATO |

| DISTRIBUSJON: | FIRMA | NAVN |
|---------------|-------------------|-----------------|
| TIL: | Fadum tekniske AS | Erik Nilsen |
| | Energi-Teknikk AS | Rune Dyrkolbotn |

KOPI TIL:

Reglar for styring av omløpsventilar – utkast til bruk under feltforsøk

Dette notatet skildrar eit utkast til nye retningslinjer for styring av omløpsventilar som skal nyttast til omprogrammering av omløpsventilane i samband med forsøk på Skyggeelva og Kvamselva kraftverk.

Metoden og formelen skildra i punkt 3 a) skal nyttast i desse forsøka, og punkt 3 b) kan difor bli sett vekk ifrå i denne omgang. Resten av kriteria som er lista opp må tilfredsstillast.

Reglar for styring av omløpsventilar

Omløpsventilar er ein installasjon for å hindra rask vasstandsreduksjon ved utfall av kraftverket. For at ventilen skal fungera etter føremålet, så må opning og nedstenging av ventilen gjerast på ein kontrollert måte slik at stranding av fisk langs elvebreiddene ikkje skjer.

Kraftverkseigarar kan velja mellom to prinsipielle metodar for korleis omløpsventilen skal programmerast. Ein kan velja å nytta ein tilrådd formel for reduksjon av vassføring gjennom omløpsventilen, basert på feltforsøk på ulike kraftverk, eller gjera eigne målingar for å laga ein tilpassa formel til sitt eige kraftverk. Den tilrådde formelen er laga for å gje sikker senking av vasstand i elva nedstraums kraftverket for alle typar utforma elveløp. Andre metodar kan også godkjennast, dersom det kan dokumenterast at alle gjeldande krav blir ivaretatt.

Uavhengig av val av metode, må følgande kriteria oppfyllest:

- 1) Omløpsventilen må opnast umiddelbart ved utfall av kraftverket.
- 2) Omløpsventilen må opnast til korrekt vassføring:
 - a. Dersom driftvassføringa i kraftverket er høgare enn kapasiteten til omløpsventilen, så opnast omløpsventilen til maksimal kapasitet.
 - b. Dersom driftvassføringa i kraftverket er lågare enn kapasiteten til omløpsventilen, så opnast omløpsventilen til driftvassføringa. For kraftverk med inntaksbasseng er det spesielt viktig at ventilen ikkje vert opna høgare enn

1 (4)

Sweco
Professor Brochs gate 2
NO-7030 Trondheim, Norge
Telefon +47 73 83 35 00

Sweco Norge AS
967032271
Hovedkontor: Oslo

Eirik Vee Natvik
Sivilingeniør vassdragsteknikk
Region Trondheim

Mobil +47 907 15 178
Eirik.Natvik@sweco.no

www.sweco.no

NEV \notrdfs001\oppdrag\32513\58302001_styring_av_omllopsventiler\08 rapporter - notater\02 notater\retningslinjer for styring av omllopsventilar - utkast til bruk under feltforsok.docx

tilsiget for å unngå luft i systemet.

- 3) Omløpsventilen må stengast gradvis på ein måte som sørger for at vasstanden nedstraums kraftverket ikkje synk raskare enn 10 cm/time. Dette krever at samanhengen mellom ventilopning og vassføring er kjent, slik at dette kan programmerast inn korrekt i styresystemet. Omløpsventilen skal heller ikkje stengast i steg som gjer at vassføringa synk meir enn 3 cm kvart steg.

a. Bruk tilrådd formel:

$$\Delta t = \frac{\Delta Q_{\text{oml\oepsventil}}}{0,0672(Q_{\text{oml\oepsventil}} + Q_{\text{minstevassf\ooring}})^{0,69}} \text{ [min]}$$

Her er:

Δt – tidssteg mellom kvar vassføringsendring gjennom omløpsventilen [min]

$\Delta Q_{\text{oml\oepsventil}}$ – endring i vassføring gjennom omløpsventil [l/s]

$Q_{\text{oml\oepsventil}}$ – vassføring gjennom omløpsventilen [l/s]

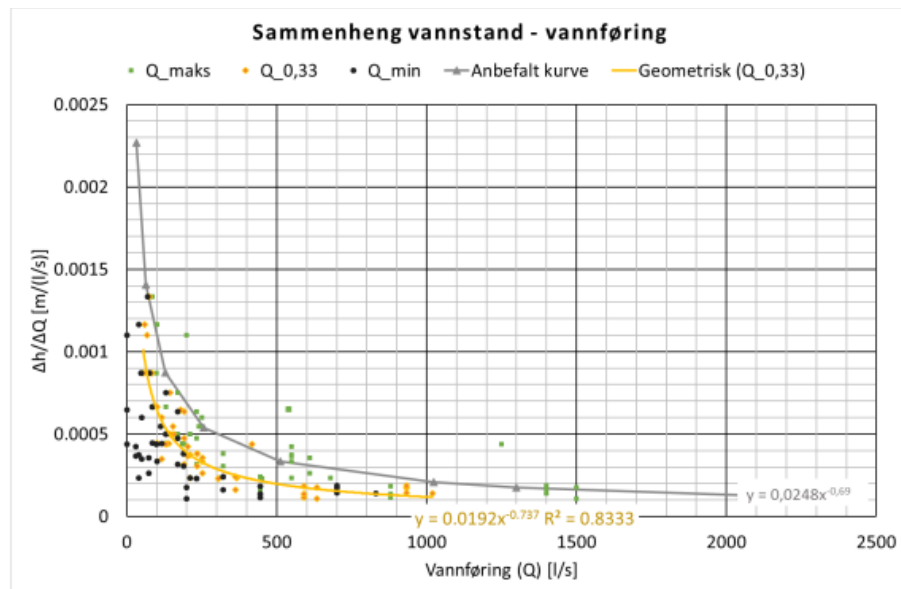
$Q_{\text{minstevassf\ooring}}$ – minstevassføring forbi kraftverket [l/s]

Formelen skildrar ein iterativ prosess som blir gjentatt til omløpsventilen er stengt ($Q_{\text{oml\oepsventil}} = 0$), eller til kraftverket blir satt i drift igjen.

$\Delta Q_{\text{oml\oepsventil}}$ skal setjast til maksimalt 20 l/s for å unngå at vasstanden synk meir enn 3 cm kvart steg, eller så lågt som omløpsventilen tillét å regulera kvart steg dersom dette ikkje er mogleg. Det totale vasstapet for kraftverk med inntak i reguleringsmagasin vil verta minst mogleg med finast mogleg regulering, men den totale nedstengingstida vil ikkje bli påverka.

Dersom det er ulike krav til slipp av minstevassføring under sommar og vinter, må dette bli tatt omsyn til. Alternativt kan ventilen programmerast for minstevassføringa om vinteren, og nedstenginga vil då også vera trygg om sommaren.

- b. Opprett eigen formel for kraftverket. Dette kan gjerast ved å oppretta ei vasstand-vassføringskurve i eit passende parti maksimalt 100 m nedstraums kraftverket, og laga ei tilpassa kurve basert på måleresultata som synt i Figur 3. Relevant måleintervall er frå minstevassføring opp til minstevassføring pluss maksimal kapasitet for omløpsventilen.



Figur 1 Samanheng vasstand – vassføring nedstraums utløp kraftverk (Sweco, 2017)

Resultatet av den tilpassa kurva gjev ein formel på forma:

$$\frac{\Delta h}{\Delta Q} = aQ^{-b}$$

Ved å ta ut konstantane a og b frå denne formelen og setja dei inn i formelen under, får du ein tilpassa formel for reduksjon av vassføring gjennom omløpsventilen for kraftverket:

$$\Delta t = \frac{\Delta Q_{oml\ddot{o}psventil}}{\frac{1}{600a} (Q_{oml\ddot{o}psventil} + Q_{minstevassf\ddot{o}ring})^b} [min]$$

Her er:

Δt – tidssteg mellom kvar vassføringsendring gjennom omløpsventilen [min]

$\Delta Q_{oml\ddot{o}psventil}$ – endring i vassføring gjennom omløpsventil [l/s]

$Q_{oml\ddot{o}psventil}$ – vassføring gjennom omløpsventilen [l/s]

$Q_{minstevassf\ddot{o}ring}$ – minstevassføring forbi kraftverket [l/s]

Formelen skildrar ein iterativ prosess som blir gjentatt til omløpsventilen er stengt ($Q_{oml\ddot{o}psventil} = 0$), eller til kraftverket blir satt i drift igjen.

$\Delta Q_{oml\ddot{o}psventil}$ skal setjast til maksimalt 20 l/s for å unngå at vasstanden synk meir enn 3 cm kvart steg, eller så lågt som omløpsventilen tillét å regulera kvart steg dersom dette ikkje er mogleg. Det totale vasstapet for kraftverk med inntak i reguleringsmagasin vil verta minst mogleg med finast mogleg regulering, men den totale nedstengingstida vil ikkje bli påverka.

Dersom det er ulike krav til slipp av minstevassføring sommar og vinter, må dette bli tatt omsyn til. Alternativt kan ventilen programmerast for minstevassføringa om vinteren, og nedstenginga vil då også vera trygg om sommaren.

Denne metoden kan føra til raskare nedstengingstid for omløpsventilen, og dimed mindre tap av vatn om kraftverket har inntak i eit reguleringsmagasin.

- 4) Dersom kraftverket blir starta igjen før ventilen er stengt, så må dette bli gjort på ein måte som unngår brå vasstandsendingar. Det vil ofte vera ynskjeleg å koma tilbake til normalsituasjonen så fort som mogleg, så det blir understreka at det ikkje er naudsynt å venta til omløpsventilen er stengt før kraftverket blir satt i drift igjen.
- 5) Kontroll av funksjonen til omløpsventilen skal skje ved måling av vasstand maksimalt 100 meter nedstrøms kraftverket i eit profil som er typisk for elveløpet.

Vedlegg 2 Teoretisk utrekna nedstenging av omløpsventilar

SKYGGEELVA

| | |
|--------------------------------------|-----|
| Qminstevassføring [l/s] | 30 |
| Qomløpsventil_maks [l/s] | 800 |
| ΔQ omløpsventil, start [l/s] | 20 |

| t [min] | Qomløpsventil [l/s] | ΔQ omløpsventil [l/s] | Δt [min] |
|---------|---------------------|-------------------------------|------------------|
| 0 | 800 | 20 | 2.9 |
| 2.9 | 780 | 20 | 2.9 |
| 5.8 | 760 | 20 | 3.0 |
| 8.8 | 740 | 20 | 3.0 |
| 11.8 | 720 | 20 | 3.1 |
| 14.9 | 700 | 20 | 3.1 |
| 18.1 | 680 | 20 | 3.2 |
| 21.3 | 660 | 20 | 3.3 |
| 24.5 | 640 | 20 | 3.3 |
| 27.9 | 620 | 20 | 3.4 |
| 31.3 | 600 | 20 | 3.5 |
| 34.8 | 580 | 20 | 3.6 |
| 38.3 | 560 | 20 | 3.6 |
| 42.0 | 540 | 20 | 3.7 |
| 45.7 | 520 | 20 | 3.8 |
| 49.5 | 500 | 20 | 3.9 |
| 53.5 | 480 | 20 | 4.0 |
| 57.5 | 460 | 20 | 4.1 |
| 61.6 | 440 | 20 | 4.3 |
| 65.9 | 420 | 20 | 4.4 |
| 70.3 | 400 | 20 | 4.5 |
| 74.8 | 380 | 20 | 4.7 |
| 79.5 | 360 | 20 | 4.9 |
| 84.4 | 340 | 20 | 5.0 |
| 89.4 | 320 | 20 | 5.2 |
| 94.6 | 300 | 20 | 5.4 |
| 100.1 | 280 | 20 | 5.7 |
| 105.8 | 260 | 20 | 6.0 |
| 111.7 | 240 | 20 | 6.3 |
| 118.0 | 220 | 20 | 6.6 |
| 124.6 | 200 | 20 | 7.0 |
| 131.5 | 180 | 20 | 7.4 |
| 139.0 | 160 | 20 | 8.0 |
| 146.9 | 140 | 20 | 8.6 |
| 155.5 | 120 | 20 | 9.4 |
| 164.9 | 100 | 20 | 10.4 |
| 175.3 | 80 | 20 | 11.6 |
| 186.9 | 60 | 20 | 13.3 |
| 200.2 | 40 | 20 | 15.9 |
| 216.1 | 20 | 20 | 20.0 |
| 236.1 | 0 | 0 | 0.0 |

KVAMSELVA

| | |
|--------------------------------------|-----|
| Qminstevassføring [l/s] | 50 |
| Qomløpsventil_maks [l/s] | 780 |
| ΔQ omløpsventil, start [l/s] | 20 |

| t [min] | Qomløpsventil [l/s] | ΔQ omløpsventil [l/s] | Δt [min] |
|---------|---------------------|-------------------------------|------------------|
| 0 | 780 | 20 | 2.9 |
| 2.9 | 760 | 20 | 2.9 |
| 5.8 | 740 | 20 | 3.0 |
| 8.8 | 720 | 20 | 3.0 |
| 11.8 | 700 | 20 | 3.1 |
| 14.9 | 680 | 20 | 3.1 |
| 18.1 | 660 | 20 | 3.2 |
| 21.3 | 640 | 20 | 3.3 |
| 24.5 | 620 | 20 | 3.3 |
| 27.9 | 600 | 20 | 3.4 |
| 31.3 | 580 | 20 | 3.5 |
| 34.8 | 560 | 20 | 3.6 |
| 38.3 | 540 | 20 | 3.6 |
| 42.0 | 520 | 20 | 3.7 |
| 45.7 | 500 | 20 | 3.8 |
| 49.5 | 480 | 20 | 3.9 |
| 53.5 | 460 | 20 | 4.0 |
| 57.5 | 440 | 20 | 4.1 |
| 61.6 | 420 | 20 | 4.3 |
| 65.9 | 400 | 20 | 4.4 |
| 70.3 | 380 | 20 | 4.5 |
| 74.8 | 360 | 20 | 4.7 |
| 79.5 | 340 | 20 | 4.9 |
| 84.4 | 320 | 20 | 5.0 |
| 89.4 | 300 | 20 | 5.2 |
| 94.6 | 280 | 20 | 5.4 |
| 100.1 | 260 | 20 | 5.7 |
| 105.8 | 240 | 20 | 6.0 |
| 111.7 | 220 | 20 | 6.3 |
| 118.0 | 200 | 20 | 6.6 |
| 124.6 | 180 | 20 | 7.0 |
| 131.5 | 160 | 20 | 7.4 |
| 139.0 | 140 | 20 | 8.0 |
| 146.9 | 120 | 20 | 8.6 |
| 155.5 | 100 | 20 | 9.4 |
| 164.9 | 80 | 20 | 10.4 |
| 175.3 | 60 | 20 | 11.6 |
| 186.9 | 40 | 20 | 13.3 |
| 200.2 | 20 | 20 | 15.9 |
| 216.1 | 0 | 0 | 0.0 |

KNUTFOSS

| | |
|--------------------------------------|------|
| Qminstevassføring [l/s] | 400 |
| Qomløpsventil_maks [l/s] | 4800 |
| ΔQ omløpsventil, start [l/s] | 20 |

| t [min] | Qomløpsventil [l/s] | ΔQ omløpsventil [l/s] | Δt [min] |
|---------|---------------------|-------------------------------|------------------|
| 0 | 4800 | 20 | 0.8 |
| 0.8 | 4780 | 20 | 0.8 |
| 1.6 | 4760 | 20 | 0.8 |
| 2.4 | 4740 | 20 | 0.8 |
| 3.3 | 4720 | 20 | 0.8 |
| 4.1 | 4700 | 20 | 0.8 |
| 4.9 | 4680 | 20 | 0.8 |
| 5.7 | 4660 | 20 | 0.8 |
| 6.6 | 4640 | 20 | 0.8 |
| 7.4 | 4620 | 20 | 0.8 |
| 8.2 | 4600 | 20 | 0.8 |
| 9.1 | 4580 | 20 | 0.8 |
| 9.9 | 4560 | 20 | 0.8 |
| 10.7 | 4540 | 20 | 0.8 |
| 11.6 | 4520 | 20 | 0.8 |
| 12.4 | 4500 | 20 | 0.8 |
| 13.3 | 4480 | 20 | 0.8 |
| 14.1 | 4460 | 20 | 0.9 |
| 15.0 | 4440 | 20 | 0.9 |
| 15.8 | 4420 | 20 | 0.9 |
| 16.7 | 4400 | 20 | 0.9 |
| 17.5 | 4380 | 20 | 0.9 |
| 18.4 | 4360 | 20 | 0.9 |
| 19.3 | 4340 | 20 | 0.9 |
| 20.1 | 4320 | 20 | 0.9 |
| 21.0 | 4300 | 20 | 0.9 |
| 21.9 | 4280 | 20 | 0.9 |
| 22.7 | 4260 | 20 | 0.9 |
| 23.6 | 4240 | 20 | 0.9 |
| 24.5 | 4220 | 20 | 0.9 |
| 25.4 | 4200 | 20 | 0.9 |
| 26.2 | 4180 | 20 | 0.9 |
| 27.1 | 4160 | 20 | 0.9 |
| 28.0 | 4140 | 20 | 0.9 |
| 28.9 | 4120 | 20 | 0.9 |
| 29.8 | 4100 | 20 | 0.9 |
| 30.7 | 4080 | 20 | 0.9 |
| 31.6 | 4060 | 20 | 0.9 |
| 32.5 | 4040 | 20 | 0.9 |
| 33.4 | 4020 | 20 | 0.9 |
| 34.3 | 4000 | 20 | 0.9 |
| 35.2 | 3980 | 20 | 0.9 |
| 36.2 | 3960 | 20 | 0.9 |
| 37.1 | 3940 | 20 | 0.9 |
| 38.0 | 3920 | 20 | 0.9 |
| 38.9 | 3900 | 20 | 0.9 |
| 39.8 | 3880 | 20 | 0.9 |
| 40.8 | 3860 | 20 | 0.9 |
| 41.7 | 3840 | 20 | 0.9 |
| 42.6 | 3820 | 20 | 0.9 |
| 43.6 | 3800 | 20 | 0.9 |
| 44.5 | 3780 | 20 | 0.9 |
| 45.5 | 3760 | 20 | 0.9 |
| 46.4 | 3740 | 20 | 1.0 |
| 47.4 | 3720 | 20 | 1.0 |

| | | | |
|-------|------|----|-----|
| 48.3 | 3700 | 20 | 1.0 |
| 49.3 | 3680 | 20 | 1.0 |
| 50.2 | 3660 | 20 | 1.0 |
| 51.2 | 3640 | 20 | 1.0 |
| 52.2 | 3620 | 20 | 1.0 |
| 53.1 | 3600 | 20 | 1.0 |
| 54.1 | 3580 | 20 | 1.0 |
| 55.1 | 3560 | 20 | 1.0 |
| 56.1 | 3540 | 20 | 1.0 |
| 57.0 | 3520 | 20 | 1.0 |
| 58.0 | 3500 | 20 | 1.0 |
| 59.0 | 3480 | 20 | 1.0 |
| 60.0 | 3460 | 20 | 1.0 |
| 61.0 | 3440 | 20 | 1.0 |
| 62.0 | 3420 | 20 | 1.0 |
| 63.0 | 3400 | 20 | 1.0 |
| 64.0 | 3380 | 20 | 1.0 |
| 65.0 | 3360 | 20 | 1.0 |
| 66.0 | 3340 | 20 | 1.0 |
| 67.1 | 3320 | 20 | 1.0 |
| 68.1 | 3300 | 20 | 1.0 |
| 69.1 | 3280 | 20 | 1.0 |
| 70.1 | 3260 | 20 | 1.0 |
| 71.2 | 3240 | 20 | 1.0 |
| 72.2 | 3220 | 20 | 1.0 |
| 73.3 | 3200 | 20 | 1.0 |
| 74.3 | 3180 | 20 | 1.1 |
| 75.4 | 3160 | 20 | 1.1 |
| 76.4 | 3140 | 20 | 1.1 |
| 77.5 | 3120 | 20 | 1.1 |
| 78.5 | 3100 | 20 | 1.1 |
| 79.6 | 3080 | 20 | 1.1 |
| 80.7 | 3060 | 20 | 1.1 |
| 81.8 | 3040 | 20 | 1.1 |
| 82.8 | 3020 | 20 | 1.1 |
| 83.9 | 3000 | 20 | 1.1 |
| 85.0 | 2980 | 20 | 1.1 |
| 86.1 | 2960 | 20 | 1.1 |
| 87.2 | 2940 | 20 | 1.1 |
| 88.3 | 2920 | 20 | 1.1 |
| 89.4 | 2900 | 20 | 1.1 |
| 90.5 | 2880 | 20 | 1.1 |
| 91.6 | 2860 | 20 | 1.1 |
| 92.8 | 2840 | 20 | 1.1 |
| 93.9 | 2820 | 20 | 1.1 |
| 95.0 | 2800 | 20 | 1.1 |
| 96.1 | 2780 | 20 | 1.1 |
| 97.3 | 2760 | 20 | 1.1 |
| 98.4 | 2740 | 20 | 1.2 |
| 99.6 | 2720 | 20 | 1.2 |
| 100.7 | 2700 | 20 | 1.2 |
| 101.9 | 2680 | 20 | 1.2 |
| 103.1 | 2660 | 20 | 1.2 |
| 104.2 | 2640 | 20 | 1.2 |
| 105.4 | 2620 | 20 | 1.2 |
| 106.6 | 2600 | 20 | 1.2 |
| 107.8 | 2580 | 20 | 1.2 |
| 109.0 | 2560 | 20 | 1.2 |

| | | | |
|-------|------|----|-----|
| 110.2 | 2540 | 20 | 1.2 |
| 111.4 | 2520 | 20 | 1.2 |
| 112.6 | 2500 | 20 | 1.2 |
| 113.8 | 2480 | 20 | 1.2 |
| 115.0 | 2460 | 20 | 1.2 |
| 116.2 | 2440 | 20 | 1.2 |
| 117.5 | 2420 | 20 | 1.2 |
| 118.7 | 2400 | 20 | 1.2 |
| 120.0 | 2380 | 20 | 1.3 |
| 121.2 | 2360 | 20 | 1.3 |
| 122.5 | 2340 | 20 | 1.3 |
| 123.7 | 2320 | 20 | 1.3 |
| 125.0 | 2300 | 20 | 1.3 |
| 126.3 | 2280 | 20 | 1.3 |
| 127.6 | 2260 | 20 | 1.3 |
| 128.9 | 2240 | 20 | 1.3 |
| 130.2 | 2220 | 20 | 1.3 |
| 131.5 | 2200 | 20 | 1.3 |
| 132.8 | 2180 | 20 | 1.3 |
| 134.1 | 2160 | 20 | 1.3 |
| 135.4 | 2140 | 20 | 1.3 |
| 136.7 | 2120 | 20 | 1.3 |
| 138.1 | 2100 | 20 | 1.3 |
| 139.4 | 2080 | 20 | 1.4 |
| 140.8 | 2060 | 20 | 1.4 |
| 142.1 | 2040 | 20 | 1.4 |
| 143.5 | 2020 | 20 | 1.4 |
| 144.9 | 2000 | 20 | 1.4 |
| 146.3 | 1980 | 20 | 1.4 |
| 147.7 | 1960 | 20 | 1.4 |
| 149.1 | 1940 | 20 | 1.4 |
| 150.5 | 1920 | 20 | 1.4 |
| 151.9 | 1900 | 20 | 1.4 |
| 153.3 | 1880 | 20 | 1.4 |
| 154.7 | 1860 | 20 | 1.4 |
| 156.2 | 1840 | 20 | 1.5 |
| 157.6 | 1820 | 20 | 1.5 |
| 159.1 | 1800 | 20 | 1.5 |
| 160.6 | 1780 | 20 | 1.5 |
| 162.1 | 1760 | 20 | 1.5 |
| 163.5 | 1740 | 20 | 1.5 |
| 165.0 | 1720 | 20 | 1.5 |
| 166.5 | 1700 | 20 | 1.5 |
| 168.1 | 1680 | 20 | 1.5 |
| 169.6 | 1660 | 20 | 1.5 |
| 171.1 | 1640 | 20 | 1.5 |
| 172.7 | 1620 | 20 | 1.6 |
| 174.2 | 1600 | 20 | 1.6 |
| 175.8 | 1580 | 20 | 1.6 |
| 177.4 | 1560 | 20 | 1.6 |
| 179.0 | 1540 | 20 | 1.6 |
| 180.6 | 1520 | 20 | 1.6 |
| 182.2 | 1500 | 20 | 1.6 |
| 183.8 | 1480 | 20 | 1.6 |
| 185.5 | 1460 | 20 | 1.7 |
| 187.1 | 1440 | 20 | 1.7 |
| 188.8 | 1420 | 20 | 1.7 |
| 190.5 | 1400 | 20 | 1.7 |

| | | | |
|-------|------|----|-----|
| 192.1 | 1380 | 20 | 1.7 |
| 193.8 | 1360 | 20 | 1.7 |
| 195.6 | 1340 | 20 | 1.7 |
| 197.3 | 1320 | 20 | 1.7 |
| 199.0 | 1300 | 20 | 1.8 |
| 200.8 | 1280 | 20 | 1.8 |
| 202.6 | 1260 | 20 | 1.8 |
| 204.3 | 1240 | 20 | 1.8 |
| 206.1 | 1220 | 20 | 1.8 |
| 208.0 | 1200 | 20 | 1.8 |
| 209.8 | 1180 | 20 | 1.8 |
| 211.6 | 1160 | 20 | 1.9 |
| 213.5 | 1140 | 20 | 1.9 |
| 215.4 | 1120 | 20 | 1.9 |
| 217.3 | 1100 | 20 | 1.9 |
| 219.2 | 1080 | 20 | 1.9 |
| 221.1 | 1060 | 20 | 2.0 |
| 223.1 | 1040 | 20 | 2.0 |
| 225.1 | 1020 | 20 | 2.0 |
| 227.0 | 1000 | 20 | 2.0 |
| 229.1 | 980 | 20 | 2.0 |
| 231.1 | 960 | 20 | 2.0 |
| 233.1 | 940 | 20 | 2.1 |
| 235.2 | 920 | 20 | 2.1 |
| 237.3 | 900 | 20 | 2.1 |
| 239.4 | 880 | 20 | 2.1 |
| 241.5 | 860 | 20 | 2.2 |
| 243.7 | 840 | 20 | 2.2 |
| 245.9 | 820 | 20 | 2.2 |
| 248.1 | 800 | 20 | 2.2 |
| 250.3 | 780 | 20 | 2.3 |
| 252.6 | 760 | 20 | 2.3 |
| 254.9 | 740 | 20 | 2.3 |
| 257.2 | 720 | 20 | 2.3 |
| 259.5 | 700 | 20 | 2.4 |
| 261.9 | 680 | 20 | 2.4 |
| 264.3 | 660 | 20 | 2.4 |
| 266.7 | 640 | 20 | 2.5 |
| 269.2 | 620 | 20 | 2.5 |
| 271.7 | 600 | 20 | 2.5 |
| 274.2 | 580 | 20 | 2.6 |
| 276.8 | 560 | 20 | 2.6 |
| 279.4 | 540 | 20 | 2.6 |
| 282.1 | 520 | 20 | 2.7 |
| 284.7 | 500 | 20 | 2.7 |
| 287.5 | 480 | 20 | 2.8 |
| 290.2 | 460 | 20 | 2.8 |
| 293.0 | 440 | 20 | 2.9 |
| 295.9 | 420 | 20 | 2.9 |
| 298.8 | 400 | 20 | 3.0 |
| 301.8 | 380 | 20 | 3.0 |
| 304.8 | 360 | 20 | 3.1 |
| 307.8 | 340 | 20 | 3.1 |
| 310.9 | 320 | 20 | 3.2 |
| 314.1 | 300 | 20 | 3.2 |
| 317.4 | 280 | 20 | 3.3 |
| 320.7 | 260 | 20 | 3.4 |
| 324.0 | 240 | 20 | 3.4 |

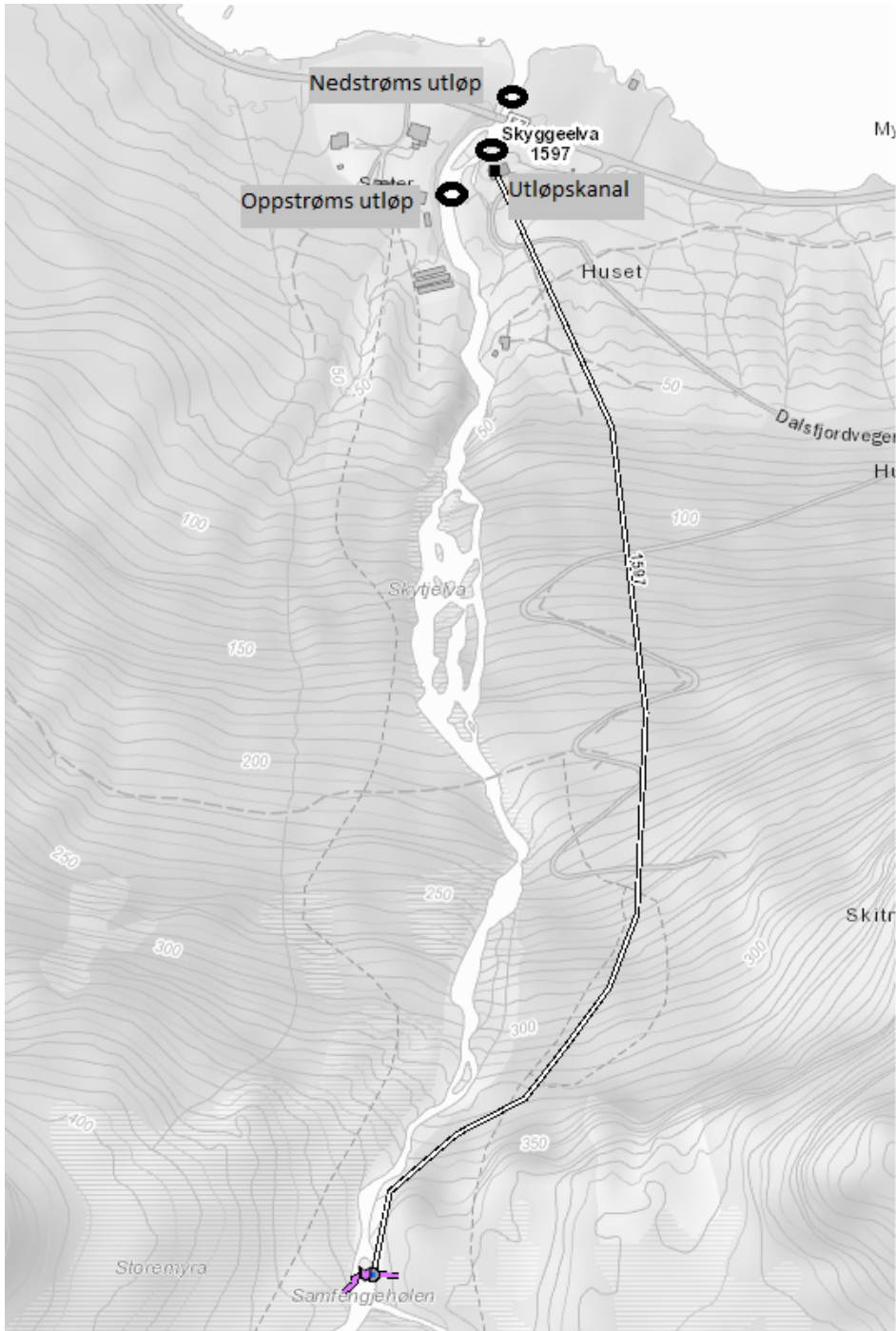
| | | | |
|-------|-----|----|-----|
| 327.5 | 220 | 20 | 3.5 |
| 331.0 | 200 | 20 | 3.6 |
| 334.6 | 180 | 20 | 3.7 |
| 338.3 | 160 | 20 | 3.8 |
| 342.1 | 140 | 20 | 3.9 |
| 346.0 | 120 | 20 | 4.0 |
| 349.9 | 100 | 20 | 4.1 |
| 354.0 | 80 | 20 | 4.2 |
| 358.2 | 60 | 20 | 4.3 |
| 362.5 | 40 | 20 | 4.5 |
| 367.0 | 20 | 20 | 4.6 |
| 371.6 | 0 | 0 | 0.0 |

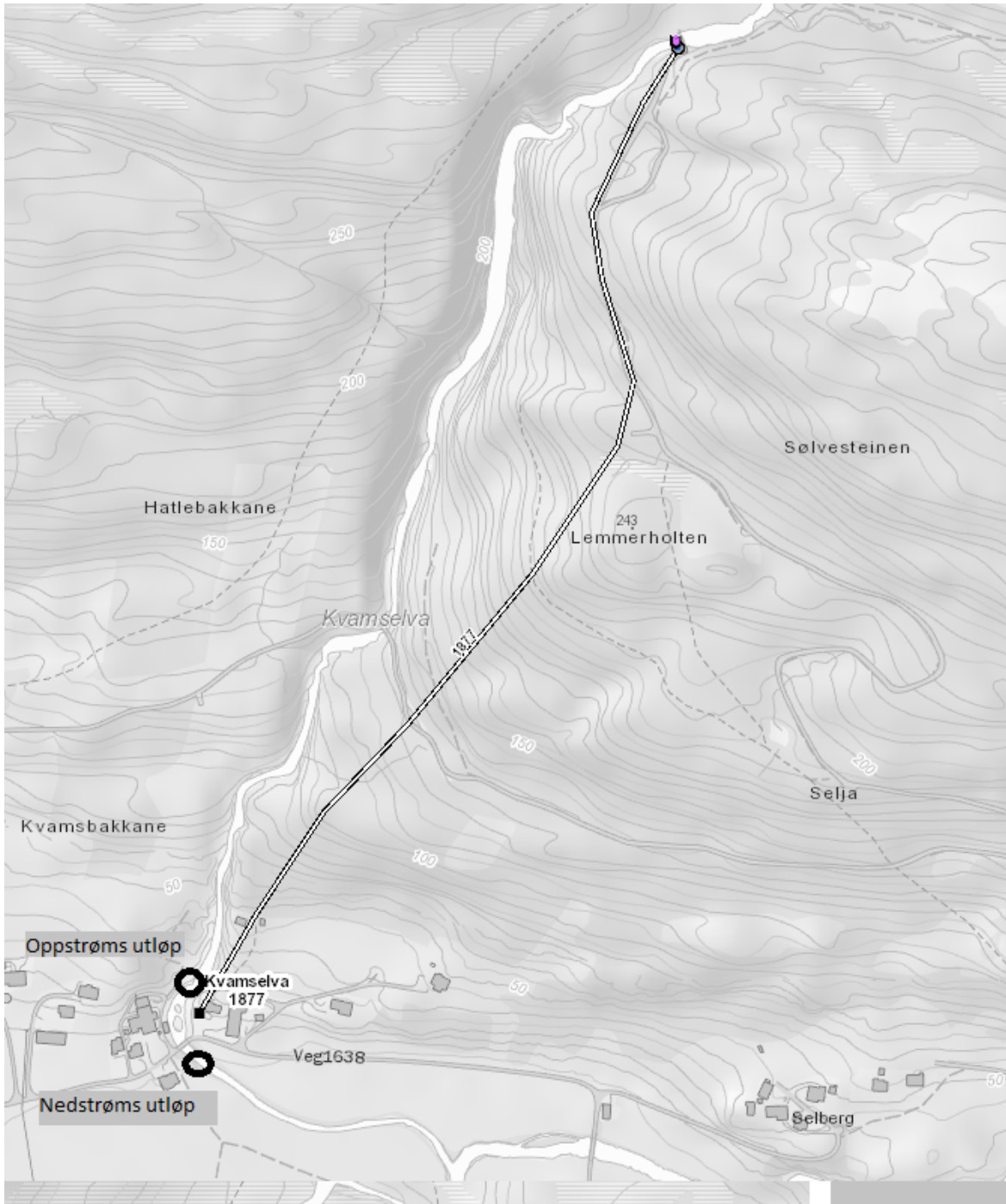
TUA

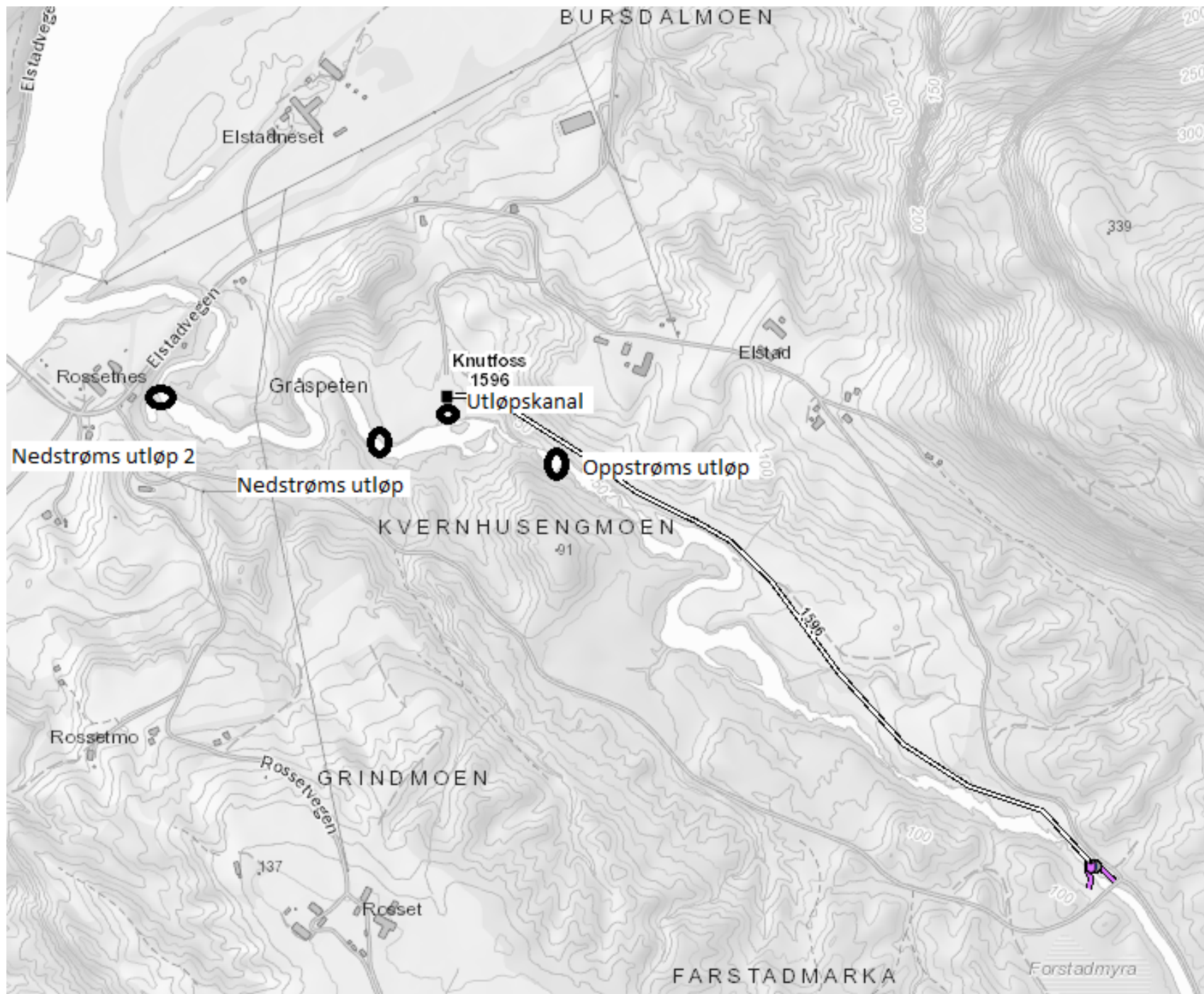
| | |
|--------------------------------------|-----|
| Qminstevassføring [l/s] | 40 |
| Qomløpsventil_maks [l/s] | 750 |
| ΔQ omløpsventil, start [l/s] | 20 |

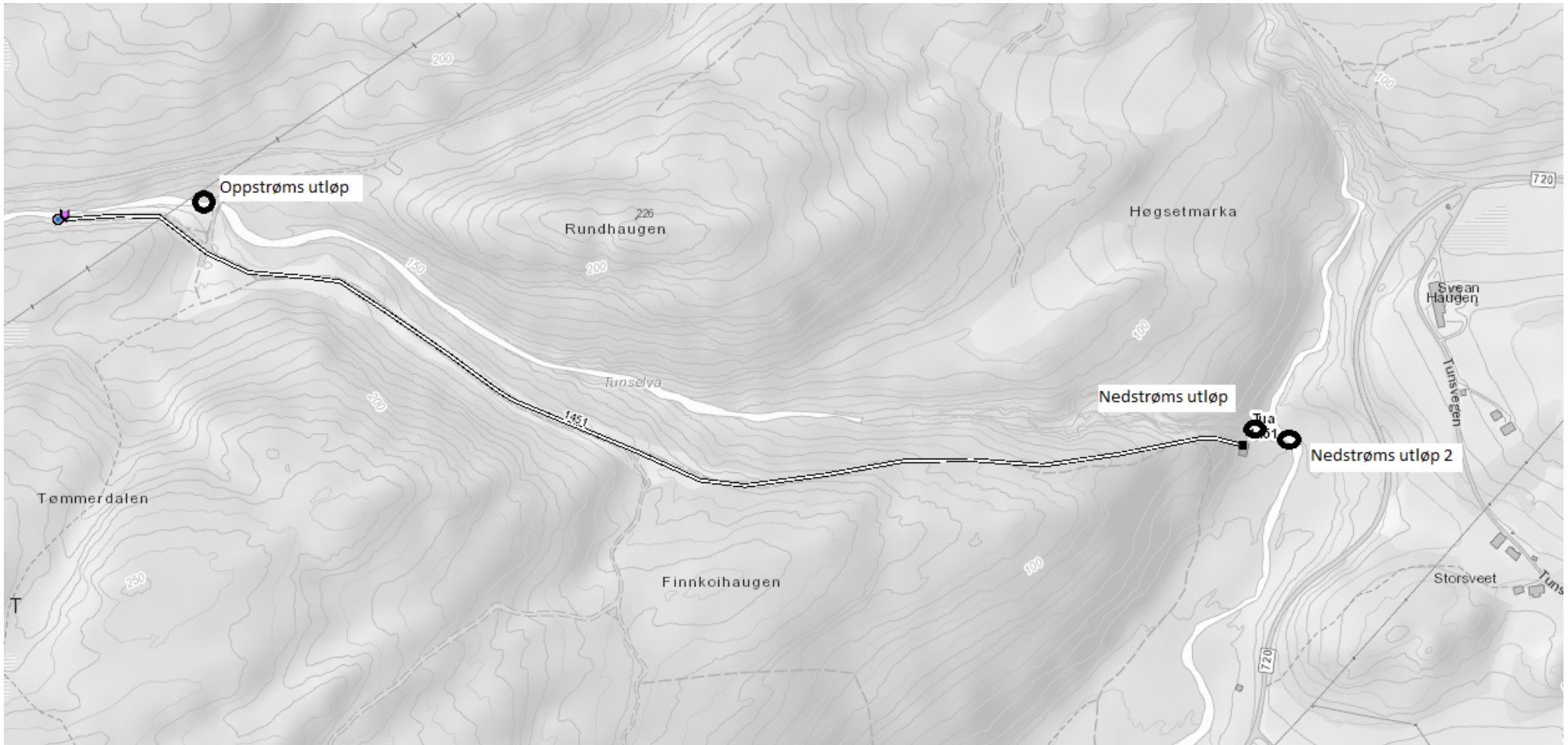
| t [min] | Qomløpsventil [l/s] | ΔQ omløpsventil [l/s] | Δt [min] |
|---------|---------------------|-------------------------------|------------------|
| 0 | 750 | 20 | 3.0 |
| 3.0 | 730 | 20 | 3.0 |
| 6.0 | 710 | 20 | 3.1 |
| 9.1 | 690 | 20 | 3.1 |
| 12.3 | 670 | 20 | 3.2 |
| 15.5 | 650 | 20 | 3.3 |
| 18.7 | 630 | 20 | 3.3 |
| 22.1 | 610 | 20 | 3.4 |
| 25.5 | 590 | 20 | 3.5 |
| 29.0 | 570 | 20 | 3.6 |
| 32.5 | 550 | 20 | 3.6 |
| 36.2 | 530 | 20 | 3.7 |
| 39.9 | 510 | 20 | 3.8 |
| 43.7 | 490 | 20 | 3.9 |
| 47.7 | 470 | 20 | 4.0 |
| 51.7 | 450 | 20 | 4.1 |
| 55.8 | 430 | 20 | 4.3 |
| 60.1 | 410 | 20 | 4.4 |
| 64.5 | 390 | 20 | 4.5 |
| 69.0 | 370 | 20 | 4.7 |
| 73.7 | 350 | 20 | 4.9 |
| 78.6 | 330 | 20 | 5.0 |
| 83.6 | 310 | 20 | 5.2 |
| 88.8 | 290 | 20 | 5.4 |
| 94.3 | 270 | 20 | 5.7 |
| 100.0 | 250 | 20 | 6.0 |
| 105.9 | 230 | 20 | 6.3 |
| 112.2 | 210 | 20 | 6.6 |
| 118.7 | 190 | 20 | 7.0 |
| 125.7 | 170 | 20 | 7.4 |
| 133.2 | 150 | 20 | 8.0 |
| 141.1 | 130 | 20 | 8.6 |
| 149.7 | 110 | 20 | 9.4 |
| 159.1 | 90 | 20 | 10.4 |
| 169.5 | 70 | 20 | 11.6 |
| 181.1 | 50 | 20 | 13.3 |
| 194.4 | 30 | 20 | 15.9 |
| 210.3 | 10 | 10 | 10.0 |
| 220.3 | 0 | 0 | 0.0 |

Vedlegg 3 Kart over loggarplasseringar ved feltforsøk









Vedlegg 4 Rådata frå loggarar (elektronisk)

Vedlegg 5 Bilete og filmar (elektronisk)



NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

MIDDELTHUNSGATE 29
POSTBOKS 5091 MAJORSTUEN
0301 OSLO
TELEFON: (+47) 22 95 95 95

www.nve.no