



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2023 60 stp

Fakultet for Miljøvitenskap og Naturforvaltning

Vannføringskurver for Bølstadbekken og temperaturmålinger i innløpsbekker til Årungen

Rating curves for Bølstadbekken and temperature
observations in inflow streams to lake Årungen

Tonje Aspelund

Master i Miljø og Naturressurser, Limnologi og Vannressurser

Forord

Jeg hadde absolutt ingen planer om å skrive masteroppgave, men da Nils-Otto Kitterød foreslo det og lovet å lede meg trygt i havn, gikk jeg inn for det. Det har vært to spennende og utfordrende år, men med god støtte og kjærlighet fra min kjære mann, André, og gledessprederen, Sverre, har jeg holdt motet oppe.

Jeg vil takke min veileder Nils-Otto Kitterød og medveileder Frode Kvernhaugen ved NVE for god veiledning og tilgjengelighet. Det har vært en fryd å være ute i felt. Jeg har vært heldig og fått hjelp av mine medstudenter på lesesalen, særlig Gry Helen, som har vært min sparringspartner og feltassistent. Dere som har vært med i felt har gjort oppgaven mulig, så takk til Simen, Trond, mamma og André. Takk til Vannforeningen for økonomisk støtte.

Da oppgaven tok kvelertak i form av matematiske formler var det godt med venner som visste å løsne grepet og lot meg puste fritt.

Sammendrag

Lagdelling i en innsjø påvirker biokjemiske parametere og livet i vannet. Temperatur er avgjørende for økologien i vann da alt fra tilgang på oksygen til metabolisme hos vannlevende fauna påvirkes av dette. Det finnes mye kunnskap om når lagdeling og miksing skjer og hvordan vannet varmes opp og blandes i en innsjø, men det er færre studier om hvilken rolle innløpsbekker og elver har på vannmassene i innsjøen. Global oppvarming forventes å gi økt temperatur, mer tørke og flere ekstreme nedbørhendelser, samt kortere periode med is på innsjøer. I denne oppgaven har det blitt laget vannføringskurver for Bølstadbekken i Årungen nedbørfelt og vanntemperaturen i flere av Årungen's innløpsbekker har blitt målt i løpet av ett år. Vannføringsmålingene er et viktig bidrag for å forstå temperaturforholdene i innsjøen og tilførsel av oppløste stoffer. Resultater fra denne masteroppgaven kan brukes for å forstå sammenhengen mellom bekketemperatur, vannføring og temperaturutviklingen i Årungen. Ved å sammenstille vannføring, bekketemperatur og temperaturen i Årungen, kan vi se at elvetemperaturen endret seg ved høy vannføring og at dette igjen påvirket temperaturen i Årungen. I dette datamaterialet ble slike hendelser tydeligst demonstrert ved nedbørshendelser i november og desember.

Abstract

Stratification in a lake affects biochemical parameters and life in the water. Temperature is crucial for the ecology in water as everything from access to oxygen to the metabolism of aquatic fauna is affected by this. There is a lot of knowledge about when stratification and mixing occur and how the water is heated and mixed in a lake, but there are fewer studies about the role that inflow streams and rivers have on the body of water in the lake. Global warming is expected to result in increased temperatures, more drought and more extreme rainfall events, as well as a shorter periods of ice cover on lakes. In this thesis, water discharge rating curves have been created for the Bølstad stream in the Årungen catchment and the water temperature in several of Årungen's inflowing streams has been measured over the course of one year. The water discharge measurements are important for understanding the temperature conditions in the lake and the supply of dissolved matter. Results from this master's thesis can be used to understand the relationship between stream temperature, water discharge and the temperature development in lake Årungen. By comparing water discharge, stream temperature and the temperature in lake Årungen, we can see that the river temperature changed with high flow rates and, which in turn affected the temperature in lake Årungen. In this data material, such events were most clearly demonstrated by rainfall events in November and December.

Innhold

Forord	1
Sammendrag	2
Abstract	3
Innhold	4
1 Innledning	1
1.1 Elvers påvirkning på innsjøtemperatur	1
1.2 Hvorfor vi lager vannføringskurver	2
1.3 Oppgavens formål	4
2 Materialer, teori og metode	5
2.1 Området og Bølstadbekken	5
2.2 Målepunkter	6
2.2.1 Temperatur	6
2.2.2 Nedbør og lufttemperatur	6
2.2.3 Vannstand	6
2.2.4 Vannføring	6
2.3 Froude-tallet og kritisk vannstand	7
2.4 Saltfortynningsmetoden	9
2.5 Kalibrering	10
2.5.1 Utrekning av vannføring	10
2.6 Vannføringskurve	11
2.7 Dataprosessering og statistisk analyse	12
2.7.1 Sildre og HIRA	12
2.7.2 VFkurve3 og Bayesiansk metodikk	13
3 Resultater	14
3.1 Nivellering	14
3.2 Vannstand og nedbør	14
3.3 Kalibrering	15
3.4 Vannføring	15
3.4.1 Vannføringskurve	16
3.4.2 Hydrogram	20
3.5 Temperatur i tilløpsbekkene og Årungen	22
3.6 Temperatur og vannføring	24
4 Diskusjon	25
4.1 Plassering av målestasjon og Froude-tallet	25

4.2	Isoppstuvning.....	25
4.3	Kalibrering og k-faktor.....	25
4.4	Vannføringskurver.....	26
4.4.1	Tverrsnittprofilsegmenter	27
4.5	Usikkerhet.....	27
4.6	Temperatur.....	28
4.7	Temperatur og vannføring	28
5	Konklusjon.....	30
	Referanseliste	31
	Vedlegg	32

1 Innledning

Denne oppgaven består i hovedsak av innsamling av data, som kan brukes videre til å svare på spørsmål om klimaendringers effekt på elver og bekkers temperatur, som igjen kan ha en effekt på det organiske livet i en innsjø.

1.1 Elvers påvirkning på innsjøtemperatur

Bekker og elver transporterer vann fra nedbørsfeltet til havet og er en viktig del av vannets kretsløp. I norsk natur skjer denne transporten ofte via en eller flere innsjøer. Elvene fungerer som «landskapsarkitekter» og er en transportåre for blant annet løsmasser og næringsstoffer. I tillegg til partikler og oppløste stoffer «transporteres» også temperaturen med vannmassene. Alt levende er avhengig av spesifikke temperaturer for at biologiske prosesser skal fungere. Fiskers metabolisme påvirkes av temperatur og vekstraten til forskjellige organismer stiger med økende temperatur.

Innsjøtemperatur påvirkes i hovedsak av kort- og langbølget innstråling, samt vind og turbulens som følge av vind. Vannmassene som strømmer inn via elver kan også skape en slik turbulens i innsjøer (Morillo et al., 2008). Tettheten til vann er avhengig av temperaturen og dette er grunnen til at vi i innsjøer kan se lagdeling (stratifisering) i vannmassene. Som et resultat av overflatevind i samspill med varmeveksling mellom luft og vann, oppstår det sesongbasert sirkulasjon og lagdelinger i innsjøen. Observasjoner av innsjøer fra ulike deler av den nordlige hemisfæren tyder på at disse lagdelingene bryter opp tidligere på våren enn før. Dette som følge av at ismelting begynner tidligere og kraftig vind som har innvirkning på miksing. Som følge av høyere temperatur senere på året ,inntreffer også lagdelingen senere om høsten (Woolway et al., 2021). Woolway et al. så at klimaendringer har en stor innvirkning på lagdelingsfenologien og at dette igjen vil gi store innvirkninger på innsjøens økosystem. Ducharme (2008) kunne i sin studie se at vanntemperaturen i elver fulgte lufttemperaturens svingninger. Med observert demping og tidsforsinkelse kunne elvevannstemperaturen beregnes ut ifra endringer i lufttemperatur. Videre ble effekten av varmere elvevann koblet til reduksjon av løst oksygen (DO) og økning av fytoplankton gjennom vekstsesongen.

Dette viser at temperatur ikke bare påvirker metabolismen i organismer, men også hvordan næringsstoffer opptrer i vannmassene. Mengden DO som finnes i vann forteller hvor mye oksygen som er tilgjengelig for vannlevende organismer. Løst oksygen har et omvendt proporsjonalt forhold til temperatur. Det betyr at når temperaturen øker, minker mengden DO

i vannmassene, noe som ses tydelig i de øvre vannmassene (epilimnion). DO er viktig for biodiversiteten, vannkjemien og gassutslipp/ nedbrytning, samt drikkevannskvalitet der det er aktuelt. Reduksjon og fravær av DO i hypolimnion kan føre til at flere akvatiske arter, som er avhengig av kjølig oksygenrikt vann, ikke har god nok vannkvalitet (Jane et al., 2021). I studien til Jane et al. så de at det var mulig å forutsi oksygenutviklingen i de øvre vannmassene, men i de dype vannmassene var det flere faktorer som spilte inn og det var vanskelig å forutsi hvordan DO ville utvikle seg. Faktorene som spilte inn, var vannklarhet/turbiditet og lagdeling.

Morillo et al. (2008) viser at måten en elv strømmer inn i og blandes med en innsjø har viktige konsekvenser for innsjøens planktonliv. Her så de også at innløpselvene forplantet seg i forskjellige dyp og senere mikset seg vertikalt inn i vannmassen, noe som støtter tanken om at temperert elvevann kan ha en effekt på innsjøens miksing og lagdeling. For å forstå hvordan algeoppblomstringer utvikler seg i en innsjø, er det derfor viktig å se på elvevannets påvirkning. Romarheim et al. (2012) studerte algeoppblomstring i Årungen og hvilke faktorer som er viktige for vekst av cyanobakterier og dannelse av cyanotoksiner. De rapporterte at det var store algeoppblomstringer i løpet av sommeren, og at det kunne skyldes næringsrike salter som ble vasket ut grunnet mye nedbør i perioden.

Med klimaendringene ser vi at tørkeperioder blir mer intense og lenger, ekstremnedbør opptrer hyppigere og det blir mer regnflom og mindre smelteflom (Hanssen-Bauer et al., 2009). Dette vil i sin tur ha innvirkning på elver med lav vannføring i tørkeperiodene og at ekstremnedbøren da blir sugd raskt opp av omgivelsene. For å få en oversikt over korrelasjon mellom vannmasser, temperatur og temperaturendring i innsjøen må en først innhente data om vannføringen. Hvor mye vann som renner i bekken til enhver tid kan en finne ut ved hjelp av en vannføringskurve.

1.2 Hvorfor vi lager vannføringskurver

Vannføringskurven viser forholdet mellom vannstanden og vannføringen, altså mengden vann som passerer målepunktet for vannstand per sekund. Ved å registrere vannstand, kan man dermed estimere hvor mye vann som renner i den aktuelle elva. Dette er nødvendig informasjon for å beregne sannsynlighet for flom eller tørke. Det er også nødvendig for å forklare endringer i vannkvalitet og biologien i innsjøen.

Å lage en vannføringskurve er utfordrende fordi alle bekker og elver har individuell utforming. Selv om vannføringskurvens form er lik, vil relasjonen mellom vannstand og

vannføring være unik for den enkelte bekk eller elv. Vannføringskurven for den aktuelle elven som ønskes å studeres, må utvikles over tid. I tillegg er en avhengig av å få gjort måling på gunstige tidspunkt, slik at en kan dekke flest mulig vannstandspunkter. For å oppnå dette er en avhengig av godt vær, som i et hydrologisk perspektiv er alt fra lite til mye regn, snøsmelting, flom og tørkeperioder. Sammen med endringer i tverrsnittprofil og kritisk strøm, er dette faktorer som påvirker alle forhold i en elv. Ved norske målestasjoner er det vanlig med et «knekk» rett etter bestemmende profil og kritisk strømming oppstår (Petersen-Øverleir, 2008). Måling av vannføring kan være utfordrende, særlig når en vil lage en god vannføringskurve. I visse tilfeller kan en optimist bli lurt hvis det plutselig regner masse etter en lang tørkeperiode. Vannføringen øker lite i slike tilfeller, da planter, trær og jorda suger opp omtrent alt regnvannet før det havner i elva. Sorteberg et al. (2018) analyserte det statistiske forholdet mellom ekstremnedbørhendelser og peak flow i små nedbørfelt. Det ble ikke funnet noen korrelasjon mellom nedbørhendelser og avrenning til elver, da jordas vannmetningsgrad vil ha en innvirkning.

Det er enkelt å måle vannstand, sammenliknet med vannføring. Det som skal til, er en målestav (hvor vannstand avleses manuelt) eller trykksensor (som må kalibreres ved hjelp av nivellering og å måle vannstand manuelt). Trykksensoren vil gi et best bilde av vannstand, da det måles kontinuerlig i det tidsintervallet den er stilt inn på. Dette gir gode tidsserier på hvordan vannstanden endres gjennom året. Det vil også kunne gi en indikator på om elven demmes opp av is/sarr eller vegetasjon som forflyttes ved høy vannføring.

I elver med konstruert overløp er det lett å regne ut vannføringen. Da kan vannføring formuleres slik;

$$Q = v_c * A \tag{1}$$

Der Q er vannføring, v_c er kritisk hastighet og A er arealet av tverrsnittet i overløpet.

Ved naturlig elveprofiler er det ofte mer gunstig å bruke volum/tid-prinsippet;

$$Q = \frac{V}{t} \tag{2}$$

Der V er volum vann som renner forbi (eller fylles opp i en bølge) i løpet av tiden t . Volum vann kan beregnes ved å måle fortykning av et sporstoff. I dette prosjektet har vi brukt vanlig bordsalt (NaCl) som sporstoff. Metoden beskrives nærmere nedenfor.

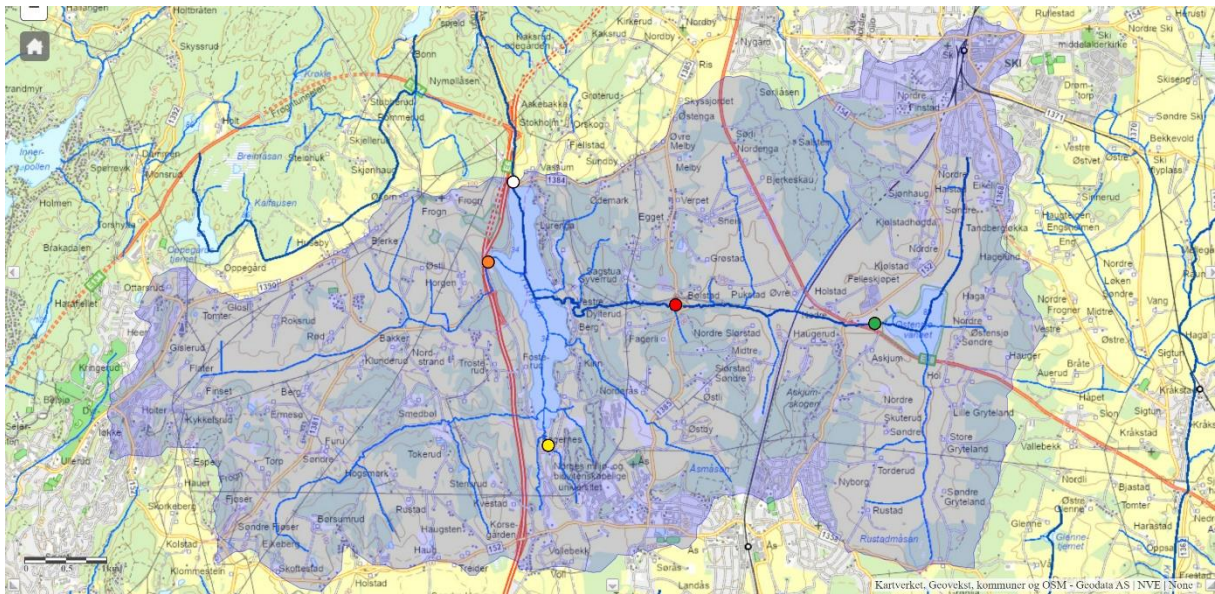
1.3 Oppgavens formål

Formålet med oppgaven er å estimere og lage en vannføringskurve for Bølstadbekken og måle temperatur i innløpsbekker i nedbørfeltet. Årungen, som innsjø, har blitt grundig studert i lang tid. Hvis vi ser bort fra Skuterudbekken, som renner inn i Østensjøvannet, er tilløpsbekkene inn i Årungen imidlertid lite forsket på og tidligere data er ikke funnet. Data som samles inn i denne oppgaven kan være med på å svare på spørsmål om tilløpsbekkenes temperaturer påvirker Årungen temperatur og om effekten av høy vannføring gir mer/ synlige utslag på Årungen. Dette kan gi en hydrologisk «input» for vertikal temperaturmodellering i innsjøer som kan brukes til fremtidig forskning.

2 Materialer, teori og metode

Her vil jeg først fortelle om Årungen nedbørfelt, hvor oppgavens feltarbeid er gjennomført, og om målepunktene. Deretter kommer informasjon om metoder som er brukt, flettet sammen med teori.

2.1 Området og Bølstadbekken



Figur 2.1. Årungen nedbørfelt (NEVINA). Punktene representerer målestasjonene; Rød - Bølstadbekken; grønn - utløp Østensjøvannet; gul - Vollebekken; oransje - Storgrava; hvit – utløp til Årungen og enden av nedbørfeltet. Nedbørfeltet er generert i NEVINA, nevina.nve.no.

Oppgavens feltarbeid foregikk i Årungen nedbørfelt (Figur 2.1), nærmere bestemt innsjøens innløp med ekstra fokus på Bølstadbekken. Bølstadbekken strekker seg fra nedbørfeltets minste innsjø, Østensjøvannet, og til Årungen, som er den største innsjøen. Hele nedbørfeltet befinner seg under marin grense og er i hovedsak preget av jordbruk, men skogbruk og tett bebyggelse inngår også som en viktig del (NEVINA). Årungenelva renner videre ut i Bunnefjorden. Ås-trinnet og Ski-trinnet avgrenser feltet i henholdsvis sør og nord. Det er beregnet at arealet er dekket med 66% leire (V.Figur 3V.Figur 3). Nedbørfeltet har et jordbruksareal på 48%. Begge innsjøene er sterkt preget av eutrofiering som følge av mye jordbruk i lang tid.

Årungen er et resultat av isens tilbaketrekning og er demmet opp i nord av ski-trinnet. På et tidspunkt skjedde det en katastrofetapping og vannstanden endret seg med ca. 16 meter (Abrahamsen et al., 1995). Dette kan sees i landskapet, men merkes særlig på flere av innsjøens tilløpsbekker der de meandrerer gjennom marine leiravsetninger (tidligere

innsjøbunn) og videre ut i Årungen. Dette gir et utydelig skille på hvor bekk- og innsjøskillet går.

2.2 Målepunkter

2.2.1 Temperatur

I denne oppgaven ble det målt temperatur i innløpsbekkene, samt vannføring i Bølstadbekken. I november 2021, ble det utplassert totalt 5 temperaturloggere (Figur 2.1) av typen HOBO pendant Temperature/light 64K Data Logger fra Onset Brands. Én logger i hver av de tre største innløpsbekkene, Bølstadbekken, Storegrava og Vollebekken, én logger i utløpet av Årungen og én logger i utløpet av Østensjøvannet. Alle ble bundet godt fast til tunge steiner slik at de ikke skulle drive bort i flomperioder. Loggerne ble festet i et tau, bundet fast til elvebredden, slik at det skulle bli lett å dra dem opp senere.

Temperaturloggerne registrerte temperatur hver time i perioden 19.11.21-07.12.22. Alle loggerne ble funnet på samme sted hvor de ble utplassert. I tillegg til disse tidsseriene blir det i oppgaven også brukt tidsserier fra NMBUs egen målestasjon i Årungen. Perioden som er brukt i denne oppgaven er fra 19.11.21 til 01.02.23.

Formålet er å kunne se hvilken temperatur vannmassene har ved store vannføringsperioder kort tid før det renner ut i Årungen og dataene kan brukes videre til å si noe om effekten temperaturen har på Årungen.

2.2.2 Nedbør og lufttemperatur

Nedbør- og temperaturdata er hentet fra NMBUs feltstasjon på Søråsjordet ved Ås sentrum hvor de har et helautomatisert feltlaboratorium for bioklimatisk studier (BIOKLIM).

2.2.3 Vannstand

Trykksensor for vannstandsmåling ble plassert oppstrøms for broen ved Gamle Kongevei (tursti). Dette punktet har en naturlig terskel. Med en trykkmåler i elva kan vannstand leses av over lengre perioder og man kan lage tidsserier. I Bølstadbekken ble det, i samarbeid med NVE, plassert ut en trykkmåler av typen OTT ecoLog 500 V1.03 Water Level Logger. Denne registrerer vannstand hvert kvarter og disse dataene blir sendt til NVEs database to ganger i døgnet. Dataene er tilgjengelige på Sildre (Sildre).

2.2.4 Vannføring

Vannføringen ble målt med saltfortynningsmetoden innenfor ca. 50 meter nedstrøms fra trykksensoren, avhengig av vannføringen.

2.3 Froude-tallet og kritisk vannstand

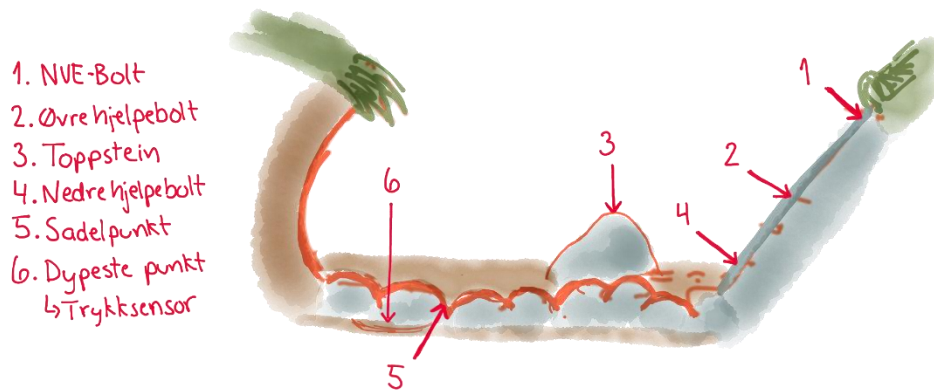
For å få en pålitelig vannstandsmåling må vannstrømmen over terskelpunktet være subkritisk. Det vil si at bølgehastigheten er raskere enn vannstrømmen og kan defineres som Froudes tall < 1 . Da kan en se at bølger brer seg oppover strømmen ved å kaste en stein i vannet. Froudes tall er et dimensjonsløst tall som sier noe om relasjonen mellom hastigheten til vannet (v) og forplantningshastigheten til overflatebølgen (v_w) (Hendriks, 2010):

$$Fr = \frac{v}{v_w} = \frac{v}{\sqrt{gH}} \quad (3)$$

Ved superkritisk strøm vil ikke bølger kunne bre seg mot strømmen og Froude-tallet vil være > 1 . Der Froude-tallet, $Fr = 1$, kalles kritisk hastighet, v_c . Dette er overgangen fra subkritisk til superkritisk strøm, som kan observeres i et fossefall eller motsatt, fra superkritisk til subkritisk strøm hvor en kan observere et hydraulisk hopp. Ved slike steder i elva eller bekken er vannstanden entydig bestemt. Denne vannstanden kalles kritisk vannstand:

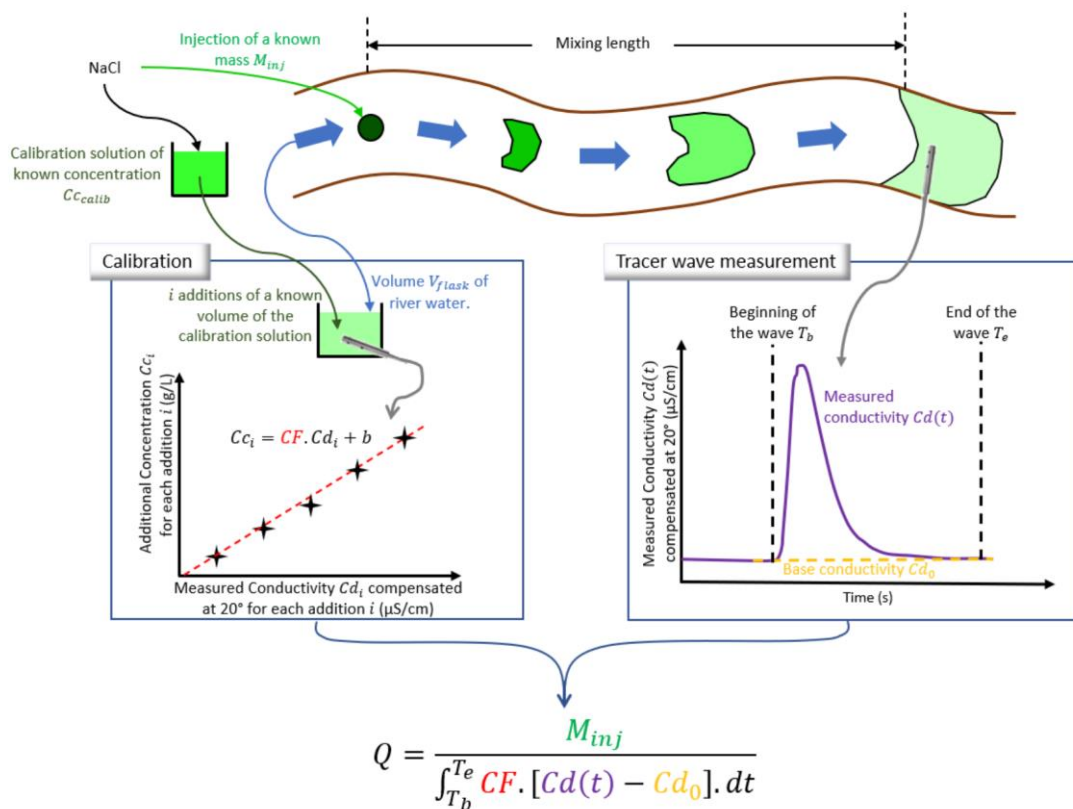
$$H_c = \frac{v_c^2}{g} \quad (4)$$

I dette tilfellet ble et egnet målested funnet, og tre bolter ble boret inn i fjellsiden/elvbredden. Boltene og en stødig stein ble nivellert (Tabell 3.1). Ved hjelp av disse boltene kan vannstanden måles uten større problem. Den manuelle vannstandsmålingen brukes for å kvalitetskontrollere vannstandsmålingene fra trykksensoren. Målebolter ble brukt i stedet for målestav av praktiske grunner. Sadelpunktet for det bestemmende profilet ble målt for å anslå h_0 (se likning (6)). Dette er et omtrentlig mål, fordi det er vanskelig å si hva vannstanden er der vannføringen er $0 \text{ m}^3/\text{s}$.



- 1. NVE-Bolt
- 2. Øvre hjelpebolt
- 3. Toppstein
- 4. Nedre hjelpebolt
- 5. Sadelpunkt
- 6. Dybeste punkt
↳ Trykksensor

Figur 2.2. Skisse av elveprofilen. Punkt 1,2 og 4 er boltene som ble boret inn i «svaberget». Punkt 3 er Toppsteinen som fungerer som måleutgangspunkt for vannstand. Punkt 5 er det laveste punktet på terskelen, der $Q \sim 0$, sadelpunktet. Punkt 6 er det dybeste punktet i bassenget og der hvor trykksensoren ble plassert.



Figur 2.3. Hauet, AC (2020) Gjennomførelsen av saltfortynningsmetoden og prinsippene som ligger til grunn. I: Hauet, A. C. (2020). Uncertainty of salt discharge measurement: The SUNY Framework, NVE.

2.4 Saltfortynningsmetoden

Det er flere måter å gjøre vannføringsmålinger på og i denne oppgaven ble saltfortynningsmetoden benyttet. Denne metoden passer godt til turbulente bekker og elver (Hendriks, 2010) og tar utgangspunkt i å måle vannets ledningsevne før, under og etter utslipp av en oppmålt mengde salt. Når saltkonsentrasjonen forandres, endres også ledningsevnen. Dette er en lineær sammenheng. Saltet som ble brukt er vanlig bordsalt (NaCl). Måleinstrumentet ble kalibrert med elvevann, som ble tilsatt kalibreringsløsning bestående av destillert vann og salt. Denne metoden kan sammenliknes med å skru på en vannkran og ta tiden på hvor lang tid en tiliters bøtte med vann fylles. I Figur 2.3 kan en se forløpet av en saltmåling. Det som skjer er at en kjent mengde salt (M_{inj}) blir tilført bekken, enten flytende (da blandet ut med elvevann) eller tørt. Saltet vil blandes med vannmassene og til slutt dekke hele elvebredden. Der saltet er fordelt i hele vannmassen måles ledningsevne kontinuerlig. De tilegnede data kan plottes inn med tid (dt) og ledningsevne ($Cd(t)$) og vil vise en gjennombruddskurve. Vannføringen (Q) regnes ut ved å trekke grunnledningsevnen (Cd_0), ledningsevnen før saltmålingen begynte, fra den målte ledningsevnen og deretter regne ut arealet under kurven.

For at en saltmåling skal bli karakterisert som god, er det flere punkter å ta hensyn til:

- Gode mikseforhold: saltet må bli fordelt i hele vannmassen før målingen kan gjennomføres. Derfor bør en finne en strekning med turbulente strømmer, et smalere punkt hvor vannet samles og blandes godt. Ifølge Otnes og Ræstad (1971) er «den eneste betingelsen som må være oppfylt, at saltopløsningen må være fullstendig blandet med vannet der hvor ledningsevnen blir målt».
- Få en god oversikt over området. Er det andre tilløp som renner ut i miksestrekning? Dette må unngås da vannføringen ikke må endres i løpet av måleperioden. Andre tilløp kan også frakte med seg salter og påvirke målingen. Bakevjer kan gi en veldig lang måling, da saltet vil henge igjen og bruke lang tid på å bli skylt videre.
- Sensoren må ligge et sted hvor luft ikke blandes inn i vannmassene. Da vil det gi en hakkete og upålitelig måling, fordi luften ikke har ledningsevne.
- Vær sikker på at alt saltet har passert før målingen avsluttes. Det er bedre å vente noen minutter ekstra enn å ikke få med «halen». Det vil gi et feil resultat ved utregning av Q , dersom alt salt som ble sluppet ut ikke er med i målingen.

Til denne oppgaven lånte Norges Vassdrag og Energidirektorat (NVE) ut QiQuac™ Highlander Kit ledningsevnmåler. QiQuac™ står for The Quick Instream Q(flow) & Uncertainty Analysis Calculator. Dette er et ledningsevnmålersett med tre sensorer. Sensorene har en følsomhet på 0,001µS/cm, noe som gjør at en kan redusere saltmengden og likevel få gode resultater. Med tre sensorer gir det mulighet for å legge to sensorer på hver sin elvebredd for å få dekket hele elva så godt som mulig og den tredje oppstrøms saltutslippspunktet. Dette vil gi en indikator på hvor god miksing det er, samt at grunnledningsevnen i elva blir målt kontinuerlig. Videre gjør dette det mulig å se endringer eller trender i ledningsevnen og dermed blir målingene sannsynligvis mer nøyaktige.

2.5 Kalibrering

En kalibrering gjøres for å vite hva et instrument måler under kjente forhold. Når det blir tilsatt en kjent mengde kalibreringsløsning til en annen væske, bør konsentrasjonen øke med et bestemt intervall. Når en finner stigningstallet har man kalibreringsfaktoren (k-faktor) som skal brukes til videre utregning av vannføring. Dette tallet bør ligge mellom 0,48 og 0.51

Ved kalibrering av sensorene ble det brukt 0,5l ellevann med fire injeksjoner a 0,5ml NaCl (2mg/l). For selve målingene har det blitt brukt 100g bordsalt, men ved høye vannføringer var det nødvendig med mer salt. Ellevannet ble målt opp til 0,5l og kalibreringen ble utført i en plastsylinder. Beholderen ble skylt tre ganger med ellevann før hver kalibrering.

Kalibreringen har blitt gjennomført som beskrevet i rapporten til Hauet (2020).

2.5.1 Utregning av vannføring

I oppgaven er det brukt tre forskjellige utregninger for å få vannføringsresultater. Dette er gjort for å se om det ga forskjellige resultater. I Tabell 3.3 kan en se resultatene. Manuell Q representerer forfatterens metode for å regne ut både kalibreringsfaktoren og vannføringen. Her er rådata fra saltmålingen blitt interpolert og utregning av k-faktor har blitt gjort med denne formelen for beregning av NaCl-konsentrasjon:

$$NaCl_{kons} = \frac{NaCl_{dest} \times V_{dest}}{V_{elv}/1000} \quad (5)$$

Der $NaCl_{dest}$ er kalibreringsløsningen, V_{dest} er volumet av kalibreringsløsningen som injiseres i ellevannet, V_{elv} . Resultatet fra likning (5) ble brukt, sammen med ledningsevnen målt fra start og ved hver tilsetning av kalibreringsløsning, til å finne kalibreringsfaktoren.

Videre utregning kan ses i eksempelet i V.Tabell 1. Først ble vannføringen regnet ut med en metode, der EC_{start} ble trukket fra den ledningsevnen i gjennombruddskurven og en selvberegnet k-faktor. Her ble det ikke tatt hensyn til sensoren oppstrøms. Deretter ble det tatt hensyn til sensoren oppstrøms, men med samme k-faktor.

Salt Portal sin utregning er utdypet i manualen for QiQuac (Fathom ScientificLtd., 2019). De har tatt hensyn til fortynningen av ellevannet når kalibreringsløsningen er basert på destillert vann. Dette anbefales i studien til Richardson et al. (2017), da det har en effekt på k-faktoren som brukes til å regne ut Q. Metoden

Ved ManSPk ble kalibreringsfaktoren fra SaltPortal benyttet, i stedet for selvutregnet k-faktor.

2.6 Vannføringskurve

En vannføringskurve er forholdet mellom vannstand og vannføring. Denne kurven lages ved å gjøre vannføringsmålinger. For å få en god vannføringskurve kreves gode målinger, både vannstand og vannføringsmåling. Målingene bør favne hele spekteret fra minste vannstand til flomhendelser. Usikkerheten er størst ved flom, for det forekommer sjeldnere og fordi det er utfordrende å være rett sted til rett tid for å få gjort målingen.

Det er nødvendig å registrere tverrsnittsprofilen ved målepunktet så nøyaktig som mulig fordi vannføringskurven bestemmes av elveprofilen og fallforholdene ved målepunktet (Otnes & Ræstad, 1971). Et bestemmende profil gjør kurven entydig. Det vil si at punktet for null vannføring er funnet. Dette er ved konstruerte profiler lett å avgjøre, men ved et naturlig elveprofil kan en ikke med sikkerhet si hvor sadelpunktet er. I Bølstadbekken nivellerte vi og fant et punkt som er nærme nullpunktet og kan med dette redusere usikkerheten til kurven noe.

En vannføringskurve kan bestå av flere bestemmende profiler, nå kalt segmenter. Disse gjør seg gjeldende ved høyere vannføring og flom og gir kurven en annen form. Det kan være lett å se i elveprofilen at det er flere segmenter, som ved en flom der vannet går over en tydelig elvebredd. Her vil vannføringen bli drastisk endret samtidig som vannstanden vil ha normal stigning. I mange tilfeller er det derimot litt tvetydig.

Når vannføringskurven er beregnet er det bare å lese av vannstand for å vite hvor mye vann som går i elva. En metode for å regne ut kurven er slik:

$$Q = C(h - h_0)^b \quad (6)$$

Der C er en sammensetning av flere fysiske parametere (helning, friksjon, skala etc.), h er vannstand, h_0 er vannstand der $Q = 0$ og b forteller hvilken form profilet har (parabol, v-form, rektangulær etc.). Utfordringen er å finne h_0 i naturlige elveprofil. Dette er fordi vi ikke helt sikkert vet hvilken vannstand som tilsvarer $Q = 0$, kalt det «effektive bunnivået». Denne usikkerheten kan minimeres ved å beregne alle mulige verdier for C .

2.7 Dataprosessering og statistisk analyse

Alle data har blitt behandlet i MatLab versjon R2022b Update 1 (9.13.0.2080170).

Vannføring har blitt regnet ut ved hjelp av SaltPortal. SaltPortal er et eget program tilhørende QiQuac Highlander hvor G. Sentlinger m. flere har utviklet metode basert på Maidment (1993) sin utregning av vannføring og videre vannføringskurve. Endelig vannføringskurve er laget i VFkurve3, et program tilgjengelig i den norske databasen for hydrologiske data, Hydra 2, med tillatelse og tilgang fra NVE. Kurvegenerering her baseres på Bayesiansk metodikk i samspill med Markov Chain Monte Carlo (MCMC) metoden.

2.7.1 Sildre og HIRA

Sildre er nettside hvor de som vil kan finne hydrologiske data. Her lagres alt av måledata, først og fremst vannstand, vannføring og vanntemperatur. Det finnes også andre måledata tilgjengelig, avhengig av målestasjon. Det er historiske data der, men ny informasjon logges kontinuerlig og blir sendt direkte eller daglig fra målestasjon og til databasen. (Sildre)

Trykksensoren i Bølstadbekken, stasjon 5.22.0, har sendt vannstands og vanntemperaturdata til Sildre to ganger i døgnet. Alle data blir registrert i vintertid, da NVE kun opererer med det. Årsaken er at ved stilling av klokka to ganger i året vil det bli en time uten måledata og en time med doble måledata.

HIRA er NVEs hydrologiske innrapporteringsystem. Her kan de som har konto registrere blant annet kontrollmåling og vannføring, som NVE lagrer i sin database. Her kan flere parametere føres inn, som isforhold, instrument som er brukt og kvalitet på målingen.

Resultater	
Målt vannføring (m3/s)* ⓘ	Endelig vannføring (m3/s)* ⓘ
<input type="text" value="0.788"/>	<input type="text" value="0.788"/>
Kvalitet	
Kvalitet vannføringsmåling ⓘ	Beregn kvailitet vannføringsmåling ⓘ
<input type="text" value="God"/>	<input type="text" value="Beregn kvailitet vannføringsmåling"/>
Kvalitet vannstand ⓘ	Kvalitet total* ⓘ
<input type="text" value="Middels"/>	<input type="text" value="Middels"/>

Figur 2.4. Utsnitt fra HIRA innrapporterings skjema. Eksempel på kvalitetsberegning.

2.7.2 VFkurve3 og Bayesiansk metodikk

VFkurve3 er et program for å generere vannføringskurver og brukes av NVE. Programmet baserer seg på Bayesiansk metodikk og gjøres via Markov Chain Monte Carlo (MCMC) metoden. Bayesiansk metodikk tar i bruk forkunnskaper (a priori) og syr det sammen med innsamlede data (vannføringsmålinger) og en a posteriorifordeling blir beregnet for modellparametere. Metoden er grundig beskrevet av Reitan og Petersen-Øverleir (2009). Bayesianske metodikk ledes ut fra Bayes teorem der sannsynligheten for en hendelse er basert på forkunnskap relatert til hendelsen:

$$f(\theta|D) = \frac{f(D|\theta)f(\theta)}{f(D)}$$

der f er distribusjon, θ er sett med parametere (forkunnskap) og D er data. I vannføringskurveøyemed er forkunnskap blant annet helningsgrad, elveprofil, bunnforhold, sadelpunkt, etc.

Med mer forkunnskap på plass, vil kurven bli svært presis. Hver enkelt vannføringsmåling, registrert i HIRA, får en karakter, dårlig, middels eller god måling. VFkurve3 kan bruke denne kunnskapen til å vekte målingene forskjellig. En god måling vil ha større betydning for resultatet på vannføringskurven enn en dårlig måling (Figur 2.4). Dette er med på å gi et mer realistisk bilde da menneskelig magesfølelse også er med å påvirke resultatet.

3 Resultater

3.1 Nivellering

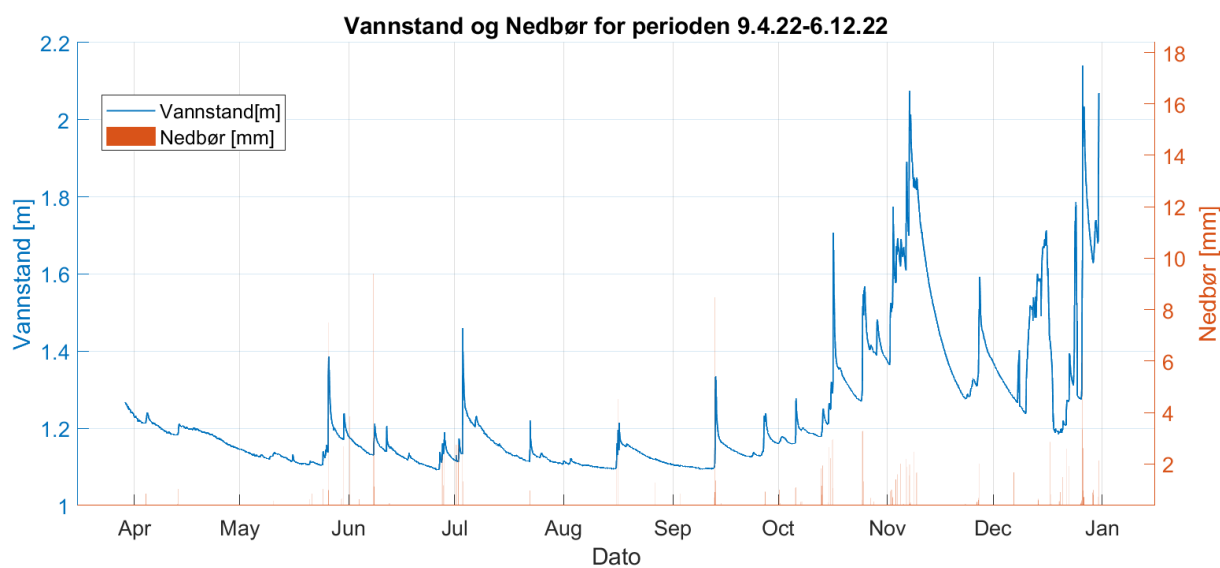
I Tabell 3.1 kan en se hva boltene, som ble festet i elvebredden, og sadelpunktet ble nivellert til. Toppsteinen, en solid og stødig stein, var et naturlig sted å bruke som målepunkt. I Figur 2.2 er en omtrentlig skisse av elveprofilen, for å gi et inntrykk av og oversikt over målepunktene for vannstand.

Tabell 3.1. Oversikt over de nivellerte målepunktene til stasjon 5.22.0, Bølstaðbekken.

Målepunkt	Nivellert nivå [m]
NVE-bolt	2,0
Øvre hjelpebolt	1,641
Toppstein	1,460
Nedre hjelpebolt	1,216
Sadelpunkt	0,98

3.2 Vannstand og nedbør

Figur 3.1 viser vannstanden i løpet av et år sammen med nedbørhendelser. Mye nedbør gir ikke store vannføringstopper i løpet av sommeren. Nedbør over lengre periode (som i oktober) gir høyere vannstand. I midten av desember endrer kurvetoppen seg og faller brått og takkete i stedet for i en bue.



Figur 3.1. Vannstand [m] vises som blå linje og nedbør er stolpene i rødt. Data er fra perioden 29.03.22-06.12.22.

3.3 Kalibrering

Ved utregning av kalibrering ble det observert at manuell metode og Saltportal-metoden ga forskjellige resultater. I gjennomsnitt er den manuelle k-faktoren 0,533 og SaltPortalens k-faktor er 0,503. Det er en differanse på 5,54%.

Tabell 3.2. K-faktor regnet ut manuelt og i Saltportal. SaltPortal tar hensyn til kalibreringsløsnings fortykningseffekt på elvevannet.

Manuell	SaltPortal	Differanse
0,503	0,491	0,012
0,559	0,511	0,048
0,557	0,517	0,040
0,569	0,515	0,054
0,501	0,510	0,009
0,554	0,506	0,048
0,544	0,496	0,048
0,554	0,503	0,051
0,554	0,502	0,052
0,536	0,502	0,034
0,547	0,497	0,050
0,424	0,491	0,067
0,525	0,502	0,023

3.4 Vannføring

Vannføringen (Tabell 3.3) har blitt målt med QiQuac, men NVEs hovedmåleinstrument (Sommer TQ-Amp, heretter kalt Sommer) for saltmetoden har blitt brukt til sammenlikning i noen tilfeller. Disse er uthevet med grønt i tabellen. Det har blitt regnet ut vannføring (Q) på tre forskjellige måter. Først har det blitt regnet ut manuelt med manuell utregning av k-faktor (gul kolonne). Deretter ble det regnet ut i Saltportal (grønn kolonne) og en kan se at disse to utregningene avviker fra hverandre. Derfor ble Q regnet ut en tredje gang manuelt, men hvor k-faktoren var den samme som i Saltportal. Disse resultatene devierer mindre fra Saltportal sin utregning. 19.01.23 ble det utført målinger med både QiQuac og Sommer for å sammenlikne. Resultatet mellom QiQuac/Saltportal og Sommer er mer like enn resultatene som er regnet ut manuelt. Det er resultatet fra Salt Portal som er registrert i HIRA og brukt i VFkurve3, Saltportal og manuell utregning av vannføringskurve.

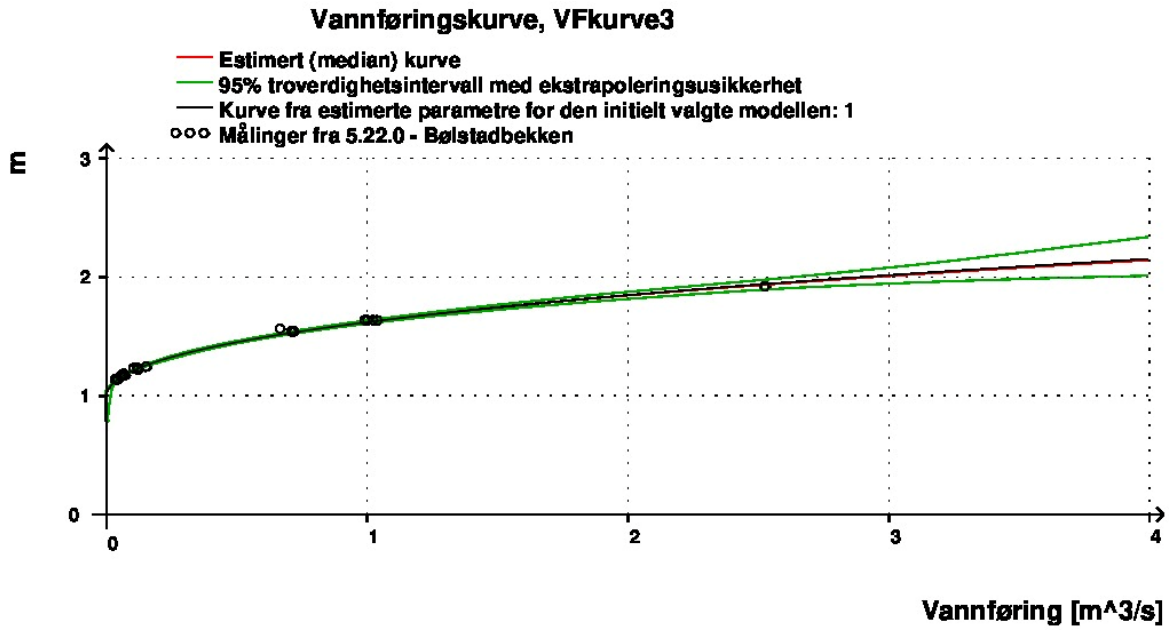
Tabell 3.3. Oversikt over vannføringsmålingene utregnet på tre forskjellige måter; 1. manuell utregning av Q (gul utheving er utregning av Sommer-måling); 2. manuell utregning av Q med k-faktor fra Saltportal; 3. Q regnet ut i Saltportal (målingene i uthevet grønt er målt og regnet ut med Sommer-systemet).

Dato	Vannstand [m]	Temperatur [°C]	Manuell Q [m ³ /s]	ManSPk Q [m ³ /s]	Saltportal Q [m ³ /s]
16.03.2022	1,223	3,8	1,09	1,12	1,10
16.03.2022	1,223	3,4	1,10	1,12	1,11
25.05.2022	1,137	12,6	0,44	0,49	0,48
25.05.2022	1,137	12,1	0,67	0,47	0,50
07.06.2022	1,132	15,7	0,45	0,48	0,48
07.06.2022	1,132	15,7	0,44	0,47	0,47
07.06.2022	1,132	15,7	0,42	0,47	0,47
29.06.2022	1,134	16,1	0,41	0,46	0,45
29.06.2022	1,134	16,2	0,40	0,44	0,42
16.08.2022	1,154	17,6	0,55	0,55	0,65
16.08.2022	1,154	17,5	0,55	0,54	0,64
03.10.2022	1,177	8,7	0,65	0,72	0,72
05.10.2022	1,166	12,7	0,70	0,77	0,68
05.10.2022	1,172	11,9	0,74	0,81	0,77
13.10.2022	1,244	9,9	1,21	1,55	1,60
14.10.2022	1,221	9,9	1,24	1,33	1,28
14.10.2022	1,224	9,5	1,30	1,43	1,28
16.10.2022	1,561	9,0	5,56	6,13	6,76
12.01.2023	1,91	1,3	28,34	24,48	28,90
12.01.2023	1,91	1,3	28,39	24,52	22,60
19.01.2023	1,629	1,6	8,61	9,00	9,83
19.01.2023	1,629	1,6	9,33	9,75	10,31
19.01.2023	1,629	1,6	8,13		9,97
19.01.2023	1,629	1,6	9,69		10,43

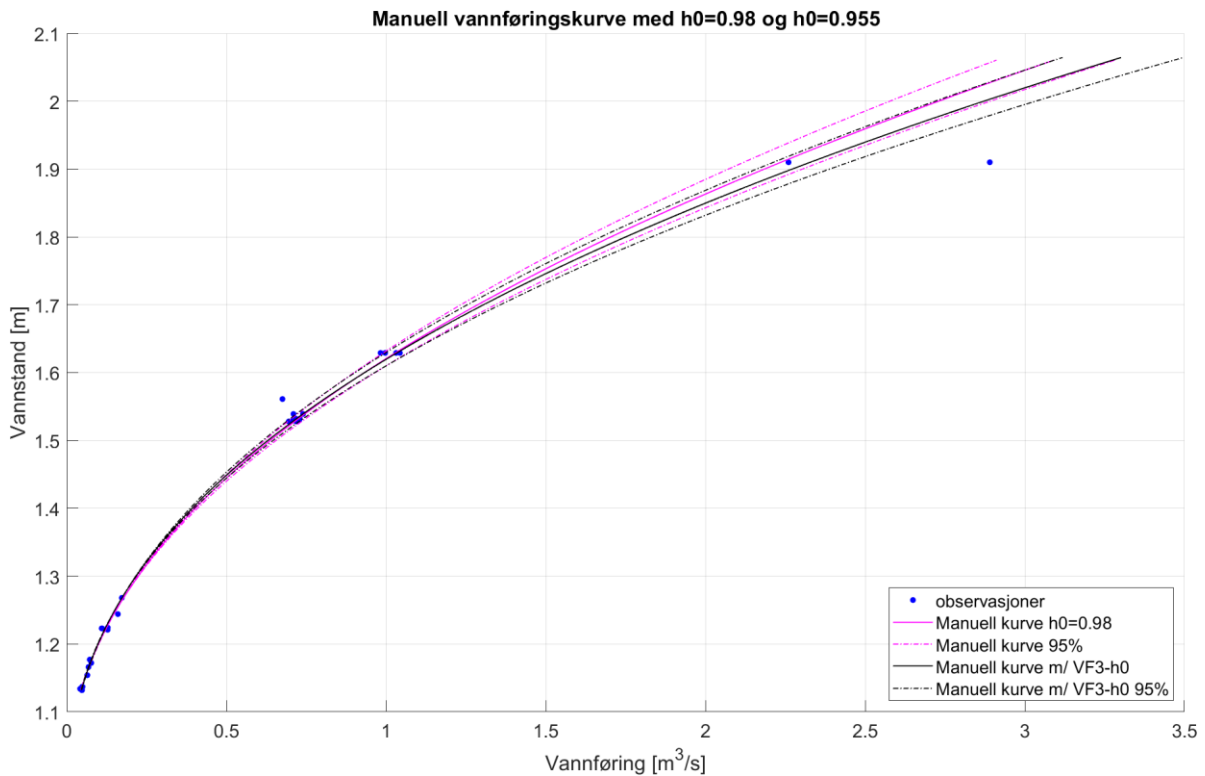
3.4.1 Vannføringskurve

Her følger tre vannføringskurver regnet ut med forskjellige program. Resultatet fra VFkurve3 i Figur 3.2 har et troverdighetsintervall som ligger tett til den estimerte kurven.

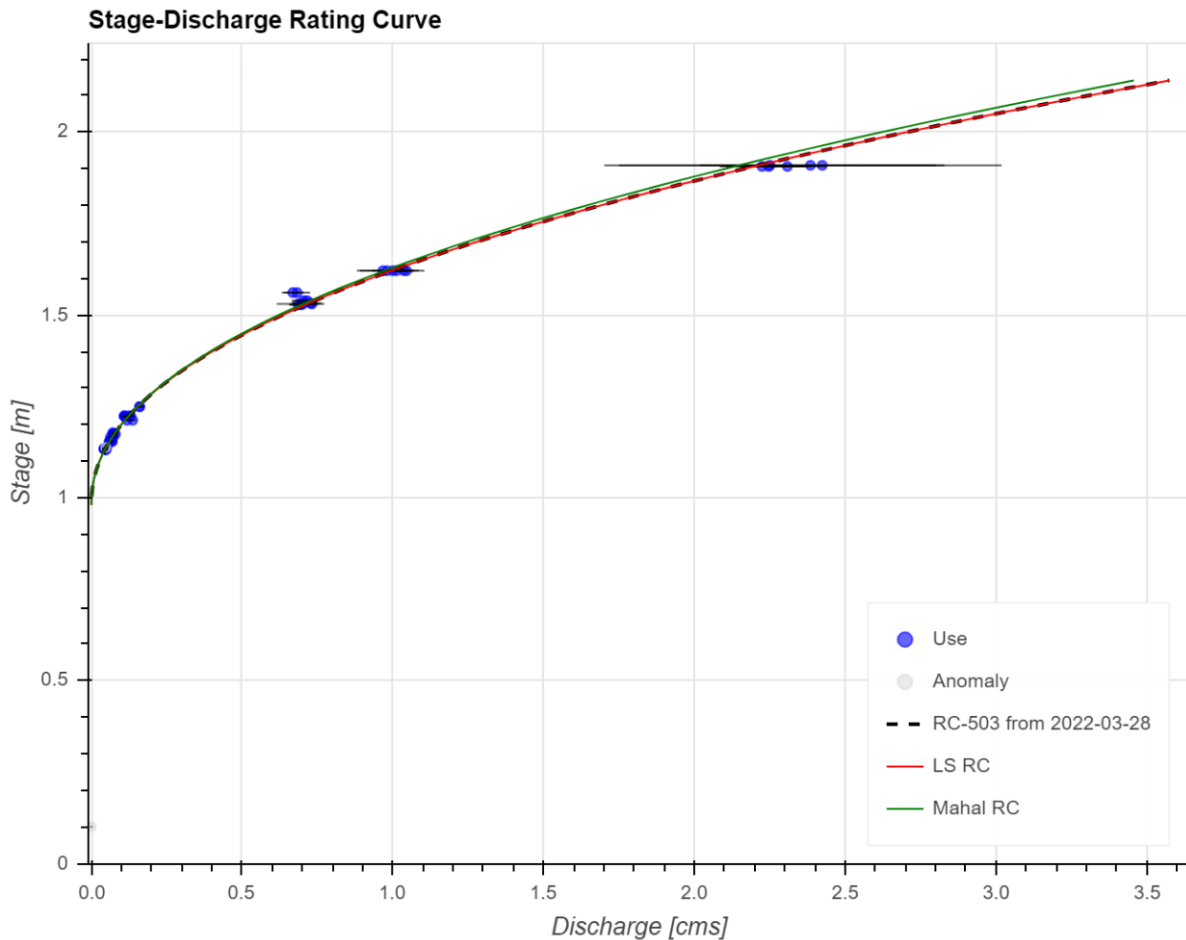
Sannsynligheten for at kurven besto av ett, to og tre segmenter var henholdsvis 82%, 16,3% og 1,68%. I Figur 3.3 er resultat av manuell utregning av kurven det er blitt brukt minste kvadraters metode og to forskjellig h_0 , det nivellerte sadelpunktet på 0,98m og VFkurve3 estimerte h_0 på 0,955. SaltPortal har i utgangspunktet tre kurver (Figur 3.4), som blir regnet ut. Her har kun LS og Mahalinobis-metoden blitt tatt med og konfidensintervallene kom ikke fra i SaltPortal. h_0 fra nivelleringen har blitt brukt som $Q = 0m^3/s$.



Figur 3.2. Vannføringskurve fra VFkurve3. Vannstand [m] på y-akse og vannføring [m³/s] på x-aksen. Sirkelene viser vannføringsmålingene, rød linje er den estimerte kurven, svart linje er kurven fra estimerte parametre for den valgte modellen. De grønne linjene representerer troverdighetsintervallet.



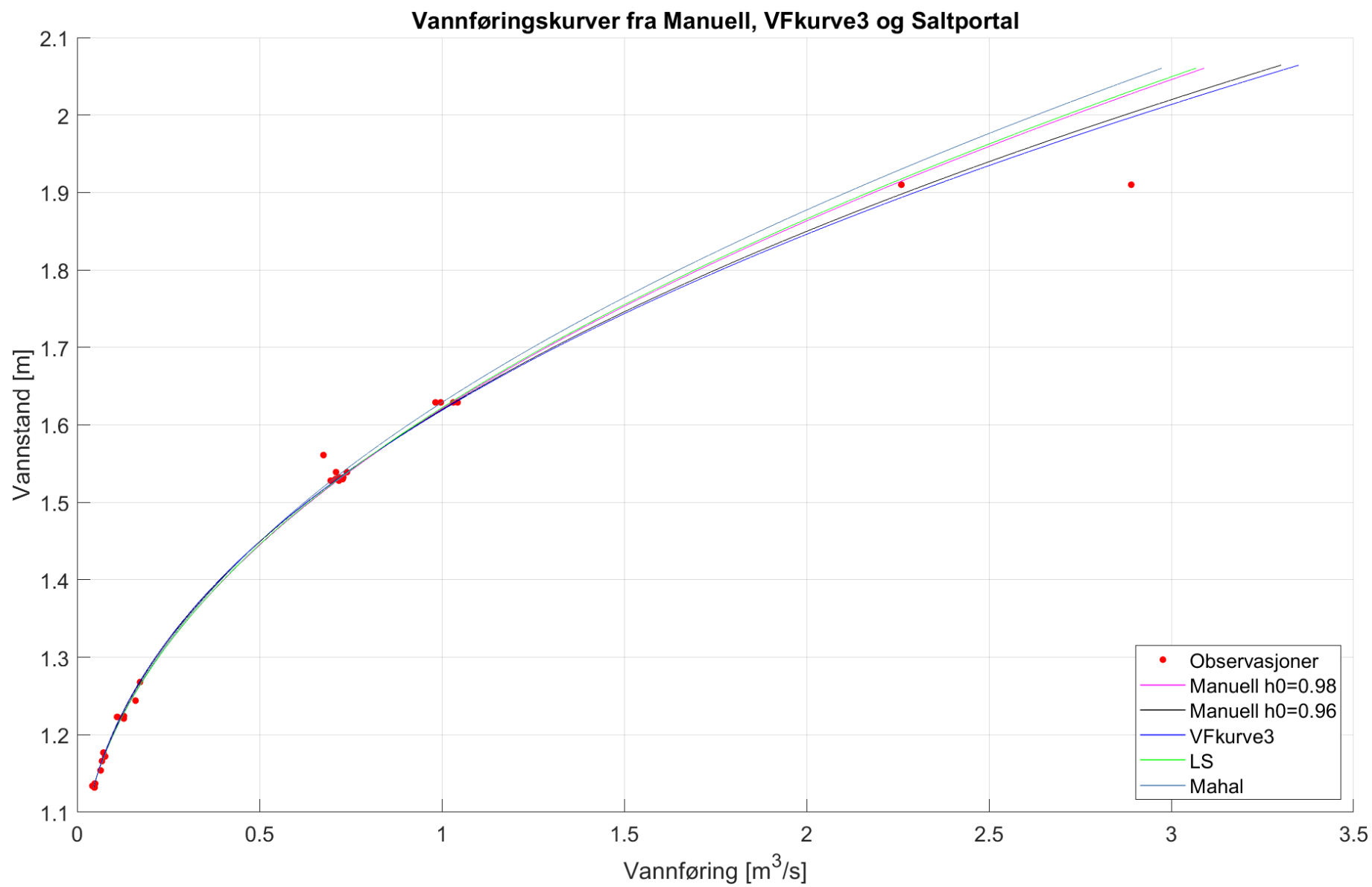
Figur 3.3. Vannføringskurve laget manuelt med minste kvadrater metode. Blå punkter er vannføringsmålingene, rosa linje er vannføringskurven og konfidensintervallene der $h_0 = 0,98$ og stiplede røde linjer er troverdighetsintervallet.



Figur 3.4. Vannføringskurve fra Saltportal. Vannstand [m] på y-akse, vannføring [m³/s] på x-akse. Blå punkter er vannføringsmålingene, sort siplet linje er vannføringskurven, rødlinje er ikke-lineær minste kvadraters metode og grønn linje er Mahalinobis-avstanden.

I Figur 3.5 er de fem forskjellige kurvene satt inn i samme plot. VFkurve3 legger seg mellom de to øverste observasjonene, mens resten legger seg over det øverste punktet.

Modellparameterne er listet opp i Tabell 3.4. VFkurve3 har estimert h_0 til 0,955. Ved manuell utregning har både nivellert h_0 og VFkurve3s h_0 blitt benyttet for estimering. Ved å endre h_0 i manuell utregning forandres C - og b -parameterne.



Figur 3.5. Alle vannføringskurvene sammenstilt.

Tabell 3.4. Modellparametere for reproduksjon av kurvene. VFkurve3 er modellen fra NVE. Manuell er regnet ut selv, en med h_0 fra nivellering og en med estimert h_0 fra VFkurve3. Salt Portal har tre utregninger, minste kvadraters metode (LS) og Mahalinobis-metoden.

VFkurve3	Q	95% min	95% max
C	2,624	2,386	2,780
h_0	0,955	0,896	0,986
b	2,353	2,122	2,735

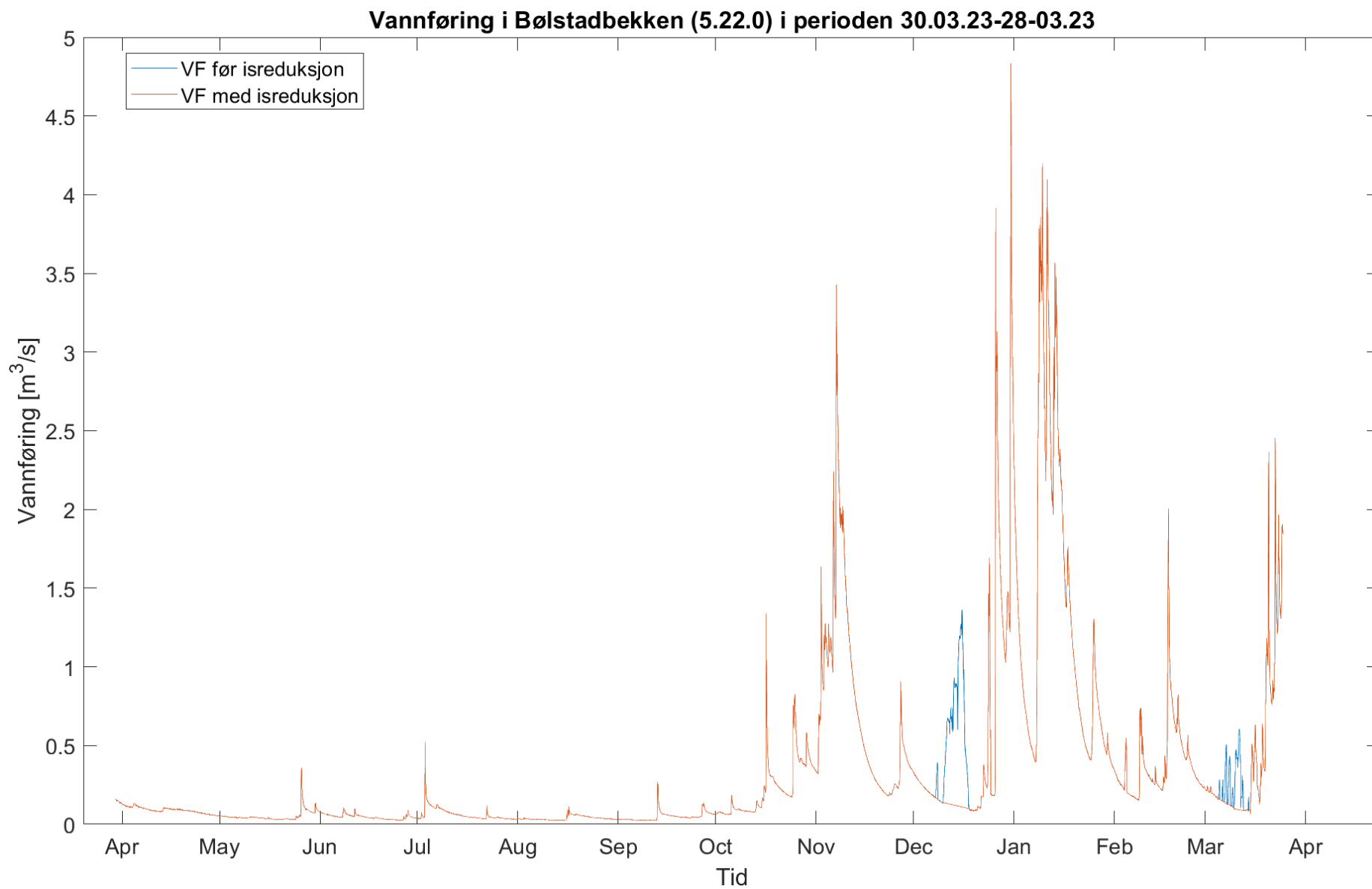
Manuell	Q	95% min	95% max
C	2,615	2,471	2,768
h_0	0,98	-	-
b	2,158	2,114	2,203

Manuell	Q	95% min	95% max	
h_0 fra VF- kurve3	C	2,591	2,459	2,732
	h_0	0,955	-	-
	b	2,331	2,286	2,275

SaltPortal	Q	95% min	95% max	
RC- 503	C	2,592	-	-
	h_0	0,98	-	-
	b	2,152	-	-
LS	C	2,507	-	-
	h_0	0,98	-	-
	b	2,153	-	-
Mahal	C	2,521	-	-
	h_0	0,98	-	-
	b	2,137	-	-

3.4.2 Hydrogram

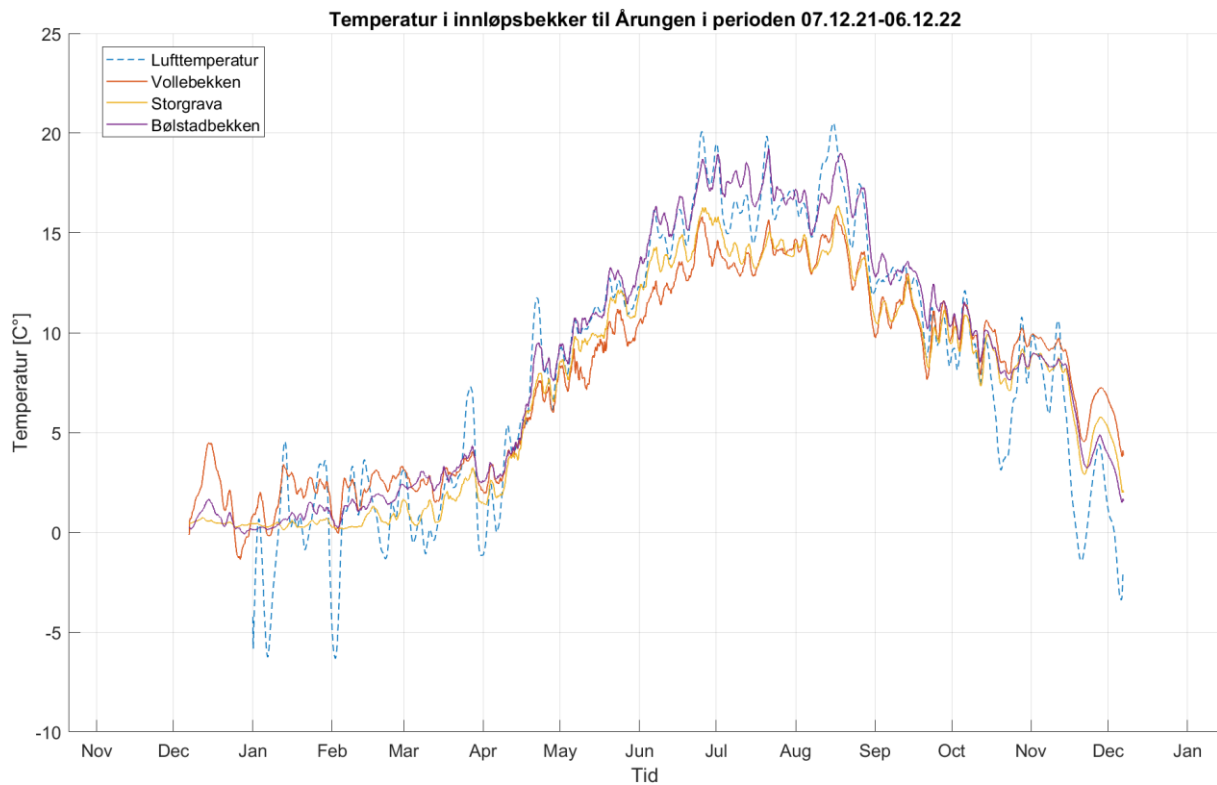
I Figur 3.6 er resultatet av vannføringskurven og sammenstilling med vannstanden over tid; et hydrogram som forteller hva vannføring er til gitte tidspunkt. Hydrogrammet sammenfaller med vannstanden. Det er tatt høyde for isoppstuvning, noe som ses i figuren der den røde linjen er korrigert for is og den blå viser med isoppstuvning.



Figur 3.6. Hydrogram i perioden 30.03.22-28.03.23. Rød linje er vannføringen med isreduksjon. Blå linje viser isoppstuvingshendelser.

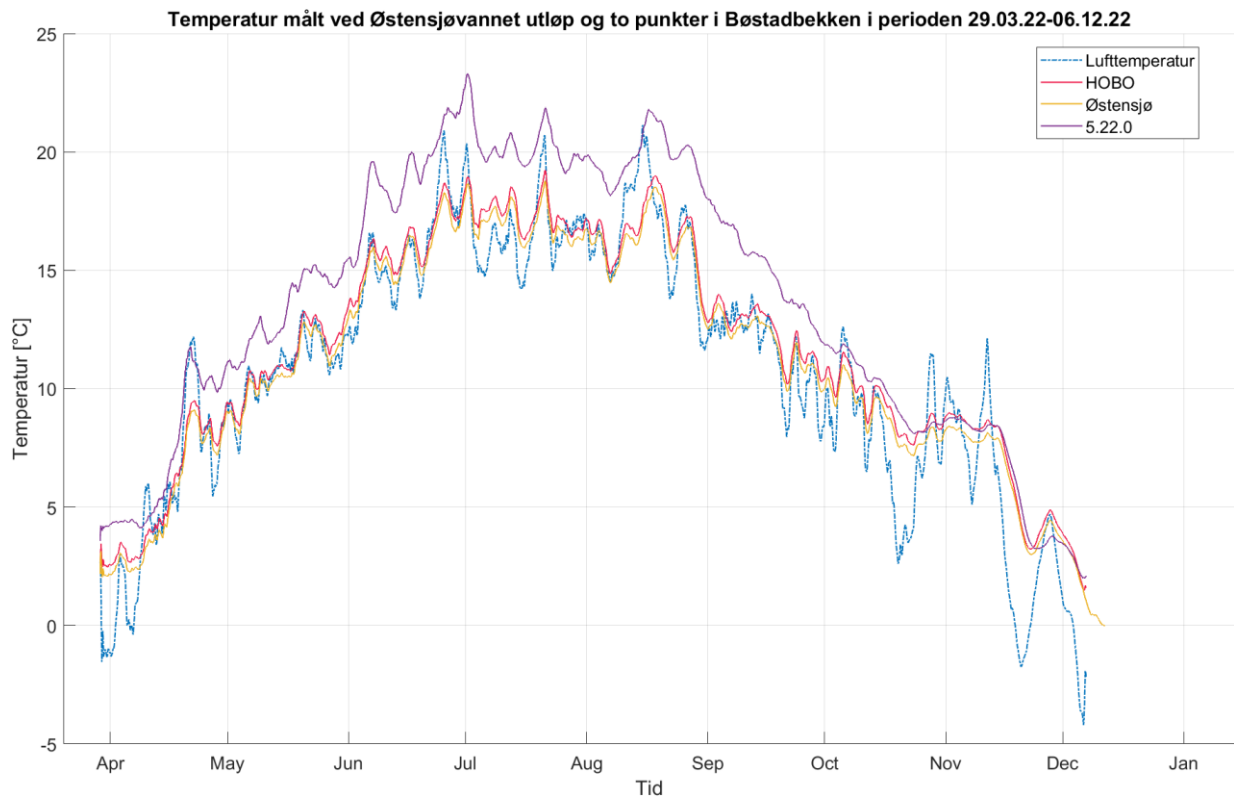
3.5 Temperatur i tilløpsbekkene og Årungen

Det er lavere temperatur i bekkene på vestsiden av Årungen gjennom sommermånedene (3.7). Vanntemperaturen følger svingningene til lufttemperaturen. Det er daglige svingninger i temperaturen i bekkene og i overflatetemperaturen i Årungen (Figur 3.9).

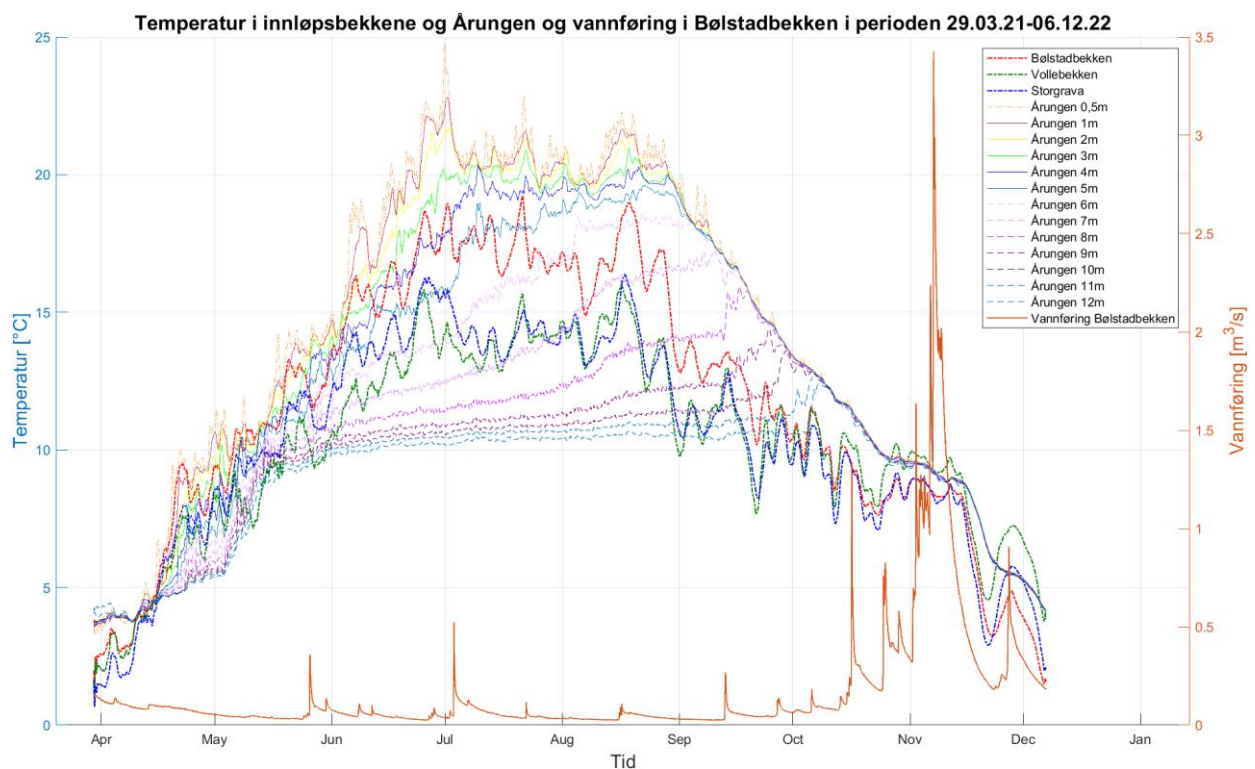


Figur 3.7. Temperatur til tre av innløpsbekkene til Årungen og lufttemperatur.

Det ble målt temperatur i utløpet av Østensjøvannet og dette ble sammenliknet med vanntemperaturen nedstrøms ved målestasjonen i Bølstadbekken. OTT ecoLogger (trykkmåleren) fungerer som en kontroll for å se hvordan HOBO-loggerne er, da spesielt loggeren i Bølstadbekken. Disse tre tidsseriene kan ses i Figur 3.8. Trykkmåleren viser gjennom hele perioden en lavere temperatur enn HOBO-loggeren. Vannet som renner ut av Østensjøvannet avkjøles på vei ned til Årungen. Vanntemperaturen følger lufttemperaturens svingninger.



Figur 3.8. Endring i vanntemperatur fra Østensjøvannet (rød linje) og til Bølstadbekken (gul = trykkmåler, blå= HOBO-logger) i perioden 29.03.22-06.12.22. Lufttemperatur (blå) fra Søråsjordet i samme periode.



Figur 3.9. Temperatur i innløpsbekkene og Årungen's dyp med vannføring i samme periode (29.03.21-06.12.22).

3.6 Temperatur og vannføring

Figur 3.9 viser vanntemperaturen i innløpsbekkene og Årungen, samt vannføringen i Bølstadbekken. Mot slutten av året er vannføring høyere og temperaturen i innløpsbekkene følger vannføringstoppene. Årungdypets temperatur er i denne perioden (oktober-desember) den samme i hele vannsøylen og innsjøen er mikset. Temperaturen i Årungen faller jevnt fra slutten av august, men dette går saktere der vannføringen er størst (midten av oktober til midten av november). Deretter faller temperaturen jevnt og brått til neste vannføringstopp, da flater temperaturen litt ut igjen.

Dette er motsatt tilfelle gjennom sommeren, da synker vanntemperaturen med økt vannføring (V.Figur 2).

4 Diskusjon

Diskusjonen er disponert ved å følge oppsettet som går igjen i de foregående kapitlene. Det er naturlig å først se på målepunkter og vannstand, da dette er grunnlaget for de resterende målingene. Som neste punkt kommer kalibrering og vannføring og deretter følger vannføringskurvene med usikkerhet. Til slutt blir temperatur sammenliknet med et hydrogram for å se om vanntemperaturen ved høy vannføring har hatt en effekt på Årungen.

4.1 Plassering av målestasjon og Froude-tallet

I oppstarten av oppgaven ble det tatt utgangspunkt i en gammel målestasjon i Bølstadbekken. Den ligger rett nedenfor gangbrua og er et svart rør som stikker ned i elva. En kan anta at hensikten med denne installasjonen var å kunne måle vannstand ved hjelp av trykk eller flottør da det også er montert målestav på nedsiden av røret. I dette røret ble det først plassert ut en trykksensor (Baro Diver), men da Frode Kvernhaugen ble med for inspeksjon og veiledning, kunne han raskt fastslå at plasseringen av målestasjonen var helt feil og ubrukelig. Det er fordi røret er plassert ned i den delen av elva hvor det er superkritisk strøm og ved høyere vannføring vil en få gode eksempler på hvordan Froude-tallet fungerer i praksis. Poenget med dette er å vise hvor viktig det er med god forståelse for plassering av en velfungerende målestasjon.

4.2 Isoppstuving

Det var to hendelser i måleperioden hvor isoppstuving ble observert på vannstandskurven. Disse ble korrigert på hydrogrammet (Figur 3.6), men ikke på vannstandsgrafene. Det er fordi trykket måler korrekt vannstand, så det er den faktiske vannstanden som var der, men vannføringen stemmer i et slikt øyeblikk ikke med vannstanden. Det vanligste er å trekke den mest sannsynlige linjen til vannføringen. Her ble det gjort ved hjelp av lineær interpolering.

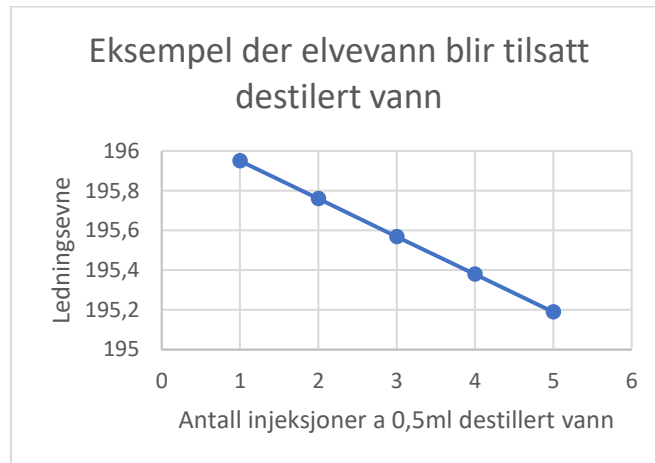
Ved et tilfelle hadde et dødt tre drevet ned ved en høyvannsperiode. Treet ble sittende fast på tvers av elva, men ga ikke noe oppstuving eller endring på vannstand. Treet ble fjernet, da det er viktig å holde målestasjonen mest mulig upåvirket av oppstuvinger av forskjellig slag.

4.3 Kalibrering og k-faktor

Hvorfor blir kalibreringsfaktoren slik som den blir

Ved utregning av kalibreringsfaktoren viste det seg at det finnes flere metoder som gir noe ulikt svar og dermed stor effekt med tanke på vannføringsresultatet. Når en regner ut kalibreringsfaktoren er det viktig å ta hensyn til ledningsevnen til det destillerte vannet.

Destillert vann har en ledningsevne på 3-5 $\mu\text{S}/\text{m}^3$. Det vil si at når kalibreringen utføres i felt med elvevann, vil elvevannet bli fortynnet hver gang kalibreringsløsning, bestående av destillert vann, tilsettes (Figur 4.1). Effekten av dette ses tydeligst ved høy ledningsevne. I tabell x er det regnet ut k-faktor med to forskjellige likninger. Der likning x tar høyde for det destillerte vannets ledningsevne regnes likning y uten hensyn til dette.



Figur 4.1. Eksempel på hvordan elvevann fortynnes når 0,5ml destillert vann tilsettes pr injeksjon.

4.4 Vannføringskurver

Det vil være en forskjell på vannføringskurvene, da VFkurve3 har mulighet til å vekte hver enkelt måling ulikt i forhold til hvor god scoring målingen fikk ved logging i HIRA, dette bidrar til å minke usikkerheten og gir en mer pålitelig kurve. (Figur 3.2). Konfidensintervallet blir også bedre utregnet, med en større usikkerhet ved høy vannføring. Fordi det er så mange målinger ved lav vannføring, er usikkerheten mindre der. Med vår variant (Figur 3.3) er alle målingene like mye vektet og vil lage en kurve med like stort fokus på alle målingene. Ved VFkurve3 kurve er konfidensintervallet på 95% mye tettere til kurven ved lave vannføringer og øker mot de aller høyeste målingene.. Det er et mye sikrere konfidensintervall enn det som lages i den manuelle kurven. Usikkerheten vil minke med flere målinger i Bølstadbekken. Det kan ta flere år før nok vannføringsmålinger er tatt og en virkelig god kurve er utarbeidet.

I Tabell 3.4 kan man se at kurvenes parametere er avhengig av hverandre, da C og b forandres med forskjellig h_0 . Hadde vi gjort endringer på en av de to andre parameterne, ville h_0 også forandret seg. Når vi gjør en lineær regresjon antar vi at C og b er uavhengige. Til tross for dette er det likheter mellom kurvene og den største forskjellen ser vi ved høy vannføring.

4.4.1 Tverrsnittprofilsegmenter

For Bølstadbekken ser det ikke ut til at elveprofilen består av flere enn ett segment. Da ville sannsynlighetsfordeling sett annerledes ut i VFkurve3. Dersom vannstanden går over 2 meter øker sannsynligheten for et nytt segment, da dette er over elvebredden (Figur 2.2). Det kan også hende at det etter flere vannføringsmålinger blir et segment rundt 1,4-1,5 m. Dette er i området hvor toppsteinen forsvinner under vann og det vil bli et noe større tverrsnitt av den grunnen (Figur 2.2).

4.5 Usikkerhet

Usikkerheten knyttet til målinger ved lav vannføring skyldes ofte at måleutstyret egner seg bedre til større vannføringer. Dette fører til relativt høy usikkerhet ved lav vannføring. I Norge har det heller ikke blitt fokusert så mye på lave vannføringer, da utviklingen av vannkraft har rettet blikket mot middel-vannføringen (Petersen-Øverleir et al., 2009). Grunnet blant annet relativt tørt vær og lite nedbør i løpet av måleperioden har det blitt flest målinger ved lav vannføring. Det er utfordrende å treffe vannføringstoppene, da disse ofte er raskt forbi og kan være vanskelig å forutse. En trend denne høsten har vært mye nedbør på ettermiddag/kveld og at vannføringstoppen har kommet i løpet av natten. Dette viser at usikkerheten rundt høy vannføring er stor, grunnet få muligheter til å faktisk måle høy vannføring. Det er ikke bare på grunn av nattlig nedbør, men også hyppigheten av store nedbør- og flomhendelser som også spiller sin rolle.

Andre faktorer som påvirker usikkerheten til en vannføringskurve, er menneskelig feil.

Felthydrologene i NVE sier det så fint: «En vannføringsmåling er ikke bedre enn vannstandsmålingen». Det vil si at hvis vannstandsmålinger er dårlig gjennomført, eller det har vært urolig vannoverflate, kan dette gi en stor usikkerhet på hvor godt målingen vil gi et pålitelig punkt i vannføringskurven. Et eksempel på dette kan ses i vannføringskurvene (Figur 3.2, Figur 3.3 og Figur 3.4). Det er en gruppe med punkter der vannstanden er litt over 1,5m. De fleste punktene treffer kurven omtrent eksakt, men det er to målinger som ligger utenfor. Denne målingen ble utført en sen høstkveld. Været var vått og, men det var ikke vind. Her er det mulig at jeg leste av vannstanden feil.

Totalt sett vil usikkerheten bli mindre for hver måling som blir gjennomført og det kan ta tid før en riktig god og pålitelig kurve er på plass.

4.6 Temperatur

Temperaturrendring som ble observert mellom Østensjøvannet og Bølstadbekken kan være mindre enn det ser ut til, men tilførsel av grunnvann langs strekning vil være med på å senke vanntemperaturen (Figur 2.1). I Figur 3.7 ser vi bekketemperaturen er lavere på sørvest-siden av Årungen. Dette kan skyldes at innsjøprosenten er svært lav (se V.Figur 5 og V.Figur 6), noe som gjør at vannet som renner der i hovedsak er fra overflateavrenning og grunnvannstilsig. Bølstadbekken har derimot en innsjø oppstrøms og innsjøprosenten er mye større (V.Figur 4). Vannet som renner fra innsjøen, holder en mye høyere temperatur og blir avkjølt av grunnvannstilsig og skyggefull vegetasjon på sin ferd ned mot Årungen. HOBO-loggerne ble kun stripset fast til stein og ikke lagt i noen form for skygge, annet enn det som var naturlig i området. Oppvarming av direkte sol kan ha hatt en forsterkende effekt på temperaturen. I løpet av sesongen vokste det alger på loggerne og noen ble dekket til av mudder. Dette har muligens omvendt effekt, da loggerne ble mer beskyttet fra lys. Trykkmåleren som fungerte som en form for kontroll lå inni et rør i et svært skyggefullt område i bekken. HOBO-loggeren som lå litt lenger nedstrøms hadde gjennomgående høyere temperatur, men med liten margin.

I Figur 3.8 kan en se at innløpsbekkene har forskjellig temperatur. Det er generelt kaldere i Vollebekken og Storgrava. Det kan forklares med at det er grunnvannstilsig og at delnedbørfeltene ligger sør-vest for Årungen og solinnstrålingen kan gi en annen oppvarmingseffekt. Som i studien til Ducharme (2008), hvor de så hvordan vanntemperaturen fulgte lufttemperaturens svingninger, kan dette også observeres her, i Figur 3.8; lufttemperaturen etterfølges tett av vanntemperaturen.

4.7 Temperatur og vannføring

I Figur 3.9 kan vi se hvordan nedbør ganske raskt gir endring i vanntemperaturen i innløpsbekkene og hvordan det henger sammen med vannføringen. Ved to tilfeller i slutten av perioden kan en tydelig se at vannmengden og dets temperatur, som blir tilført innsjøen, har innvirkning på innsjøtemperaturen i sin helhet. Temperaturen synker jevnt fra slutten av august, men får en knekk med mindre senkning av temperatur i oktober til desember. Temperaturreduksjonen tar seg kraftig opp i en kort periode med lavere vannføring, men får et nytt knekk og synker saktere ved den neste vannføringstoppen. Dette viser at det er en sammenheng mellom vanntemperatur i innløpsbekken og temperaturen i Årungen. Ettersom det er forventet mindre snøsmeltingsflom og mer regnflom (Hanssen-Bauer et al., 2009), vil dette kunne ha en innvirkning på vanntemperaturen i innløpsbekkene, da det kalde vannet fra

snøsmelting kan ha en annen effekt på innsjøens temperatur i forhold til når lagdeling inntreffer etter vintersesongen. Dette bør studeres nøyere. Av resultatene (Figur 3.9) kan vi se at høstregnet er varmere enn bekk/elve- og innsjøtemperatur. Det kan derfor argumenteres for at dette er med på å redusere nedkjølingshastigheten av innsjøen, som igjen fører til at isen legger seg senere på året (Woolway et al., 2021). Dette kan gi en lengre periode med sirkulasjon i Årungen og mindre lagdeling i løpet av vintersesongen.

Det er allerede gjort rede for faktorer som påvirker algevekst i Årungen (Romarheim et al., 2012). I den rapporten ble det ikke tatt med i analysen hvilken påvirkning elver har på innsjøen, selv om andre studier har vist at elver har innvirkning på lagdelingsmorfologi og planktonvekst (Morillo et al., 2008, Ducharne, 2008). Her kunne det vært interessant å se hvilken effekt nedbørsmengden og avrenningen til Årungen's tilløpsbekker hadde å si for blant annet løst oksygen i vannsøylen eller om innstrømmingen av bekkene påvirker innsjøens temperatur og turbiditet.

5 Konklusjon

Gjennom hele oppgaven har jeg tatt for meg prosessen av å lage en vannføringskurve fra start til slutt. Først så vi betydningen av en god målestasjon, hvor vannstand kan bli riktig avlest og at det er avgjørende for sluttresultatet. Strekningen som blir valgt ut for å måle vannføring med saltfortynningsmetoden bør oppfylle en del kriterier for et godt resultat. Ved utregning av vannføringen kunne vi se at k-faktoren ble forskjellig, avhengig av om man tok hensyn til fortynningen som kalibreringsløsningen av destillert vann forårsaket. Om dette hadde noen signifikant innvirkning på vannføringskurven ble ikke undersøkt i oppgaven. men det kan være verdt å merke seg at vannføringsresultatet ble forskjellig i de ulike utregningene (Tabell 3.3).

Videre kan vi se at VFkurve3 har den mest nøyaktige utregningen, fordi den selv gir estimerer til h_0 , som er svært nærme det nivellerte h_0 på 0.98 m. Der hvor manuell kurve er utregnet med VFkurve3 sin estimerte h_0 er resultat svært likt. Ved å endre en av parameterne, endres alle og vi kan se at de er avhengig av hverandre.

Et siste viktig punkt knyttet til vannstand og vannføring er vedlikehold av målestasjonen. Som observert kan det oppstå ishendelser som gir feil resultat på vannstand, men vannføringen vil være den samme. Dette kan også skje dersom stasjonen ikke blir vedlikeholdt på jevnlig basis og rusk og rask som fraktes med elva hoper seg opp ved målepunktet.

Klimaendring er unngåelig, så det å forstå hva disse endringene fører til er viktig for vår forståelse av hvordan hydrologiske og biologiske prosesser endrer og påvirker hverandre. Til slutt i denne oppgaven har vi sett at høy vannføring har en effekt på temperaturen i Årungen. Hva dette har å si for innsjøens lagdeling og biologi trengs å forskes mer på. Det er viktig å overvåke hydrologiske faktorer i nedbørfeltet som kan ha innvirkning på økologien i vassdraget.

Når det gjelder videre forskning og undersøkelser på effekten vannføring og temperatur har for Årungen, vil denne oppgaven forhåpentligvis kunne være et bidrag.

Referanseliste

- Abrahamsen, N., Nybakken, S., Gillebo, T. & Sørensen, R. (1995). Palaeomagnetism and stratigraphy of Late Younger Dryas and Holocene sediments in Lake Årungen, southeastern Norway. *Norsk geologisk tidsskrift*, 75: 37-47.
- Ducharne, A. (2008). Importance of stream temperature to climate change impact on water quality. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12 (3): 797-810.
- Hanssen-Bauer, I., Drange, H., Førland, E., Roald, L., Børsheim, K., Hisdal, H., Lawrence, D., Nesje, A., Sandven, S. & Sorteberg, A. (2009). Klima i Norge 2100. *Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing.*, Norsk klimasenter, Oslo, Norway.
- Hauet, A. C. (2020). *Uncertainty of salt discharge measurement: The SUNY Framework*: Norwegian Water and Energy Directorate Oslo, Norway.
- Hendriks, M. (2010). *Introduction to physical hydrology*: Oxford University Press.
- Jane, S. F., Hansen, G. J., Kraemer, B. M., Leavitt, P. R., Mincer, J. L., North, R. L., Pilla, R. M., Stetler, J. T., Williamson, C. E. & Woolway, R. I. (2021). Widespread deoxygenation of temperate lakes. *Nature*, 594 (7861): 66-70.
- Ltd., F. S. (2019). *QiQuac M5 Operating manual*. Tilgjengelig fra: <https://www.fathomscientific.com/wp-content/uploads/2017/09/QiQuac-Manual-v05-PROOF.pdf> (lest 12.05).
- Maidment, D. R. (1993). *Handbook of hydrology*: McGraw-Hill.
- Morillo, S., Imberger, J., Antenucci, J. P. & Woods, P. F. (2008). Influence of wind and lake morphometry on the interaction between two rivers entering a stratified lake. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134 (11): 1579-1589.
- NEVINA. *Nedbørfelt-vannføring-indeks-analyse*. Tilgjengelig fra: <https://nevina.nve.no/> (lest 14.03).
- Otnes, J. & Ræstad, E. (1971). *Hydrologi i praksis*: Ingeniørforlaget A/S.
- Petersen-Øverleir, A. (2008). Bayesiansk tilpasning av vannføringskurver.
- Petersen-Øverleir, A., Soot, A. & Reitan, T. (2009). Bayesian rating curve inference as a streamflow data quality assessment tool. *Water Resources Management*, 23 (9): 1835-1842.
- Redaksjonen. *BIOKLIM*. Tilgjengelig fra: <https://www.nmbu.no/fakultet/realtek/laboratorier/bioklim/om-fagklim> (lest 09.05.2023).
- Reitan, T. & Petersen-Øverleir, A. (2009). Bayesian methods for estimating multi-segment discharge rating curves. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23: 627-642.
- Richardson, M., Sentlinger, G., Moore, R. D. & Zimmermann, A. (2017). Quantifying the relation between electrical conductivity and salt concentration for dilution gauging via dry salt injection. *Confluence: Journal of Watershed Science and Management*, 1 (2).
- Romarheim, A., Rohrlack, T., Kristiansen, J., Brettum, P., Krogstad, T. & Riise, G. (2012). Faktorerer som påvirker oppblomstring av cyanobakterier i Årungen - en risikovurdering. *IPM-rapport Nr. 2*.
- Sildre. *Informasjon*. Tilgjengelig fra: <https://sildre.nve.no/help> (lest 14.04).
- Sildre. *Stasjon 5.22.0, Bølstadbekken*: NVE. Tilgjengelig fra: <https://sildre.nve.no/station/5.22.0> (lest 24.04.).
- Sorteberg, A., Lawrence, D., Dyrddal, A., Mayer, S. & Engeland, K. (2018). Climatic changes in short duration extreme precipitation and rapid onset flooding—implications for design values. *Report*, 1: 2018.
- Woolway, R. I., Sharma, S., Weyhenmeyer, G. A., Debolskiy, A., Golub, M., Mercado-Bettín, D., Perroud, M., Stepanenko, V., Tan, Z. & Grant, L. (2021). Phenological shifts in lake stratification under climate change. *Nature communications*, 12 (1): 1-11.

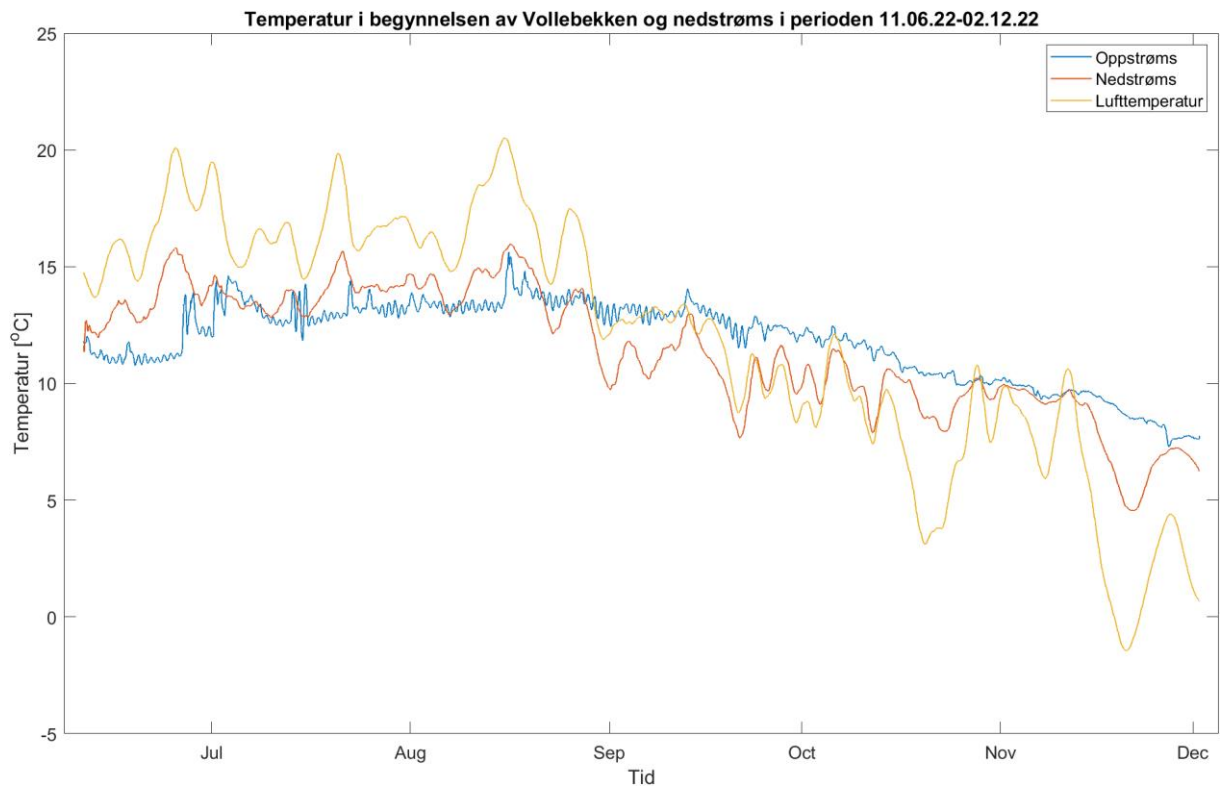
Vedlegg

V.Tabell 1. Økning i konsentrasjon av salt ved tilsetning av 0,5ml kalibreringsløsning med henholdsvis 2 mg/l og 5 mg/l NaCl.

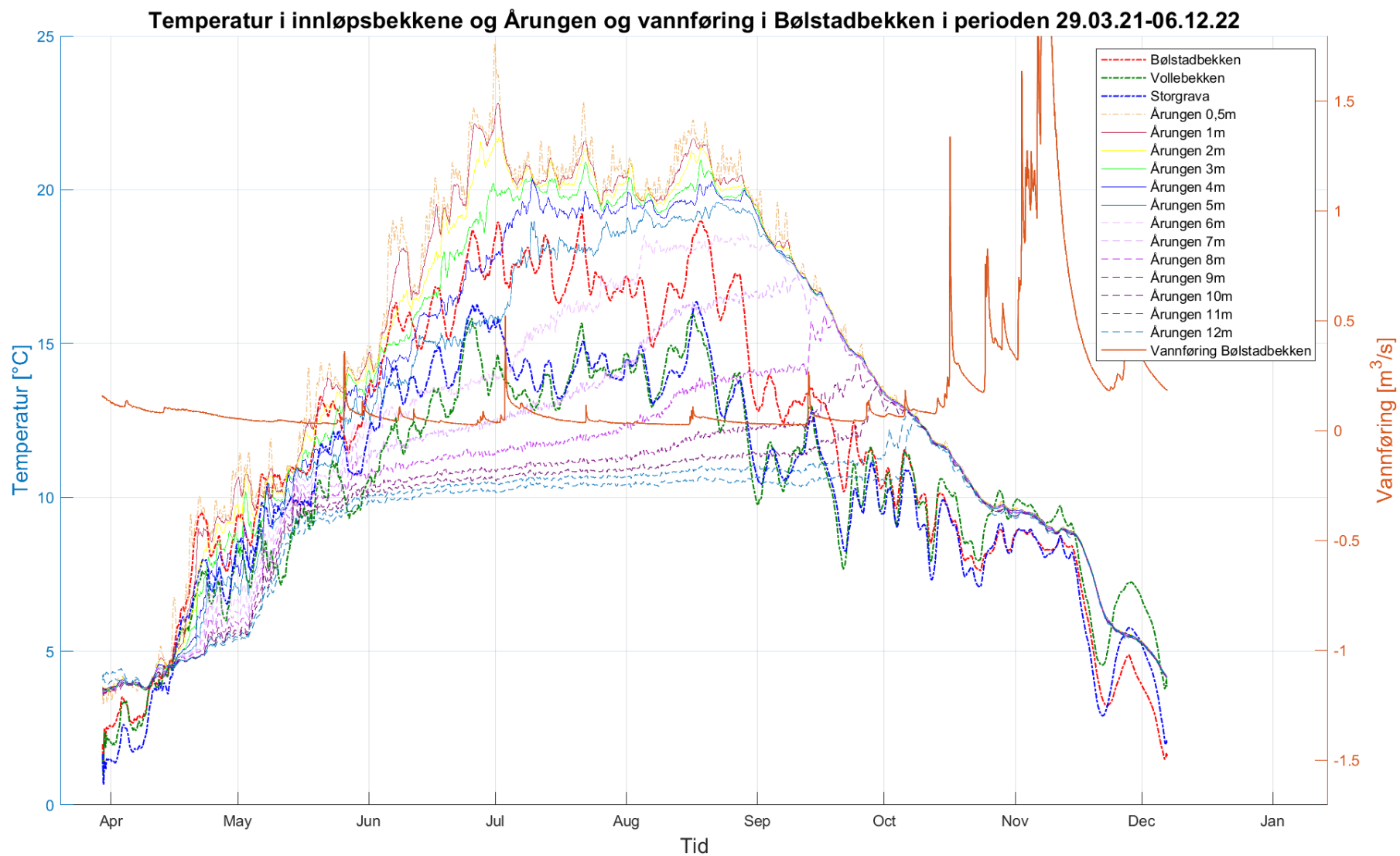
Volum (ml)	2 mg/l NaCl	5 mg/l NaCl
500	0	0
500,5	1,998002	4,995005
501	3,99201597	9,98003992
501,5	5,98205384	14,9551346
502	7,96812749	19,9203187

V.Tabell 2. Eksempel på utregning av kalibreringsfaktor der utregning er gjort med og uten hensyn til fortynningseffekten til destillert vann som kalibreringsløsning. ECT.normal viser den målte ledningsevnen når 0,5ml 2mg/l NaCl kalibreringsløsning tilsettes 0,5l ellevann. ECT.bg.d viser hvordan rent ellevann blir fortynnet dersom 0,5ml destillert vann tilsettes. ECT.bg.nacl viser hvordan ledningsevnen er når det blir tatt hensyn til fortynningseffekten. CFT er kalibreringsfaktoren.

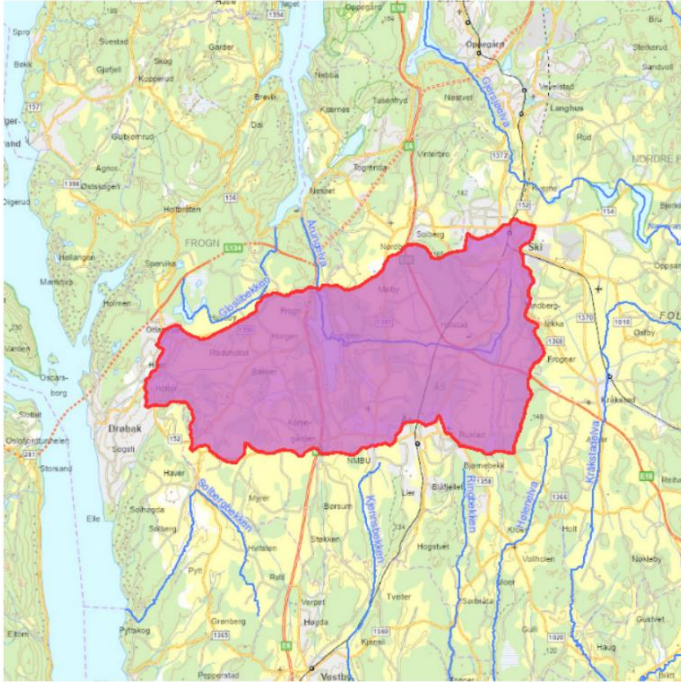
NaCl (5mg/l)	ECT.normal	ECT.bg.d	ECT.bg.nacl
0	195,95	195,95	195,95
4,995005	205,99	195,759241	205,799241
9,98003992	215,93	195,568862	216,120378
14,9551346	225,75	195,378863	225,939999
19,9203187	235,64	195,189243	235,82962
CFT	0,502		0,498



V.Figur 1. Temperaturdata fra der Vollebekken starter plottet sammen med Vollebekken målestasjon og lufttemperaturen. Datasettet med temperatur fra startpunktet til Vollebekken er samlet av Olsen G.H.T.



V.Figur 2. Vanntemperatur i innløpsbekkene og Årungen med vannføring i Bølstadbekken. Vannføringslinja er flyttet opp for å bedre kunne sammenlikne sommertemperaturene.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Kartbakgrunn: Statens Kartverk
Kartdatum: EUREF89 WGS84
Projeksjon: UTM 33N
Beregn.punkt: 260284 E
6625870 N

Nedbørfeltgrenser og feltparametere er automatisk generert og kan inneholde feil.
Resultatene må kvalitetssikres.

Nedbørfeltparametere

Vassdragsnr.: 005.3A
Kommune.: Frogn
Fylke.: Viken
Vassdrag.: Årungenelva

Feltparametere

Areal (A)	50.0	km ²
Effektiv sjø (A _{SE})	2.54	%
Elvleengde (E _L)	9.3	km
Elvegradient (E _G)	7.9	m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (E _{G,1085})	8.4	m/km
Helning	3.7	°
Dreneringstetthet (D _T)	1.0	km ⁻¹
Feltlengde (F _L)	7.4	km

Feltparametere Tilløp

Effektiv sjø – Tilløp (A _{SE-T})	0.19	%
Feltlengde – Tilløp (F _{L-T})	6.6	km

Arealklasse

Bre (A _{BRE})	0	%
Dyrket mark (A _{JORD})	48.2	%
Myr (A _{MYR})	0.1	%
Leire (A _{LEIRE})	66.2	%
Skog (A _{SKOG})	33.8	%
Sjø (A _{SJØ})	3.1	%
Snaufjell (A _{SF})	0	%
Urban (A _U)	5.1	%
Uklassifisert areal (A _{REST})	9.7	%

Hypsografisk kurve

Høyde _{MIN}	34	m
Høyde ₁₀	59	m
Høyde ₂₀	69	m
Høyde ₃₀	79	m
Høyde ₄₀	88	m
Høyde ₅₀	99	m
Høyde ₆₀	106	m
Høyde ₇₀	117	m
Høyde ₈₀	123	m
Høyde ₉₀	135	m
Høyde _{MAX}	164	m

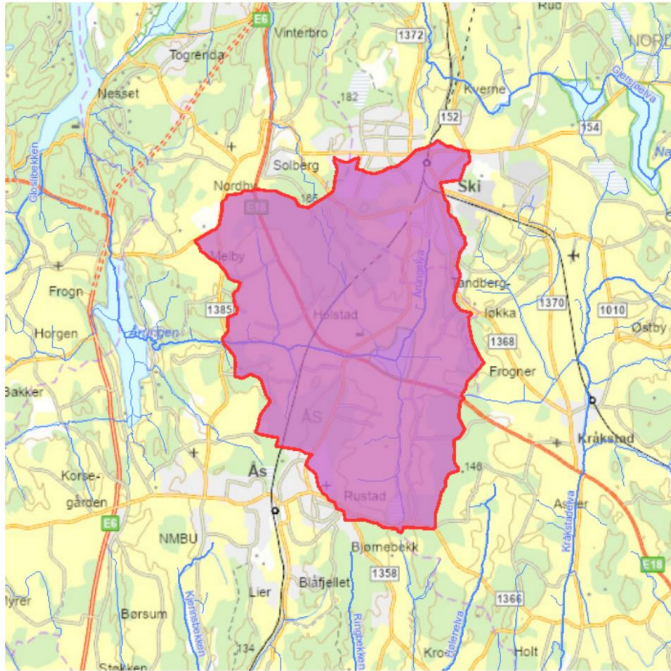
Klima- /hydrologiske parametere

Avrenning 1961-90 (Q _N)	15.7	l/s*km ²
Sommernedbør	384	mm
Vinternedbør	430	mm
Årstemperatur	5.3	°C
Sommertemperatur	13.3	°C
Vintertemperatur	-0.4	°C

Rapportdato: 26.4.2023

© nevina.nve.no

V.Figur 3. Nedbørfeltparametere for Årungen nedbørfelt.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Kartbakgrunn: Statens Kartverk
Kartdatum: EUREF89 WGS84
Projeksjon: UTM 33N
Beregnpunkt: 262279 E
6624381 N

Nedbørfeltgrenser og feltparametere er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

Nedbørfeltparametere

Vassdragsnr.: 005.3B
Kommune.: Ås
Fylke.: Viken
Vassdrag.: Årungenelva

Feltparametere

Areal (A)	21.7	km ²
Effektiv sjø (A _{SE})	1	%
Elvleengde (E _L)	5.5	km
Elvegradient (E _G)	5.6	m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (E _{G,1085})	3.9	m/km
Helning	2.9	°
Dreneringstetthet (D _T)	0.9	km ⁻¹
Feltlengde (F _L)	5.4	km

Arealklasse

Bre (A _{BRE})	0	%
Dyrket mark (A _{JORD})	48.6	%
Myr (A _{MYR})	0.1	%
Leire (A _{LEIRE})	67.0	%
Skog (A _{SKOG})	33.2	%
Sjø (A _{SJØ})	1.6	%
Snøfjell (A _{SF})	0	%
Urban (A _U)	8.9	%
Uklassifisert areal (A _{REST})	7.6	%

Hypsografisk kurve

Høyde _{MIN}	75	m
Høyde ₁₀	99	m
Høyde ₂₀	104	m
Høyde ₃₀	111	m
Høyde ₄₀	117	m
Høyde ₅₀	120	m
Høyde ₆₀	124	m
Høyde ₇₀	130	m
Høyde ₈₀	137	m
Høyde ₉₀	144	m
Høyde _{MAX}	163	m

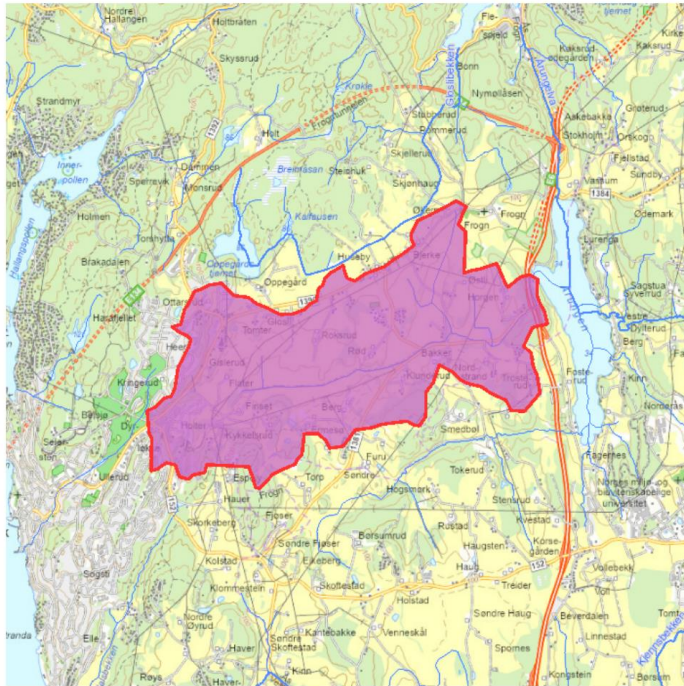
Klima- /hydrologiske parametere

Avrenning 1961-90 (Q _N)	16.6	l/s*km ²
Sommernedbør	380	mm
Vinternedbør	395	mm
Årstemperatur	5.2	°C
Sommertemperatur	13.1	°C
Vintertemperatur	-0.5	°C

Rapportdato: 10.5.2023

© nevina.nve.no

V.Figur 4. Nedbørfeltparametere for Bølstadbekken målestasjon.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Kartbakgrunn: Statens Kartverk
Kartdatum: EUREF89 WGS84
Projeksjon: UTM 33N
Beregn.punkt: 259961 E
6624888 N

Nedbørfeltgrenser og feltparametere er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

Nedbørfeltparametere

Vassdragsnr.: 005.3B
Kommune.: Frogn
Fylke.: Viken
Vassdrag.: Årungelva

Feltparametere

Areal (A)	8.5	km ²
Effektiv sjø (A _{SE})	80.4	%
Elvleengde (E _L)	4.5	km
Elvegradient (E _G)	5.5	m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (E _{G,1085})	2.1	m/km
Helning	4.2	°
Dreneringstetthet (D _T)	0.9	km ⁻¹
Feltlengde (F _L)	5.2	km

Arealklasse

Bre (A _{BRE})	0	%
Dyrket mark (A _{JORD})	63.8	%
Myr (A _{MYR})	0.2	%
Leire (A _{LEIRE})	64.1	%
Skog (A _{SKOG})	23.4	%
Sjø (A _{SJO})	0.1	%
Snaujell (A _{SF})	0	%
Urban (A _U)	3.3	%
Uklassifisert areal (A _{REST})	9.3	%

Hypsografisk kurve

Høyde _{MIN}	34	m
Høyde ₁₀	58	m
Høyde ₂₀	60	m
Høyde ₃₀	62	m
Høyde ₄₀	66	m
Høyde ₅₀	70	m
Høyde ₆₀	76	m
Høyde ₇₀	81	m
Høyde ₈₀	88	m
Høyde ₉₀	100	m
Høyde _{MAX}	149	m

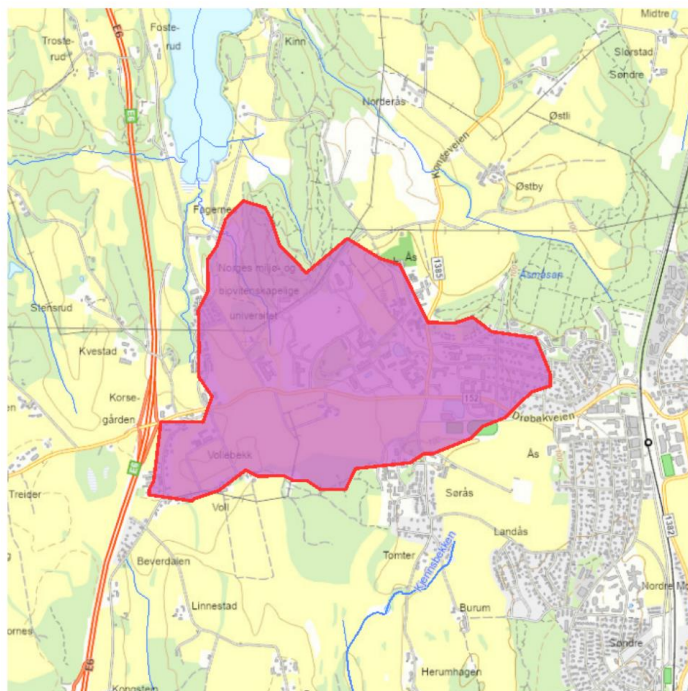
Klima- /hydrologiske parametere

Avrenning 1961-90 (Q _N)	15.4	l/s*km ²
Sommernedbør	391	mm
Vinternedbør	492	mm
Årstemperatur	5.5	°C
Sommertemperatur	13.6	°C
Vintertemperatur	-0.3	°C

Rapportdato: 10.5.2023

© nevina.nve.no

V.Figur 5. Nedbørfeltparametere for Storgrava målestasjon.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Kartbakgrunn: Statens Kartverk
Kartdatum: EUREF89 WGS84
Projeksjon: UTM 33N
Beregnpunkt: 260819 E
6622590 N

Nedbørfeltgrenser og feltparametere er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

Nedbørfeltparametere

Vassdragsnr.: 005.3B
Kommune.: Ås
Fylke.: Viken
Vassdrag.: Årungelva

Feltparametere

Areal (A)	2.0	km ²
Effektiv sjø (A _{SE})	0.04	%
Elvleengde (E _L)	0.8	km
Elvegradient (E _G)	25.9	m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (E _{G,1085})	32.0	m/km
Helning	3.3	°
Dreneringstetthet (D _T)	0.4	km ⁻¹
Feltlengde (F _L)	2.0	km

Arealklasse

Bre (A _{BRE})	0	%
Dyrket mark (A _{JORD})	38.1	%
Myr (A _{MYR})	0	%
Leire (A _{LEIRE})	49.1	%
Skog (A _{SKOG})	16.7	%
Sjø (A _{SJO})	0.6	%
Snau fjell (A _{SF})	0	%
Urban (A _U)	7.9	%
Uklassifisert areal (A _{REST})	36.5	%

Hypsografisk kurve

Høyde _{MIN}	40	m
Høyde ₁₀	59	m
Høyde ₂₀	69	m
Høyde ₃₀	75	m
Høyde ₄₀	78	m
Høyde ₅₀	80	m
Høyde ₆₀	83	m
Høyde ₇₀	89	m
Høyde ₈₀	97	m
Høyde ₉₀	101	m
Høyde _{MAX}	120	m

Klima- /hydrologiske parametere

Avrenning 1961-90 (Q _N)	16.0	l/s*km ²
Sommernedbør	382	mm
Vinternedbør	417	mm
Årstemperatur	5.3	°C
Sommertemperatur	13.3	°C
Vintertemperatur	-0.4	°C



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway