

Fidjekilen i Kristiansand. Innledende vurdering av konsekvens av tilførsel av vann fra Sukkevann.



RAPPORT

Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Sør

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Innlandet

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Vest

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Danmark

Njalsgade 76, 4. sal
2300 København S, Danmark
Telefon (45) 39 17 97 33

Internett: www.niva.no

Tittel Fidjekilen i Kristiansand. Innledende vurdering av konsekvens av tilførsel av vann fra Sukkevann.	Løpenummer 7367-2019	Dato 11. februar 2019
Forfatter(e) Lars G. Golmen Janne K. Gitmark	Fagområde Hydrologi og oseanografi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Agder	Sider 29

Oppdragsgiver(e) Asplan-viak Kristiansand	Oppdragsreferanse Fredrik Ording
	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 180324

<p>Sammendrag</p> <p>Kristiansand kommune arbeider med mulige tiltak mot flomproblemer i Sukkevann. Et alternativ er å etablere nytt utløp mot Fidjekilen/Fidjekilbukta slik at deler av vannet kan ledes dit. NIVA har gjort en innledende konsekvensvurdering for tiltaket, med fokus på mulige effekter for verneverdig ålegraseng i Fidjekilen. Økte ferskvannstilførsler vil kunne endre strømnings- og sjiktingsforholdene og dermed også påvirke vekstvilkårene for ålegras. Endringer i vannutskifting og islegging i Fidjekilen kan medføre negativ påvirkning. Men så langt er det ikke påvist noen effekter som kan true biotopene ved en framtidig tilstand med jevn (konstant fluks) overføring av ferskvann. Større, episodepregede tilførsler vil kunne medføre risiko for biotopene dersom de sammenfaller med ekstra høy vannstand og sterk vind. Det mangler oseanografiske og også biologiske data for Fidjekilen og omtalene av ålegrasforekomstene er gamle og muligens ikke representative for dagens tilstand. En basisundersøkelse bør derfor gjennomføres før tiltak settes i verk.</p>

<p>Fire emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ålegras 2. Fidjekilen 3. Poll 4. Ferskvannstilførsler 	<p>Four keywords</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Seagrass 2. Fidjekilen 3. Inlet 4. Freshwater supply
---	---

Denne rapporten er kvalitetssikret iht. NIVAs kvalitetssystem og godkjent av:

Lars G. Golmen
Prosjektleder

Kai Sørensen
Forskningsleder

ISBN 978-82-577- 7102-7
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

© Norsk institutt for vannforskning. Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse.

Forord

Asplan-viak tok kontakt med NIVA i september 2018 med forespørsel om bistand til vannfaglige vurderinger for scenariet med overføring av vann fra Sukkevann til Fidjekilen. Ålegrasforekomsten i Fidjekilen skulle være fokuset.

NIVA leverte et forslag til en kort, innledende vurdering av dette innenfor om lag fire dagers arbeid til Asplan-viak. Tilbudet blei akseptert i oktober 2018.

Det eksisterer lite marine data for Fidjekilen, og det var nødvendig å innhente lokalkunnskap. I så måte takkes Bengt Daatland i Randesund som også bistod med lokal opplysninger og ny fotodokumentasjon. Trond Johanson og Monika Fredvik i Kristiansand kommune og Tor Kviljo (Terra Teknikk) og Tone Kroglund bistod også med andre opplysninger. Hos NIVA har Janne K. Gitmark bistått med grunnlagsdata for ålegras, og Hartvig Christie kommenterte på rapportkastet.

Lars G. Golmen var prosjektleder. Fredrik Ording var kontaktperson hos Asplan-viak. Takk til alle involverte.

Bergen, februar 2019

Lars G. Golmen

Innhold

1	Introduksjon	7
1.1	Tiltaket og problemstillinger	8
1.1.1	Kanal Ødegård-Dvergsnes	8
1.2	Ålegras og vekstvilkår.....	9
1.2.1	Følsomhet for påvirkning.....	10
2	Omtale av Fidjekilen.....	11
2.1	Geografi og størrelse.....	11
2.1	Vær og tidevann.....	13
2.1.1	Nedbør og temperatur	13
2.1.2	Vind.....	14
2.1.3	Tidevann	14
3	Sukkevatnet og bekken mot Fidjekilen	16
3.1	Bekken ned mot Fidjekilen.....	17
4	Vannforekomsten Østergapet-ytre	18
5	Ålegraset som naturtype	19
6	Vurdering av mulige virkninger	21
6.1	Virkning på vannsirkulasjon, utskifting og vannkvalitet	21
6.1.1	Isdannelse, isskuring.....	21
6.1.2	Hydrografi og vannutskifting	24
7	Diskusjon	27
7.1	Virkninger på ålegraset	27
7.2	Andre mulige virkninger.....	27
7.3	Muligheter for reversering ved uønskede effekter	28
7.4	Behov for oppfølging og data	28
8	Referanser	29

Sammendrag

Kristiansand kommune arbeider med mulige tiltak mot flomproblemer i Sukkevann. Et mulig alternativ er å etablere et nytt utløp mot fjordpollen Fidjekilen/Fidjekilbukta slik at deler av ferskvannet kan ledes dit. De berørte områdene ligger i Kristiansand kommune, og tilhører vannforekomsten Østergapet-ytre.

Norsk Institutt for Vannforskning, NIVA, gjorde høsten 2018 en innledende konsekvensvurdering for det foreslåtte tiltaket, med fokus på mulighet for påvirkning av verneverdig ålegraseng i Fidjekilen. Bakgrunn og resultater av vurderingene basert på skisserte løsninger for overføring av ferskvann er omtalt i denne rapporten.

Kommunens forslag innebærer å føre noe vann fra Sukkevann mot Fidjekilen gjennom et rør (evt en renne) inn på den eksisterende bekken på sørsida som leder ned mot Fidjekilen. Dette er et tiltak for å dempe problematisk oppdemming av vann i Sukkevann med heving av vannspeilet under flomperioder. Det er primært deler av flomtoppene som tenkes ledet over til Fidjekilen. Dette blir kortvarige, aperiodiske tilførsler som vil forekomme fra en til noen få ganger i et normalår. Ferskvannstilførslene til Fidjekilen vil da kunne bli av størrelsesorden det doble av i dag.

Slike økte ferskvannstilførsler til Fidjekilen vil kortvarig kunne endre strømnings- og sjiktingsforholdene der, og dermed også påvirke ålegraset. Ålegrasengene er viktige oppvekstbiotoper for mange organismer og er derfor ansett som verneverdige. Vi har vurdert noen mulige endringer i vekstvilkår grunnet økt ferskvannstilførsel fra Sukkevann på forekomstene i Fidjekilen, først ved et scenario med mer permanent økning i tilførsler, og så under aperiodiske flomepisoder. Endringer i vannutskifting og islegging kan medføre negativ påvirkning ved mer langvarig påslipp. Men så langt har vi ikke påvist noen effekter som kan true biotopene ved en framtidig tilstand med jevn (konstant fluks) overføring av ferskvann.

Det planlagte tiltaket vil medføre at mye av overføringa av vann blir episodepreget med kortvarige store tilførsler til Fidjekilen, slik at samla tilførsler blir anslagsvis det doble av tilførslene ved flom i dag. Det er konkludert med at Fidjekilen kan håndtere slike økte tilførsler uten at det oppstår ekstraordinær vannstandsending eller sterke strømmer som kan true ålegraset. Dersom slike episoder sammenfaller med ekstremer i vannstand og vind kan imidlertid sterk strøm og erosjon true deler av biotopene.

Det er pekt på en nesten total mangel på oseanografiske og også biologiske data for Fidjekilen. Det er lite kunnskap om topografi og oseanografiske forhold, noe som gjør vurderingene usikre. Beskrivelsene av ålegrasforekomstene er gamle og muligens ikke representative for dagens tilstand. En basisundersøkelse bør derfor gjennomføres før tiltak settes i verk.

1 Introduksjon

Kristiansand kommune arbeider med mulige tiltak mot flomproblemer i Sukkevannet (Sokkevatnet) og i utløpet mot Korsvika (kulvert) med dårlig tilstand og kapasitet. Et mulig alternativ er å etablere et nytt utløp mot sjøvannspollen Fidjekilen/Fidjekilbukta (Figur 1).

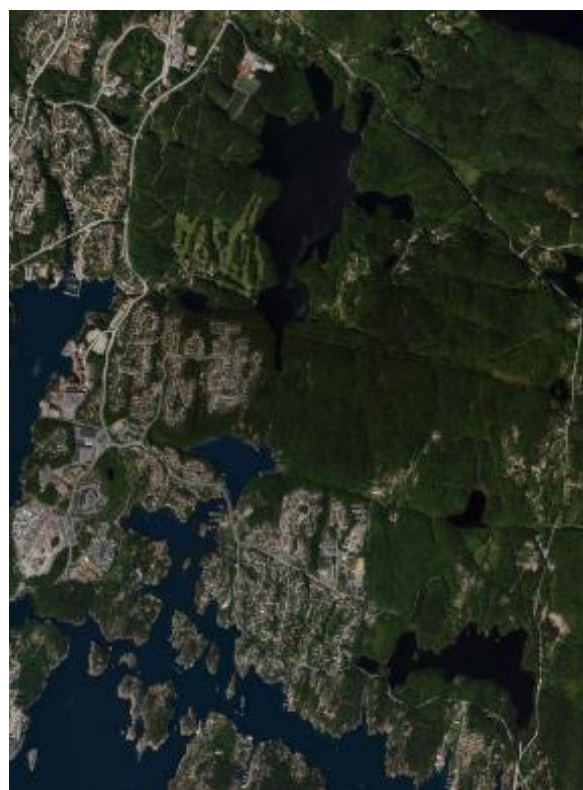
Asplan-viak som står for forprosjekteringa for kommunen, kontakta NIVA i september 2018 med forespørsel om bistand til vannfaglige vurderinger for scenariet med overføring av mer vann til Fidjekilen.

Ålegrasforekomsten skulle være fokuset. Ålegrasenga der blei registrert i 2008 og videre referert til i 2011. Registreringene fra 2008 er antakelig de eneste og siste offisielle. Fidjekilen innenfor brua er registrert som «svært viktig» naturtype «Ålegras-samfunn».

NIVA leverte et forslag til en kort, innledende vurdering av dette til Asplan-viak som blei akseptert i oktober 2018. NIVA presenterer her resultater og oppsummeringer fra prosjektarbeidet.

De aktuelle vannene ligger i Kristiansand kommune, og tilhører vannforekomsten Østergapet-ytre. Denne er del av vannområde Otra i Vannregion Agder, som har 2104 vannforekomster. Av disse er 1658 i risiko for ikke å oppnå god eller svært god miljøtilstand i perioden 2016 – 2021, det vil si ca 80 %.

Sur nedbør er den største utfordringen i vannregion Agder. De øvrige hovedutfordringene i vannregion Agder er: Kripsiv, vannkraftregulering, forurensede sedimenter, fremmede arter, andre fysiske inngrep i vassdrag, avløpsutslipp fra spredt bebyggelse og renseanlegg, avrenning fra landbruk, avrenning fra tette flater i byer/tettsteder/ industriområder og eutrofiering av kysten (Vannregion Agder 2015).



Figur 1. Sukkevannet og Fidjekilen, vanlig kart og flyfoto.

Den generelle tilstanden i Fidjekilen så langt vi har kunnet vurdere den, indikerer varsomhet med omsyn til å gjøre inngrep uten å forutse konsekvensene.

Flere lokalpersoner har bistått med å gi informasjon om de aktuelle vannene og problemstillingene. Her nevnes spesielt Bengt Daatland i Randesund, Trond Johanson og Monika Fredvik i Kristiansand kommune og Tor Kviljo (Terra Teknikk). Fredrik Ording var kontaktperson hos Asplan-viak.

1.1 Tiltaket og problemstillinger

Forslaget går ut på å føre noe vann fra Sukkevannet mot Fidjekilen gjennom et rør (evt en renne) inn på den eksisterende bekken på sørsida som leder ned mot Fidjekilen. Dette for å dempe oppdemming av vann i Sukkevann med heving av vannspeilet under flomperioder.

Utløpet derfra mot Korsvika i vest går over Korsviktjønna og i rør under Dvergsnesvegen mot sjøen. Dette løpet er trangt slik at det opptrer en hydraulisk blokkering ved stor vannføring, utløpet greier ikke svelge unna alt. Vannspeilet i Sukkevann kan stå høyere enn normalt i dagevis etter en regnværsperiode.

For å vurdere eventuell tilførsel av mer ferskvann til Fidjekilen må det gjøres en nærmere vurdering av konsekvenser av dette der, som i sin tur eventuelt kan veies mot redusert fare for skade andre steder. Potensialet for påvirkning av ålegrasforekomsten i Fidjekilen står i fokus i vurderingene.

Tilførslene til Fidjekilen fra Sukkevann vil antakelig få episodevis karakter, i tilknytting til regnværsperioder med flom. Hyppigheten av slike perioder kan dreie seg fra en til noen få per år. Enkelte episoder vil innebære kraftig flom, som 5-års flom, 20-års flom, med sjeldnere hyppighet. I rapporten har vi fokusert på ålegras og økt ferskvannspåvirkning generelt, og så sett på noen mulige scenarier med fluktuerende/aperiodiske tilførsler og flom.

1.1.1 Kanal Ødegård-Dvergsnes

Vi blei undervegs i prosjektet gjort oppmerksom på planer om å etablere småbåthavn og lage kanal ved Ødegård/Dvergsnes i Vestre Fidjekilen (altså utenfor indre Fidjekilen/Fidjekilbukta). Flere institusjoner lagde utgreiinger omkring etablering av båthavn der like etter årtusenskiftet (DNV, VIA NOVA, NIVA og Bioconsult AS). I NIVAs vurderinger (Oug 2001) nevnes det at havneanlegget kunne bidra til redusert overflatestrøm i området. SINTEF (2012) vurdere hvilke konsekvenser en kanal kunne få for strømforholda, og fant at effekten ville bli liten/neglisjerbar (se tekstboks under med konklusjonene fra SINTEF-notatet).

Ut over denne korte omtalen har vi ikke tatt disse planene og rapportene med i våre betraktninger.

5 Konklusjon

- Strømforholdene i kanalen vil ikke avvike fra strømforholdene ellers i området
- Det forventes ingen målbar endring i strømforhold eller vannutskiftning i området ved en realisering av den planlagte kanalen
- Ved vind i kanalens lengderetning (NNØ/SSV) kan det initieres en lokal vindgenerert kanalstrøm. Denne forventes å kunne komme opp i en størrelsesorden av 10 cm/s.
- Etablering av den planlagte kanalen vil med tanke på strøm og vannutskiftning være problemfri

1.2 Ålegras og vekstvilkår

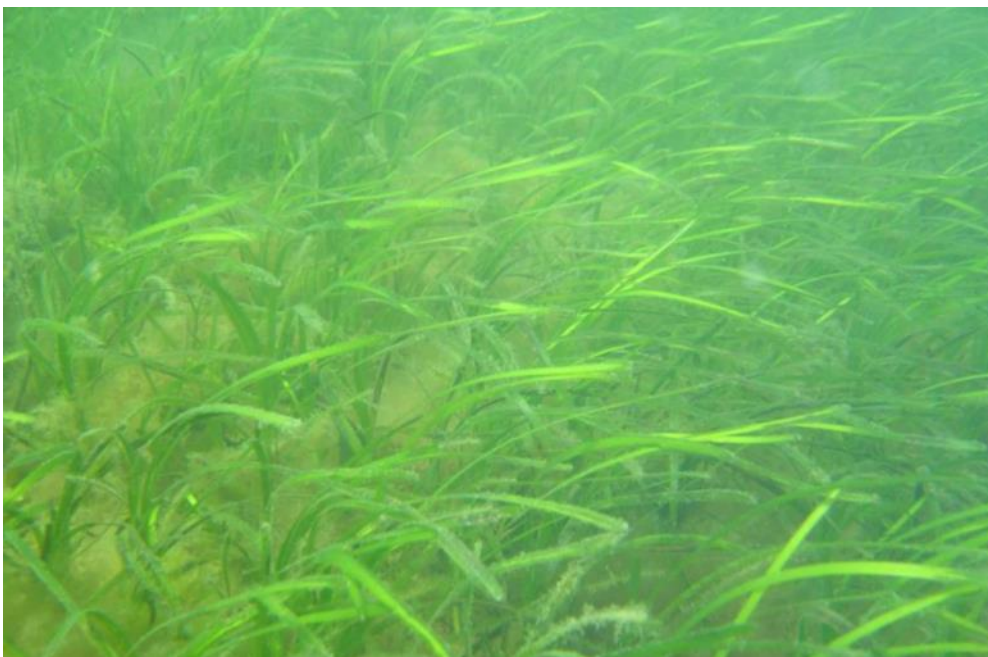
Det fins flere arter sjøgras i Norge, vanlig ålegras (*Zostera marina*, Figur 2) er mest vanlig. Ålegrasenger er beskyttet i henhold til Bernkonvensjonen og er listet i Riodeklarasjonen (1992/93: 13) som et habitat/naturtype med behov for fredning (verneverdig). I tillegg er sjøgrasenger prioritert i EUs Habitat Directive Annex I og er en av 11 prioriterte naturtyper i det norske kartleggingsprogrammet av marin biodiversitet.

Ålegras er ikke på Rødlista over trua arter. Ålegraseng som naturtype blei vurdert som livskraftig i 2011 (Rødlista for naturtyper 2011) men er en naturtype som anses som viktig for bevaring av noen trua arter. Miljøforvaltningen ønsker derfor å bevare naturtypen på dagens status (NINA 2018). Nyere undersøkelser har vist at ålegrasenger bidrar vesentlig til binding av CO₂, noe som gjør de viktige i klimasammenheng (Röhr m. fl. 2018).

Ålegras er en type sjøgras som danner enger på grunne bløtbunnsområder. Ålegraset sies å ha stor toleranse for salinitet og bunnkvalitet og kan finnes på grunt vann mellom holmer og skjær og i beskyttede havneområder. Generelt danner ålegraset enger i bukter og fjordbunner med sand- og mudderbunn.

Bestandsutviklingen i Norge er lite kjent, men som i Europa antar en at bestanden gikk sterkt tilbake i 1930-årene og at den gradvis har bygget seg opp igjen. Noen undersøkelser tyder på at spredningen er langsom, mens andre steder ser det ut til at variasjon og spredning forekommer i mer raske fluktuasjoner (Christie m.fl. 2012).

Planten kan bli inntil 1-2 meter høy. Vanligst er det å finne ålegrasenger nedover fra ca 0,5-1 m dyp. Den nedre voksegrensen er avhengig av hvor langt ned i vannet lyset rekker for tilstrekkelig fotosyntese for opprettholdelse av vekst og overlevelse. På Skagerrakkysten vokser ålegrasengene hovedsakelig ned til ca 7-8 m dyp.



Figur 2. Ålegraseng. Foto: H. Christie, NIVA.

Ålegras (*Zostera* sp.) er en av få høyere planter som vokser neddykket i saltvann. For landplanter er det ofte saltstress som er problemet når de blir eksponert for salt vann. I foreliggende problemstilling er ålegraset

etablert, under vedvarende akseptable hydrografiske og klimatiske vekstvilkår må vi formode. Og så er spørsmålet om tilførsler av mer ferskvann til Fidjekilen kan endre vekstvilkårene i negativ retning.

Her må det antas at økte ferskvannstilførsler til kilen medfører økt ferskvannspåvirkning på ålegrasbiotopene, altså mer vann med lavere salinitet der, i forhold til før. I prinsippet kan dette skje, d.v.s. at overflatelaget blir mindre salt. I tillegg kan strømforhold og betingelser for islegging endres.

Et spørsmål blir da, hvilken del av det øvre laget blir ferskere: hele laget, eller bare det øverste, tynne sjiktet? I siste tilfelle er det ikke sikkert at ålegraset vil «føle» noen endring, i og med at røttene i sandbunnen ligger dypere enn det øverste sjiktet.

Økt avrenning kan også føre til økt næringssalttilgang og tilføre mer humus og partikler til Fidjekilen. Mer nærings salt kan føre til økt mengde av trådformete alger, mer humus kan forringe lysforholdene, som igjen kan føre til redusert voksedyp og mengde av ålegras.

Mer is vil medføre svekket lystilgang, men siden islegging helst skjer i den uproduktive sesongen på vinteren, så er den effekten neppe signifikant (Olesen m.fl. 1969).

1.2.1 Følsomhet for påvirkning

Det oftest undersøkte stressfaktorene for ålegrasenger er forurensing, eutrofiering og partikler (fra fex mudringsarbeider). Det er mindre informasjon om toleranse for temperatur- og salinitetsvariasjoner.

I følge Aarrestad m.fl. (2015) er ålegras følsomt for endringer i bl.a. temperatur og salinitet, og sannsynligvis også for eutrofieringsgrad fra bl.a. økt tilførsel av næringsstoffer fra land, som gjør det mer utsatt for angrep av sopp.

Et fellestrekk er rimelig stabil mudderbunn eller sandbunn på lokalitetene, d.v.s. lite eller moderat eksponert for bølger og sterk strøm.

Ålegrasenger finnes både i rent marine kystområder og innover i brakkvann helt ned til 5 psu salinitet. Kort eksponering av ennå ferskere vann kan antakelig tolereres. Vi vet imidlertid ikke hvilke andre organismer som er assosiert i ålegras økosystemet i kilen. Det kan tenkes at mangfoldet i dette økosystemet blir redusert ved økende ferskvannspåvirkning selv om ikke ålegraset i seg selv blir berørt.

Optimal temperatur for vekst er mellom 5 og 20 °C, men ålegras har en ekstrem temperaturløselighet for kortvarig eksponering. Imidlertid ser det ut til at ålegraset ikke tåler for lange perioder over 20 °C siden det oppstår en negativ karbonbalanse (Christie m.fl. 2012). (Ålegraset så ut til å fint tolerere den varme sommeren 2018 med lengere perioder med temperatur rundt 22 grader; H. Christie, pers. medd.).

Salinitet og temperatur inngår for øvrig ikke som parameter i klassifisering av miljøtilstand ved vurdering av vekstvilkår for ålegras (Vannportalen 2018).

Mer is/islegging vil kunne medføre isskuring og svekket lystilgang. Den første faktoren vil muligens kunne bidra negativt, den andre er antakelig lite signifikant (Olesen m.fl. 1969).

2 Omtale av Fidjekilen

2.1 Geografi og størrelse

Fidjekilen ligger mellom Søm og Randesund sørøst i Kristiansand kommune. Benevningen knyttes spesielt til den innerste delen, ovafor brua for Kystvegen, FV 3. Lokalt kalles den også Fidjekilbukta.

I tidligere undersøkelser er Indre Fidjekilen brukt om området utafor brua (Kroglund 2009). Så navnet synes være knytta til hele partiet sørover mot Kones og Furuholmen.

Vi fokuserer her på den innerste delen, som vi her oftest kaller Fidjekilen. Det kan antas at denne delen vil være mest utsatt for eventuelle endringer i salinitet, sjikting og vannsirkulasjon ved økt ferskvannstilførsel.



Den innerste delen (

) er ikke opplodda, så vi har ikke noen informasjon om bunntopografien. Største dyp kan anslåes til å være 8-10 m. Antakelig er der stagnerende bunnvann og muligens råttent bunnsediment, slik som i andre dype partier av Fidjekilen (Oug 2001).

Fidjekilbukta måler tversover øst-vest om lag 500 m, og vel 400 m i retning nord-sør. Overflatearealet har vi stipulert til vel 0.1 km².

Tabell 1 gir noen estimer for arealer og vannvolum. Max dypet kan være noe overvurdert. Største dyp i området utafor brua er under 10 m.

Figur 3. Utsnitt av sjøkartet med Fidjekilen.

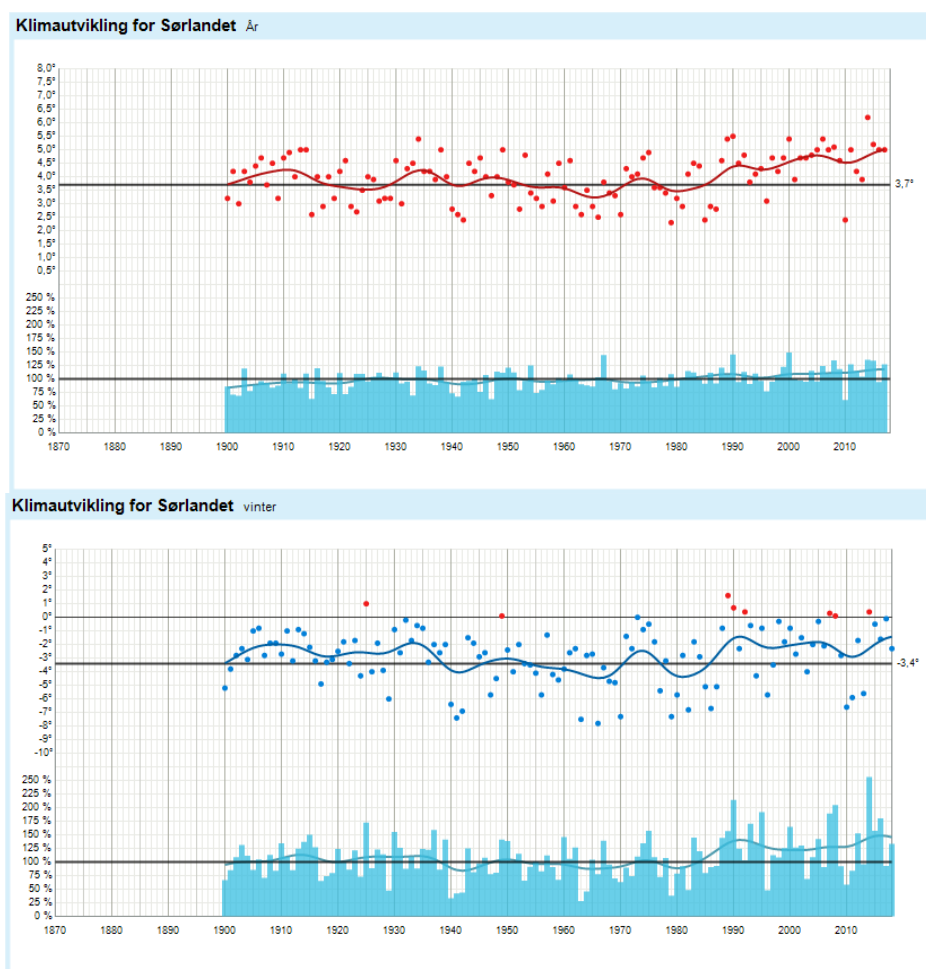
I følge B. Daatland (pers. medd.) er bredde av innløpet under brua knappe 14 meter og dypet varierer fra ca. 4.70 m ytterst til 4,50 m innerst mot Fidjekilbukta (målt med tau og lodd fra brua nylig).

Tabell 1. Noen stipulerte verdier for Fidjekilens innerste del, innafor brua. Kilen er ikke oppmålt.

Størrelse	Verdi
Overflatearealet	0.1 km ²
Max dyp	10m?
Dybde i innløpet	Ca 4 m
Bredde innløp	Ca 14 m
Tverrsnittsareal innløp	Ca 30 m ²
Totalt vannvolum	350.000 m ³ ?
Vannvolum over terskeldjup (innløp)	250.000 m ³ ?
Nedslagsfelt nedbør	1 km ² ? (20% av Sukkevann)
Ferskvannstilførsler fra land og på vann	20 l/s?

Fidjekilen kan antakelig best karakteriseres som en poll. Poller er skilt fra havet av en terskel ovenfor eller like under laveste fjærenivå og har permanent utløp og innløp til/fra havet. Vannutskifting skjer både ved flo og fjære sjø, men utskiftningen er begrenset. Naturtypen grenser ofte mot strandeng og strandsump og inneholder ofte ålegrasenger og andre undervannsenger.

Brakkvannssjøer er innsjøer og tjern og dammer som tilføres saltvann mer eller mindre regelmessig og vannet er brakt (vann med salinitet 0,5-18 promille). Typisk ligger vannspeilet over vanlig høyvann, slik at saltvannstilførselen er uregelmessig. Fidjekilen tilhører neppe denne kategorien, i og med at der er fritt løp for sjøvann ut og inn.



Figur 3. Klimautvikling for Sørlandet, for lufttemperatur (prikker) og nedbør (stolper), fra 1900 til 2016. Øverst er for hele året, nederst for vinterperiodene. Kilde: Met.no. Legg merke til trenden med mer fuktige vintre i det siste.

2.1 Vær og tidevann

For vannutskiftinga i Fidjekilen vil faktorer som tidevann, vind og nedbør være styrende. Nedbøren styrer ferskvannstilførslene fra land.

2.1.1 Nedbør og temperatur

Årsmiddel for nedbør i området er omlag 1200 mm/år. Midlere vannføring fra Sukkevann er ca 0.1 m³/s. Vannivåhevingen i Sukkevatnet opptre i flomperioder. Disse varierer fra år til år. Tabell 2 viser noen beregnede flomverdier. Eksempelvis så er årlig flom beregnet til 1,4 m³/s inkl. klimapåslag, 20 års-flommen til 2,6 m³/s inkl. klimapåslag.

I 2017 var det mye flom tidlig på høsten, men kan ellers opptre til alle årstider. Figur 3 viser arealintegrert statistikk for Sørlandet for temperatur og nedbør. Års-statistikken viser en viss økning i nedbør siste årene. Vinter-statistikken derimot, viser en tydelig økning i nedbør fra rundt år 1980. Oksøy fyr ytterst i Byfjorden har i gjennomsnitt 182 dager pr år med nedbør.

Tabell 2. Flomverdier for Fidjekilen med ulike gjentakingsintervaller. Kilde: NVE: Nevina.

	Q ^M		Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀
	m ³ /s	l/(s*km ²)						
Flomfrekvensfaktorer	-	-	1,24	1,51	1,82	2,34	2,81	3,40
95% intervall øvre grense (m ³ /s)	1,8	425,6	2,3	2,8	3,5	4,6	5,7	6,9
Flomverdier (m ³ /s)	1,0	240	1,3	1,5	1,8	2,4	2,8	3,4
95% intervall nedre grense (m ³ /s)	0,6	136	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7
Flommer med klimapåslag (m ³ /s)	1,4	336,7		2,1	2,6	3,3	4,0	4,8

2.1.2 Vind

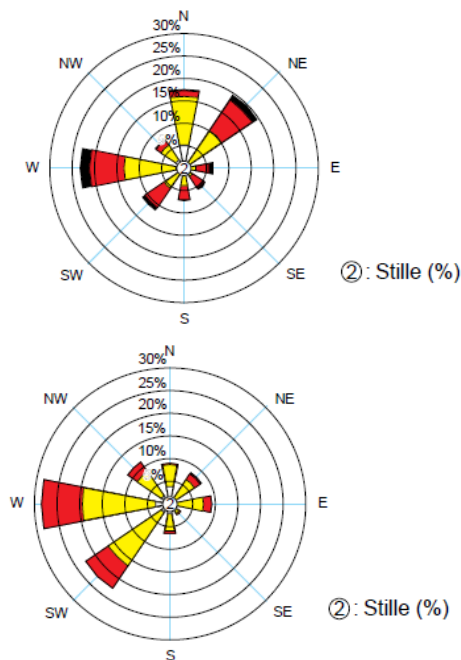
Vindstatistikk for Oksøy fyr er synt i Figur 4, for månedene januar og juli. Vind fra NE og SW dominerer om vinteren, mens W og SW vind er hyppigst om sommeren.

OKSOY (1971-2000)

4 obs/dogn	Beaufort												%
Sekt.	≤1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	sum
N	0.8	4.3	6.3	4.5	0.8	0.4	0.2						17.4
NE	0.1	0.8	3.0	6.2	5.2	3.1	1.1	0.1					19.5
E	0.1	0.1	0.8	1.5	1.3	1.6	0.9	0.2	0.0				6.5
SE		0.2	0.7	1.4	1.5	1.4	0.5	0.1					5.8
S	0.1	0.3	0.9	2.5	1.6	1.4	0.2	0.1	0.0				7.2
SW	0.1	0.5	1.2	3.7	2.8	2.2	0.7	0.1	0.0				11.3
W	0.3	1.5	3.9	7.6	4.6	3.2	1.3	0.7	0.1				23.1
NW	0.4	1.6	1.9	2.3	0.8	0.4	0.2	0.0					7.6
Stille	1.6												1.6
Sum	3.5	9.2	18.7	29.7	18.6	13.8	5.1	1.3	0.1				100.0

OKSOY (1971-2000)

4 obs/dogn	Beaufort												%
Sekt.	≤1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	sum
N	0.7	3.2	4.0	0.8	0.3	0.1							9.0
NE	0.2	1.2	2.1	2.8	1.4	0.4	0.1	0.1					8.3
E	0.2	1.4	2.3	3.5	1.5	0.4	0.0	0.0					9.3
SE	0.1	0.9	1.0	0.6	0.3	0.0							2.9
S	0.2	1.7	2.3	1.6	0.5	0.1							6.4
SW	0.2	2.2	5.5	8.6	4.2	1.6	0.1	0.0					22.4
W	0.2	2.9	6.7	9.4	6.4	2.5	0.1	0.0					28.3
NW	0.4	2.0	2.8	3.6	1.9	0.6	0.0						11.2
Stille	2.2												2.2
Sum	4.4	15.4	26.7	30.8	16.4	5.8	0.3	0.2					100.0



Vindstyrker:

■	> 6B
■	5-6B
■	3-4B
□	1-2B

Figur 4. Vindstatistikk for Oksøy fyr, januar (øverst) og juli måned. Kilde: Meteorologisk institutt og Den Norske Los, Bnd 2b. Fargekodene referer til vindstyrke, i Beaufort.

2.1.3 Tidevann

Et amphidromisk tidevannspunkt ligger like sørvest for Egersund. Forskjellen mellom flo og fjære er derfor liten i denne delen av landet. Midlere tidevannsforskjell ved spring er 22 cm ved Mandal (Tregde, Tabell 3). Gjennomsnittlig forskjell mellom flo og fjære kan dreie seg om ca 18 cm.

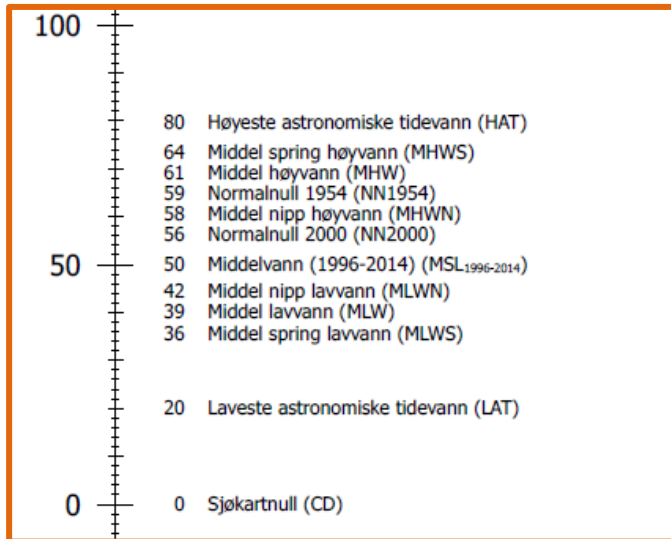
Tabell 3. Tidevannsverdier for Tregde og Helgeroa. Fra Den Norsk los, Bd 2b.

Havn	Posisjon	Z ₀	Laveste obs. rel. Sjøkartnull	Høyeste obs. rel. Sjøkartnull	Midlere havnetid
Helgeroa	59° 00'N, 09° 52'E	50 cm	-30 cm	184 cm	4t 25min
Tregde	58° 00'N, 07° 34'E	45 cm	-28 cm	160 cm	3t 59min

Tidevannet varierer med sol og måne, og i tillegg påvirker vind og lufttrykk vannstanden. De predikerbare, astronomiske verdiene for nærmeste standardhavn Helgeroa ved Larvik i Vestfold, er synt i Tabell 4. Forskjellen mellom høyeste og laveste astronomiske tidevann er der 60 cm.

Forskjellen mellom høyest og lavest målte vannstand er over 2 meter. Verdier tilsvarende dette er antakelig passende for Fidjekilen også.

Tabell 4. Astronomiske tidevannsverdier for Helgeroa. Kilde: Norges sjøkartverk, Kartverket.

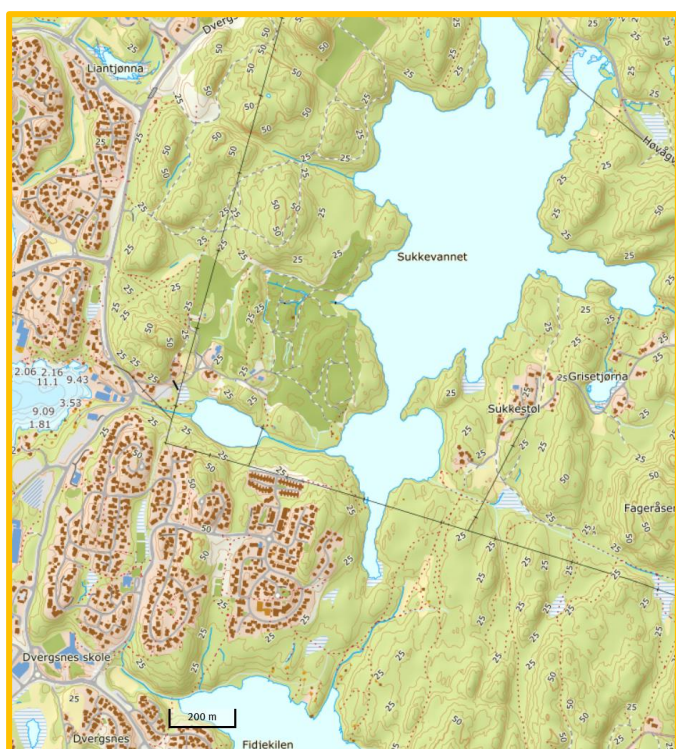


3 Sukkevannet og bekken mot Fidjekilen

Sukkevann (Figur 5) er en om lag 2 km lang innsjø, som ligger 9 m.o.h. Rundt innsjøen er det mest naturmark, med noe bebyggelse og grøntarealer. Det er planer om boligbebyggelse ved vannet tilsvarende 5-6000 personer.

Overflatearealet av vannet kan dreie seg om ca 1 km². Nedbørfeltet er 4.5 km². Avrenningen (30-årsnormalen 1960-1990) er beregnet til 22,74 l/sek/km² som motsvarer midlere avrenning på 101,6 l/sek fra Sukkevannsystemet (Terrateknikk 2018). Flomberegninger foreligger ikke.

Bekken som drenerer mot Fidjekilen er også synlig kartet. Avstanden fra vannet til der bekken starter, er ca 100 m.



Figur 5. Sukkevannet med utløpet mot vest til Korsvika. Den omtalte bekken i sør som drenerer mot Fidjekilen er også synlig. Norgeskart.no.

Sukkevann var tidligere regulert som drikkevann og tilknyttet sagbruk-virksomhet i Korsvika. En stem regulerte vanntilførselen til sagbruket. Sukkevannets høyde varierte dermed med minst 1 meter, alt etter virksomhetens behov og vannforbruk ellers.

I det opprinnelige bekkeløpet vandret glassål/ål opp fra Korsvika til Sukkevannet. Når bekken ble lagt i rør, stoppa også adkomsten for glassål. Kun enkelte større individer kommer opp, priggitt vannforholda i passasjen (B. Daatland, pers medd.).

Sukkevann karakteriseres som en rentvannsinnsjø, d.v.s. dyp, kalkfattig og klar, tilsynelatende lite negativt berørt av naboskapet som har stadig sterkere boliginnslag og byggeaktivitet (Terrateknikk 2018).

3.1 Bekken ned mot Fidjekilen

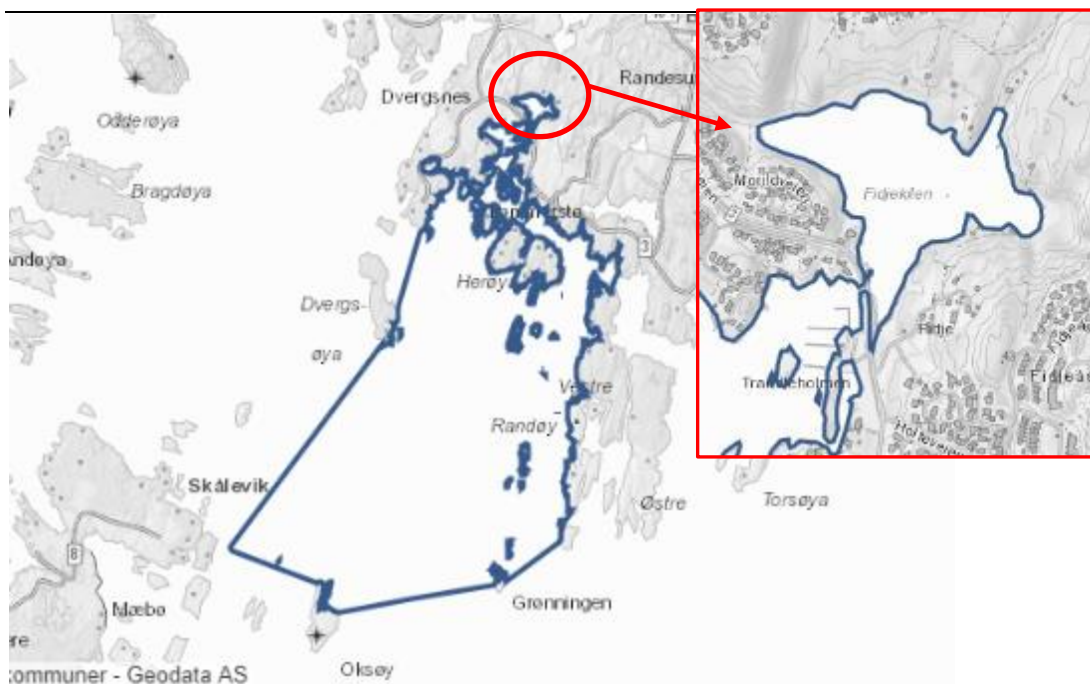
Bekken mot Fidjekilen starter i ei steinrøys litt nedafor Sukkevann (Figur 5). Avstanden fra innsjøen til bekken anslås til ca 100 m. Figur 6 viser noen fotografier av bekken.



Figur 6. Foto av bekken som ender i Fidjekilen (øverst tv.) har utspring like nedafor Sukkevannet (nede t.h.). (Foto: B. Daatland).

4 Vannforekomsten Østergapet-ytre

Fidjekilen ligger i økoregion Skagerrak, i vannforekomsten «Østergapet-ytre (0130010301-1-C), som har et areal på 14 km² (Figur 7). Vannforekomsten har vanntype «Beskyttet kyst/fjord», og er i vannnett oppgitt med salinitet >25 og beskyttet bølgeeksponering (<https://vannnett.no/portal/#/waterbody/0130010301-1-C>).



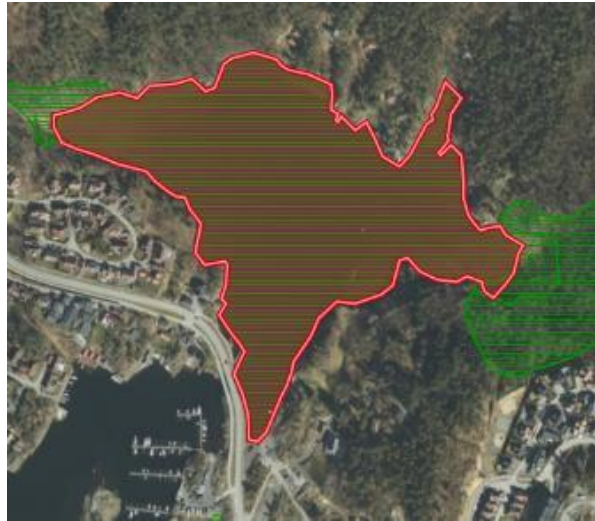
Figur 7. Vannforekomst «Østergapet-ytre» henta fra vannnett (<https://vannnett.no/portal/#/waterbody/0130010301-1-C>). Rød sirkel og kartutsnitt øverst til høyre viser Fidjekilen.

Økologisk tilstand i vannforekomsten er «Moderat». Tilstanden er moderat grunnet nedre voksegrense for makroalger (<https://vannnett.no/portal/#/waterbody/0130010301-1-C>). Kjemisk tilstand i vannforekomsten er «Dårlig». Tilstanden er dårlig grunnet konsentrasjoner av bl.a. bly, kvikksølv og kadmium (<https://vannnett.no/portal/#/waterbody/0130010301-1-C>).

Vannforekomsten er påvirket av diffus avrenning og utslipp fra transport/infrastruktur. Annen påvirkning er kjemisk forurensing, båt- og skipstrafikk og punktutslipp fra industri (<https://vannnett.no/portal/#/waterbody/0130010301-1-C>).

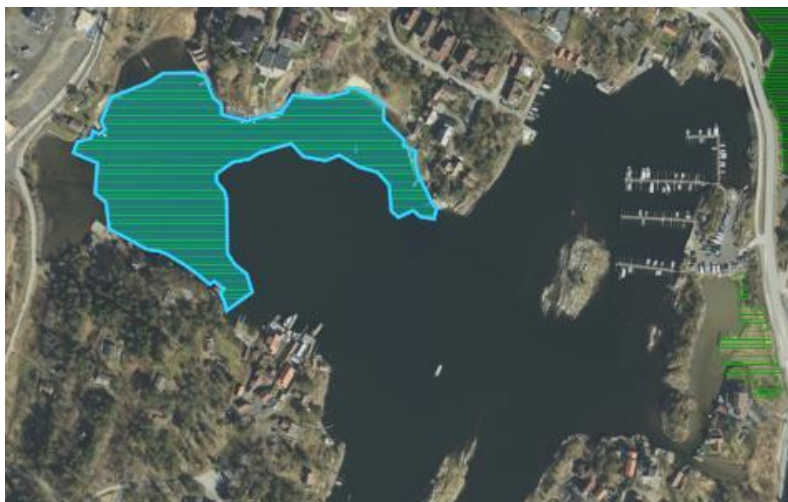
5 Ålegraset som naturtype

I Naturbasen er naturtypen «Ålegrassamfunn» registrert innerst i Fidjekilen (Figur 8). Ålegrasregistreringen ble gjort i 2008 av Havforskningsinstituttet (<https://faktaark.naturbase.no/?id=BN00044062>). Ålegrasengen dekker i følge dette hele Fidjekilen (totalareal 96,265 daa) og er klassifisert til A-verdi (Svært viktig).



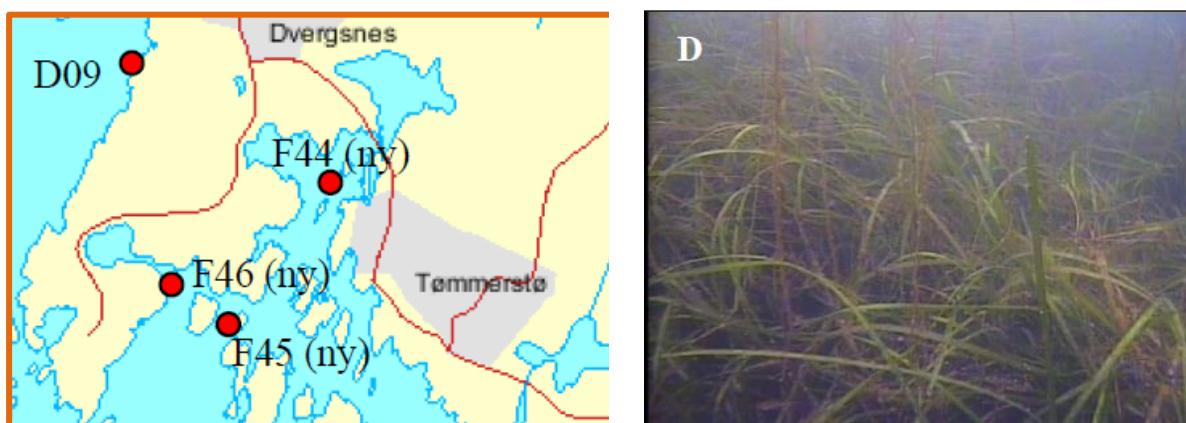
Figur 8. Naturtype «Ålegrassamfunn» markert i rødt, registrert i Fidjekilen i 2008 (<https://kart.naturbase.no/>).

På vestsida av midtre Fidjekilen er det også registrert naturtypen «Ålegrassamfunn» i naturbasen (Figur 9). Ålegrasregistreringa blei gjort i 2008 av Havforskningsinstituttet. Ålegrasenga har et totalareal på 24,651 daa, og er klassifisert til B-verdi (Lokalt viktig) (<https://faktaark.naturbase.no/?id=BN00044061>).



Figur 9. Naturtype «Ålegrassamfunn» markert i grønt, registrert på vestsiden av Fidjekilen i 2008 (<https://kart.naturbase.no/>).

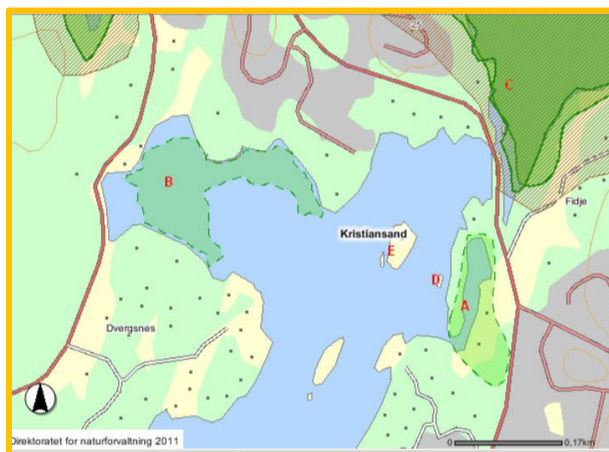
Det kan også nevnes at Fidjekilen lenge har vært et svært viktig vinterområde for knoppsvane, og det finnes to hekkelokaliteter for makrellterne, fiskemåke og hettemåke (Lie, 2011).



Figur 10. Kart over noen stasjoner i 2008 undersøkt med vannkikkert og droppkamera for å registrere hovedtrekkene i makroalgесamfunnet. Til høyre: Observert ålegras. (NIVA, Kroglund 2009).

NIVA gjorde observasjoner i Fidekilen i 2008 (Kroglund 2009). Den innerste stasjonen (Figur 10) lå utafor den innerste delen av Fidekilen som er mest i fokus nå. Stasjonen var lite utsatt for bølgeslag. Grisatang (*Ascophyllum nodosum*) dominerte i fjæra sammen med sagtang. I sjøsonen var det tette bestander av ålegras (*Zostera marina*) og havgras (*Ruppia* sp.). Tangen var preget av store mengder påvekstalter. Det ble ikke observert tare ved stasjonen. I følge rapporten (Kroglund 2009) var det ikke tidligere gjort undersøkelser ved den stasjonen.

Lie (2011) gjorde flora/fauna observasjoner i innerste del av Fidekilen i 2011, i samband med befaring (reguleringsplanen). I den rapporten er det referert til Artsdatabankens oversiktskart (Figur 11).



Figur 11. Kartet viser områdene som var registrert som naturtyper (grønne felt) i indre delen av Fidekilen i 2011 (Artsdatabanken, Lie 2011). Strandeng og strandsump» (område A) og «Ålegrassamfunn» (forekomst av vanlig ålegras) (område B og C).

Etter 2011 er det antakelig ikkje gjort noen kartlegging eller omtale i offentlig regi. B. Daatland foretok en befaring i privat regi i november 2018: «I bukt/vik på både øst og vest side (sivområdene), i de grunne områder, var det få/lite tegn til ålegras. Det var "greie" forekomster i de midtre områdene utenfor begge vikene (mer i vest), sett fra nordsiden av Fidekilen i turstiområdet. Det var også greie forekomster sett fra sør-øst siden, men deler av områdene her var dype og vind gjorde sikt vanskelig. I områdene ved brua er det for dypt til å se noe. I områdene bortenfor brua på østsiden, hvor båter ligger var det lite å se.» (B. Daatland, pers. medd.)

6 Vurdering av mulige virkninger

6.1 Virkning på vannsirkulasjon, utskifting og vannkvalitet

6.1.1 Isdannelse, isskuring

Fidjekilen blir islagt periodevis hver vinter, men det finnes sannsynligvis oftest åpne råker både i området ved brua (pga turbulens) og lenger inne. Tidvis er trolig også ytre deler islagt.

Ferskere overflatevann som følge av økte tilførsler kan teoretisk sett bidra til økt/hyppigere islegging p.g.a. brakkere vann, og dels p.g.a. kraftigere sjikting i overflata (raskere nedkjøling).

De mest aktuelle spørsmåla i tilknytting til islegging er

1. Vil endra ferskvannstilførsel (vinter) kunne medføre endringer i lokal-meteorologiske forhold?
2. Kan økte tilførsler medføre økt, evt redusert islegging, eller endra isleggingsmønster?
3. Kan mer isdannelse medføre risiko for isoppstuvning ved utløpet?

Islegging om vinteren er en naturlig prosess, som nye inngrep/tiltak i utgangspunktet ikke bør endre vilkåra for, særlig dersom slike endringer kan medføre forverra vilkår for samfunn og økologi. Vi har ikke utført noen "nytte-analyse" for isen i Fidjekilen, t.d. om den er viktig i samband med isfiske, evt. om den er til hinder for ferdsel og næringsvirksomhet i dag, men tar utgangspunkt i at mer is/lengre isleggingsperioder vil representere en negativ utvikling som bør unngås.

Prosesen som fører til isdanning i sjøoverflata under avkjøling blir styrt av flere faktorer. Dersom saliniteten er over 25 psu, vil avkjølinga ned mot frysepunktet bidra til å øke overflatevannets densitet, og det vil oppstå en begrensa vertikalkonveksjon i celler. Denne konveksjonen vil medføre at litt varmere vann blir ført opp til overflata. Dermed blir avkjølinga holdt i sjakk ei stund, og islegginga blir utsatt.

Dersom saliniteten er under 25 ppt, vil vannet ved avkjøling opptre på same måte som ferskvann. D.v.s. at det når sin maksimale densitet ved en temperatur som ligger over frysepunktet. For sjøvann med 25 ppt salinitet vil frysepunktet og temperatur for max. densitet falle sammen (-1,33°C). For sjøvann med 20 ppt i salinitet vil frysepunktet ligge rundt -1°C, og mens temperaturen for max. densitet vil ligge rundt 0 °C.

Dersom overflatevannet er ferskere enn 25 ppt, vil m.a.o. avkjølinga medføre at det blir danna et sekundært, tynt sjikt i overflata, som raskt lar seg avkjøle videre til frysepunktet. Derfor er det viktig å fastslå på hvilken side av 25 ppt verdien overflatevannet i Fidjekilen ligger høst- og vinterstid, og i hvilken grad økt ferskvannstilførsel vil medføre endringer i islegging den ene eller den andre vegen.

Vi kan gjette at den ligger under 25 ppt i dag. Og at den vil ligge enda lavere ved eventuell ferskvannstilførsel fra Sukkevann.

I tillegg til overflatesaliniteten er sjiktinga nær overflata viktig for hvor raskt isdanning skjer. Dersom det er et relativt tjukt og velblanda øvre lag med bra salinitet, vil avkjølinga ta lenger tid enn for et tynt, ferskt sjikt.

Ad. spørsmål 1:

Islegging blir i første rekke styrt av meteorologi. Det er gjerne i stille og kalde værperioder det er gunstige vilkår for isdanning, forutsatt at de hydrografiske forholdene (sjikting, salinitet) i sjøen også er gunstige. Netto strålingsbalanse og direkte varmetap vil styre avkjølinga av overflatelaget. Vind og bølger vil oftest motvirke isdanning, og bryte ned sjiktinga og evt. eksisterende is. Disse meteorologiske faktorene blir neppe målbart endra som følge av eventuell mer påslipp av ferskvann til Fidjekilen. Forventa regionale klimaendringer på Sørlandet med mildere og fuktigere vintre (jamfør med Figur 3) vil kunne bidra til mindre is/kortere isleggingsperioder enn historisk. I forhold til foreliggende problemstilling er spørsmål 1 neppe verken kritisk eller signifikant for Fidjekilen.

Ad. spørsmål 2 og 3:

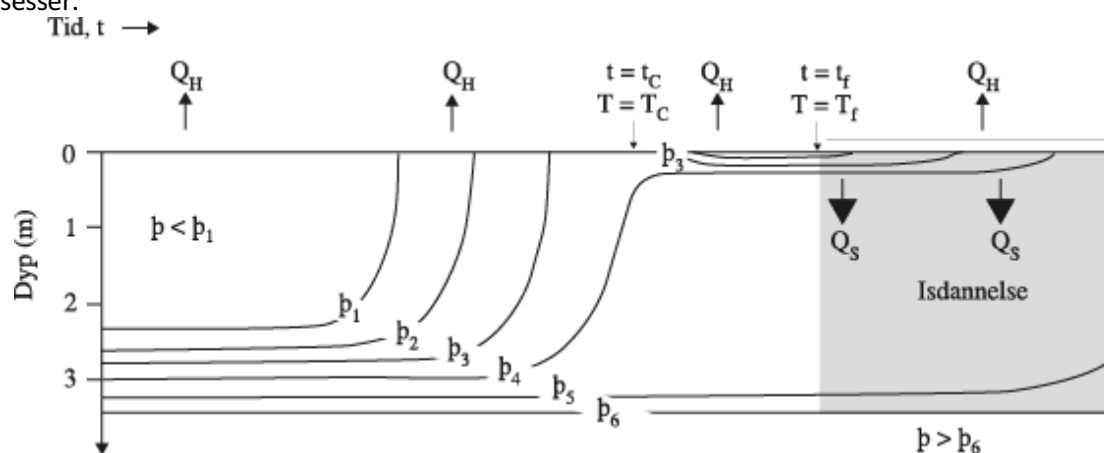
For å svare på disse spørsmålene har vi gjort noen simuleringer og betraktninger med en konvektiv is-modell. Generelt kan det sies at evt endringer i hydrografiske forhold og for vannutskiftingsdynamikken som følge av økt ferskvannstilførsel er viktige faktorer for responsen på avkjøling. Islegging får bedre vilkår jo mer brakt overflatevannet er, og jo kraftigere sjikting.

6.1.1.1 Modell for isdanning

Modellen er 1-dimensjonal, d.v.s. bare vertikale (z) konveksjonsprosesser er simulert i modellen. Varmetap fra overflata – mot lufta – driver modellen. In-situ densitet for sjøvannet blir benytta i beregningene (betyr lite for grunn konveksjon som i Fidjekilen). High Pressure International Equation of State of Sea Water 1980 (EOS 89) er brukt for sjøvannets densitet $\rho = \rho(P, T, S)$, der T og S er temperatur og salinitet ved trykket ($dypet$) P .

Vi har konstruert to hypotetiske vertikallprofiler for salinitet og temperatur vinterstid for våre simuleringer, en for før-tilstanden, og en med ferskvann fra Sukkevann. Vi mangler faktiske målinger for dette for nå-tilstanden, så profilene er basert på erfaringer fra andre fjorder med ferskvannstilrenning og brakkvann.

Avkjøling er simulert ved gradvis å redusere temperaturen i det øvre gjennomblanda laget. Avkjølinga medfører vertikal konveksjon, mens potensiell temperatur er konstant med dypet men får gradvis lavere verdi etterhvert som avkjølinga skrider fram (Figur 12). Når densiteten i underkant av det gjennomblanda laget M ; $\rho = \rho(T_M, S_M, H)$, har nådd den målte densiteten i dypet $H+dH$, der dH er et lite trykk (dyp) inkrement, blir det antatt at laget med tykkelse H blir blanda sammen med laget under, slik at et nytt lag med tykkelse $H+dH$ blir danna. Vertikalblandinga er ikke-penetrerende, d.v.s. vi antar langsomme prosesser.



Figur 12. Skisse som viser et mulig tidsforløp for konveksjon i overflatelaget og danning av is under avkjøling. p representerer sjøens densitet (ρ i teksten).

Dersom avkjøling av blandingslaget tar temperaturen T_M til frysepunktet, og den nye densiteten ρ_M fortsatt er for lav til at videre konveksjon når til det neste dypet $H+dH$, er frysing av is i overflata det neste steget i modellen. Dette blir simulert ved en gradvis økning i saliniteten i det øvre blandingslaget (fordi salt blir skilt ut i fryseprosessen) mens overflatetemperaturen blir holdt på aktuell frysepunktsverdi. Til slutt vil ρ_M være høgt nok til at videre konveksjon kan fortsette. Istykkelsen som samsvarer med den aktuelle salinitetsøkningen blir utrekna, ved å anta at isen holder tilbake salt motsvarende en konsentrasjon på $5 \cdot 10^{-3}$ (for Fidjekilen kan denne verdien muligens være litt høgt satt, men dette påvirker ikke resultatene nevneverdig).

Varmetapet fra øverste laget til luft blir beregnet ved å nytte $4.0 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3$ som spesifikk varme for sjøvann, og varmetapet til lufta som forårsaker isdanning er berekna ved å nytte verdien $2.9 \cdot 10^8 \text{ J/m}^3$.

Vilkår for at konveksjon i blandingslaget med tykkelse H når dypet $H+dH$:

$$\rho_M + d\rho_M = \rho(H+dH), \text{ eller}$$

$$\rho(S_M, T_M, H+dH) + d\rho(dS_M, dT_M, H) = \rho(S(H+dH), T(H+dH), (H+dH))$$

der $S(H+dH)$ og $T(H+dH)$ er målt salinitet og temperatur i dypet $H+dH$.

Verdiene for S_M , T_M og ρ_M for det nye gjennomblanda laget vil bli:

$$X_M = \frac{1}{H+dH} \{ (x_M + dx_M) \cdot H + X(H+dH) \cdot dH \},$$

der X angir vilkårlig parameter, og dx_M er den forholdsvis endringa i blandingslaget som leder til konveksjon fra overflata og til dypet $H+dH$. Når der er is, vil simulert avkjøling av overflatelaget ikke resultere i noen ismelting p.g.a. eventuell oppblanding av varmere vann.

Vi har først simulert isdanning basert på en hypotetisk hydrografisk profil for nåværende situasjon i Fidjekilen. Modellen drives i dette tilfellet av en varmekraft (avkjøling) tilsvarende 300 W/m^2 . Dette er et moderat anslag for en vinter-situasjon med klarvær i Sør-Norge, og fluksen tilsvarer et varmetap på et døgn lik $2,5 \cdot 10^7 \text{ J/m}^2$. Til sammenlikning kan varmekraften fra sjøen nær iskanten i Barentshavet lett overstige 1.000 W/m^2 . Modellen sjekker hvor dypt konveksjonen kan drives som følge av et slikt varmetap over 1 døgn, og beregner hvor mye is som evt. må dannes for å oppnå dette.

For å simulere effekten av økt ferskvannstilrenning for islegginga, har vi tatt utgangspunkt i den forrige profilen og redusert målt salinitet med 50% i intervallet 0-3 m dyp. Dette kan illustrere effekten av økt ferskvannsblanding, med et dypere og mindre salt brakkvannslag. Temperaturfordelinga er som i den opprinnelige profilen. Resultat med samme pådriv som før syner at det blir dannet 6,2 cm is etter et døgn, m.a.o. en økning på 1,9 cm (44%) i forhold til forrige profil som ga 4.6 cm is (Tabell 5).

Uten å trekke for bastante slutninger særlig p.g.a. manglende faktiske målinger synes det være en positiv relasjon mellom økning i ferskvannstilførsler og istykkelse.

Svar på spørsmål 2 synes derfor å bli at økt tilførsel av ferskvann (vinterstid) kan gi noe mer is innerst i Fidjekilen.

Tabell 5. Resultat for ismodellen basert på en antatt/hypotetisk hydrografisk vinterprofil i Fidjekilen.

Fidjekilen vinter INITIALVERDIAR FOR DET ØVERSTE LAGET FØR AVKJØLING:
 S: 19.999 (E-3), T: 4.965 (Deg-C) FRYSEPUNKT: -1.08 (Deg-C), SIGMA: 15.809

VERDIAR FOR ØVRE LAG SOM ETTER AVKJØLING/ISFRYSING GIR GJENNOMBLANDING TIL NESTE LAG:

DKONV (m)	T-MID (Deg-C)	S-MID (E-3)	DELTA-S (E-3)	QH (J/m ²)	QF (J/m ²)	DELTAICE (m)	HICETOT (m)	QTOT (J/m ²)
0.	-1.083	23.099	3.100	.64E+07	.11E+08	.043	.043	.18E+08
1.	-1.263	24.374	1.100	.13E+08	.19E+08	.028	.071	.32E+08
1.	-1.335	24.870	.300	.28E+08	.23E+08	.015	.086	.50E+08
2.	-1.358	25.150	.150	.42E+08	.25E+08	.011	.097	.67E+08
2.	-1.372	25.554	.300	.56E+08	.33E+08	.029	.127	.89E+08
3.	-.009	25.636	.000	.56E+08	.33E+08	.000	.127	.89E+08
3.	-1.398	25.806	.100	.85E+08	.37E+08	.014	.141	.12E+09
4.	-1.407	26.270	.400	.10E+09	.54E+08	.066	.207	.15E+09
4.	-1.432	27.224	.900	.12E+09	.96E+08	.162	.369	.21E+09
5.	-1.485	28.028	.750	.13E+09	.13E+09	.147	.515	.27E+09
5.	-1.530	28.829	.750	.15E+09	.18E+09	.157	.673	.32E+09
6.	-1.575	29.728	.850	.16E+09	.22E+09	.189	.862	.39E+09
6.	-1.625	30.176	.400	.18E+09	.25E+09	.095	.957	.43E+09
7.	-1.650	30.573	.350	.20E+09	.27E+09	.089	1.046	.47E+09
7.	-1.673	30.916	.300	.21E+09	.29E+09	.081	1.127	.51E+09
8.	-1.692	31.108	.150	.23E+09	.31E+09	.043	1.170	.53E+09
8.	-1.210	31.149	.000	.23E+09	.31E+09	.000	1.170	.53E+09
9.	-.782	31.188	.000	.23E+09	.31E+09	.000	1.170	.53E+09
9.	-.402	31.224	.000	.23E+09	.31E+09	.000	1.170	.53E+09
10.	-.061	31.259	.000	.23E+09	.31E+09	.000	1.170	.53E+09
10.	.245	31.290	.000	.23E+09	.31E+09	.000	1.170	.53E+09

ISTJUKKLEIK = .046m VED NÅDD QTEST= .250E+08 J/m²

6.1.2 Hydrografi og vannutskifting

De viktigste faktorene som bestemmer vannutskiftinga i Fidjekilen, er vind, tidevann og ferskvannstilrenninga. Sjiktningsforholda lokalt vil være avgjørende for effektiviteten av denne transporten. Hydrografiske forhold bestemmer også følsomheten til enhver tid for avkjøling og islegging. Fidjekilen vil i så måte være påvirket av endringer i hydrografien i områda utenfor.

God utskifting av overflatevann er viktig for å få transportert suspendert organisk materiale (materiale med liten synkehast.) ut av kilen. Jevn ferskvannstilrenning vil opprettholde en utoverretta brakkvasstrøm. Brakkvannet blir danna ved blanding mellom utstrømmende ferskvann og underliggende fjordvann. Graden av blanding vil avhenge m.a. av ferskvannsfluksen, lengda på fjorden/kilen og tetthetskontrast mellom overflatelaget og fjordvannet under. På grunn av denne blandinga vil overflate (brakkvanns-)strømmen tilta i styrke og mektighet langsetter fjorden/kilen.

I et vilkårlig punkt i fjorden vil denne strømmen, Q , under gitte forutsetninger være lik

$$Q_F \times S_2 / (S_2 - S_1)$$

der Q_F er ferskvannstilrenninga (i m³/s), S_1 og S_2 er salinitet i h.h.v. øvre lag og dypvannet (Pickard, 1975). Brakkvannsfluksen Q blir gradvis sterkere utover mot munningen, ettersom $(S_2 - S_1)$ avtar.

Dersom vi antar en midlere ferskvannstilrenning til Fidjekilbukta i dag på 20 l/s (Tabell 1), en overflatesalinitet på 15 og salinitet i dypvannet på 30 PSU, så blir den utoverretta strømmen 40 l/s. Dette blir da et grovt estimat for den ferskvannsdrevne overflatestrømmen i dag.

Ved overføring av 20% av tilrenninga til Sukkevann (102 l/s i middel), vil framtidig strøm kunne bli det doble av dagens verdi. Og ved større flommer noe større enn dette.

Tidevann vil også influere på strømmen i overflatelaget, med periodevis transport ut og inn over terskelen. Dersom den ferskvannsdrevne transporten utover er sterk nok vil tidevannet bare modulere denne strømmen (strøm alltid utover).

For et basseng med tidevannsforskjell dH , og overflateareal A , vil et volum lik $A \times dH$ strømme inn og ut i løpet av en tidevannssyklus, som i Norge er tilnærma halvdaglig (12,5 timers periode). Om en antar at tidevannet følger en sinuskurve, vil midlere inngående eller utgående tidevannsstrøm i utløpet være lik

$$Q_E = 2 A dH / T A_1,$$

der T er tidevannsperioden (12,5 timer) og A_1 er gjennomstrømmingsarealet i utløpet.

Ved å sette inn størrelsesestimer for Fidjekilbukta (

Tabell 1) i formelen, får vi en tidevannsdrevet fluks på 27 l/s ved munningen der. Dette er av samme størrelsesorden som den ferskvannsdrevne fluksen i dag, og forventes å forbli uendra ved eventuell økt ferskvannstilførsel.

Den effektive tidevannsutskiftinga (pr. tidevannssyklus) vil i realiteten være bare en brøkdel av tidevannsvolumet $A dH$, siden en del av utstrømmende vann ved fallende sjø vil bli dradd innover når det flør.

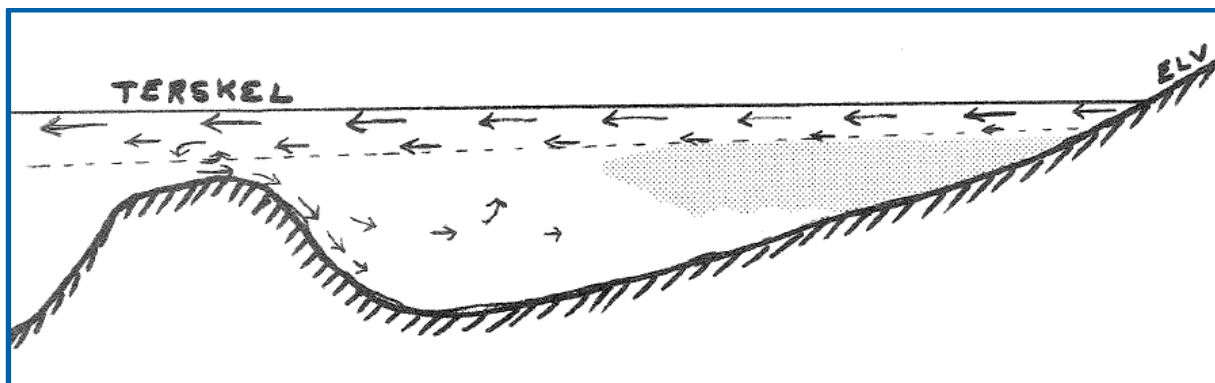
Maksimal tidevannsstrøm V_{max} (gjennom utløpet) vil være bestemt av uttrykket (forutsatt sinus-form på tidevannskurven):

$$A dH = \int_0^{T/2} A_1(t) v(t) dt = 2A_1 \int_0^{T/4} V_{max} \sin \left[\frac{2\pi(t-t_0)}{T} \right] dt$$

som gir $V_{max} = \pi A dH / A_1 T$.

Vi har her forutsatt at dH er tilstrekkelig liten i forhold til dypet i utløpet, slik at A_1 kan regnes som konstant.

For Fidjekilbukta blir beregnet maksimal tidevannsstrøm om lag 4 cm/s. Denne vil neppe endres som følge av økt ferskvannstilrenning.



Figur 13. Skisse av vannsirkulasjon i en poll med grunn terskel. Den stipla linja indikerer dypet for sprangsjiktet. Skravert område indikerer svak vannutskifting.

Djupvannsutskifting er særlig knytta til fjorder og lukka sjøområder med terskel. De foran-nevnte utskiftingsmekanismene vil i hovedsak influere på den del av vannsøylen som ligger over (grunnere enn) terskeldypet. Figur 13 illustrerer strømningsmønsteret i en poll med grunn terskel. For Fidjekilen/Fidjekilbukta kan det tenkes et liknende mønster, men dette er ikke kartlagt.

Djupvannsutskiftinga er oftest en langsom prosess, der vertikal diffusjon er viktig. Stagnerende bunnvann kan medføre dårlige oksygenforhold og endatil total oksygensvikt, med utvikling av giftig H₂S i bunnvannet.

Innimellom vil tungt vann utenfra skylle over terskelen. Dersom dette vannet er tungt nok vil det fortrenge (deler av) det gamle bunnvannet, som da blir løfta opp og siden transportert ut med overflatestrømmen.

Ålegrasforekomstene i Fidjekilen kan i kortere perioder bli eksponert for dette dårlige vannet. Dette skjer kanskje i dag. Økt ferskvannstilrenning til Kilen vil kunne virke negativt i form av økt sjikting og redusert lufting av dypvannet, evt også mer tilførsel av organisk materiale med ellevannet. Men mulig at dette blir en marginal effekt.

7 Diskusjon

7.1 Virkninger på ålegraset

Ålegrasengene er viktige oppvekstbiotoper for mange organismer og er derfor ansett som verneverdige. Vi har vurdert noen mulige endringer i vekstvilkår grunnet økt ferskvannstilrenning fra Sukkevann på forekomstene i Fidjekilen (Fidjekilbukta). Både vannutskifting og islegging trekker noe ned, d.v.s. kan påvirke negativt. Men så langt har vi ikke påvist noen effekter som kan true biotopene ved en framtidig tilstand med jevn (konstant fluks) overføring av ferskvann.

Det er mest aktuelt å lede bare deler av flomvannet i Sukkevann til Fidjekilen, d.v.s. at «flomtoppene» ledes dit. Slik overføring blir episodepreget med kortvarige store tilførsler. Noen beregnede flomverdier for Sukkevann er presentert i avsnitt 2.1.1. Årlige flomverdier er av størrelsesorden 10-20 ganger middelvanntilføringa. Dagens utløp fra Sukkevann kan ta unna kanskje 3-4 ganger middelvanntilføringa. Ved en åpning mot Fidjekilen vil noe av det resterende vannet kunne ledes dit (noe kan holdes tilbake i Sukkevann, avhengig av nivåreguleringen. I et normalår kan det da være tale om overføring på ca 0,5 m³/s vann via bekken til Fidjekilen i flomtoppene. Dette er av samme størrelsesorden som Fidjekilen mottar under flomepisoder i dag. I framtida kan det m.a.o. bli en dobling av slike kortvarige tilførsler, over noen timer. Fidjekilens utløp bør ha kapasitet til å ta unna slike vannmengder, slik at det ikke vil oppstå noen særlig vannstandsøkning eller ekstraordinær strømsetting som følge av dette.

Det kan ikke utelukkes at slike kortvarige episoder, dersom de sammenfaller med ekstremer i vannstand og vind, kan true deler av biotopene (sterk strøm, erosjon). Dersom ålegraset er overgrodd av grønne trådalger (dette forekommer i strømsomme områder) så kan sterk strøm imidlertid bidra i positiv retning ved at algene rives av.

Kommunen bør i det videre arbeidet med regulering ta stilling til hvilket avrenningsmønster til Fidjekilbukta som er realistisk, og ønskelig, å få til. Fra et miljømessig synspunkt er det sannsynligvis bedre med et nytt, mer konstant påslipp enn bare ved aperiodiske flomtopper.

7.2 Andre mulige virkninger

Det er snakk om å overføre deler av dagens ferskvannstilrenning til Sukkevann, over til Fidjekilbukta. I rapporten er noen mulige effekter for vannsirkulasjon, islegging m.m. belyst. Dette har vært basert først på en antakelse om en konstant verdi for økningen i ferskvannstilrenninga til Fidjekilbukta, og dernest, overføring ved flomtopper.

For Sukkevann har flomtoppene stått i fokus: å få redusert vannstanden i Sukkevann i slike perioder. Overføringa til Fidjekilbukta kan dimensjoneres og reguleres i h.h.t. det kommunen ønsker. Overføringa kan bli konstant- eller aperiodisk viss en velger å kun overføre ved flomepisoder.

Redusert vannføring i vannløpet til Korsvika ved flom vil kunne stimulere til opp- eller utvandring for fisk og ål.

Fra et økologisk synspunkt er det antakelig gunstigst å endre vannføringa i både nåværende utløp og i elva til Fidjekilen til en tilstand som blir mest mulig konstant (permanent), og ikke blir prega av store episodevise variasjoner opp eller ned i vannføringa.

Reduserte tilførsler av ferskvann gjennom utløpet til Korsvika vil kunne påvirke strømningsforholdene og marin fauna og flora i nærheten av utløpet der. Viss en anslår en reduksjon i størrelsesorden 20-30% i forhold til dagens fluks ved flom, vil dette kunne medføre målbare men neppe urovekkende effekter.

Økologisk tilstand i vannforekomsten som Fidjekilen tilhører, er «Moderat», fordi nedre voksegrense for makroalger ligger relativt grunt (<https://vann-nett.no/portal/#/waterbody/0130010301-1-C>). Kjemisk tilstand i vannforekomsten er «Dårlig» grunnet konsentrasjoner av bl.a. bly, kvikksølv og kadmium. Vi ser ikke for oss at tiltaket med overføring av ferskvann fra Sukkevann til Fidjekilen vil endre denne klassifiseringa.

7.3 Muligheter for reversering ved uønskede effekter

Viss det likevel skulle vise seg at reguleringa av ferskvannet medfører merkbare negative konsekvenser, kan tappinga fra Sukkevannet i prinsippet stanses ved at åpningen til Fidjekilen lukkes. Dette vil imidlertid kunne bli et omfattende tiltak.

Det er også mulig å føre alt eller noe av vannet fra bekken i rør ned mot bunnen av Fidjekilen. Dermed vil det øvre laget bli saltere og også mindre utsatt for isdannelse. En oppnår med dette også stimulert vertikalsirkulasjon og oksygenering av dypvannet, dersom lavt oksygeninnhold der skulle bli et problem (tilstanden er ikke kartlagt i Fidjekilbukta).

Slik dukking av ferskvann har vært prøvd flere plasser, også Sørlandet, med bra resultat (Stene 1989, Johnsen 1997).

7.4 Behov for oppfølging og data

Som nevnt innledningsvis, ønsker miljøforvaltninga å bevare naturtypen ålegraseng på dagens status som en viktig biotop. Dersom tiltaket med overføring av ferskvann fra Sukkevann til Fidjekilen iverksettes, kan det derfor være fornuftig å følge med på utviklingen av ålegrasforekomstene der i de første åra. Eventuelle endringer må sammenliknes med observasjoner fra andre forekomster i god avstand fra sannsynlig influensområde for tiltaket.

Vurderingene i denne rapporten er basert på mange antakelser om størrelser og tilstand for Fidjekilen. Beskrivelsene av ålegrasforekomstene er over 10 år gamle og kan muligens være lite representative for dagens tilstand. Videre er det lite kunnskap om topografi og oseanografiske forhold i Fidjekilen. Dette medfører usikkerheter i vurderingene. Vi anbefaler derfor at det gjøres en kartlegging av dybdeforhold, sjiktning/hydrografi og sediment/vannkvalitet i Fidjekilen i god tid før tiltak iverksettes, og at foreliggende vurderinger oppdateres basert på faktiske målinger og observasjoner.

Med oppdaterte tall for forventet eller faktisk økning i ferskvannsfluks fra Sukkevann kan det gjøres modellberegninger for framtidig sirkulasjon og vannutskifting/vannkvalitet.

8 Referanser

- Aarrestad, P.A. m.fl. 2015: Naturtyper i klimatilpasningsarbeid. Effekter av klimaendringer og klimatilpasningsarbeid på naturmangfold og økosystemtjenester. NINA-rapport nr 1157.
<https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/292962/1157.pdf?sequence=3>
- Christie, H. m.fl. 2012(?): FAGGRUNNLAG FOR ÅLEGRAS (*Zostera marina*) I NORGE.
<http://www.miljødirektoratet.no/old/dirnat/multimedia/49704/Faggrunnlag-for-Alegras-Zostera-marina-i-Norge.pdf>
- Johnsen, T.M. 1997: Fjordforbedring. En gjennomgang av metoder og miljøkonsekvenser. Rapp. NIVA Nr 3754, 47s.
- Kanal Ødegård-Dvergsnes, Kristiansand. Strømningsmessige konsekvenser. Notat SINTEF, 6s. SINTEF 2012
- Kroglund, T. 2009: Kristiansandsfjorden – tilleggsundersøkelser av marine habitater med undervannskamera. Årsrapport for 2008. Notat-NIVA-Sør, Feb. 2009, 16s.
- Lie, A. 2011: Biologisk mangfold. Reguleringsplan Fidjekilen. Kristiansand kommune. 2011. Agder naturmuseum og botaniske hage IKS
<https://docplayer.me/12964676-Biologisk-mangfold-reguleringsplan-fidjekilen-kristiansand-kommune.html>
- NIVA 2018 (Kyrkjeide m. fl.): Tiltak for å ta vare på trua natur. Rapp. NINA Nr 1554, 78s.
- Olesen, B., D. Krause-Jensen, N. Marba, P.B. Christensen 1969: Eelgrass *Zostera marina* in subarctic Greenland: Dense meadows with slow biomass turnover in cold waters. Mar. Ecol. Prog. Ser. 2015, 518, 107-121.
- Oug, E. 2001: Miljøkonsekvenser ved anleggelse av småbåthavn i Vestre Fidjekilen, Kristiansand kommune. Notat, NIVA-sør, 18s.
- Pickard, G.L. 1975. Descriptive Physical Oceanography. 2nd ed. Pergamon press.
- Röhr. M.E. m.fl. 2018: Blue Carbon Storage Capacity of Temperate Eelgrass (*Zostera marina*) Meadows. Global Biogeochemical Cycles (2018). DOI: 10.1029/2018GB005941.
- Stene, R.O. 1989: Fjorder med oksygenproblemer. Skal vi gi dem kunstig åndedrett? Rapp. Fylkesmannen i Vest-Agder, Miljøvernavdelinga, Rapp. Nr 8/1989, 44s.
- Vannportalen 2018: Vedlegg til veileder 02:2018 Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjø og elv.
http://www.vannportalen.no/globalassets/nasjonalt/dokumenter/veiledere-direktoratsgruppa/vedlegg_veileder_2_2018_pr1.pdf
- Vannregion Agder 2015: Regionalt tiltaksprogram for vannregion Agder 2016 – 2021.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsniv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no