EKSTERN RAPPORT

Nr. 10/2020

Statusrapport om coanda-inntak

Erfaringer fra utforming og drift -2019

Multiconsult

NVE Ekstern rapport nr. 10/2020

Statusrapport om coanda-inntak: erfaringer fra utforming og drift -2019

Utgitt av: NVE

Redaktør: Jenny Evjen og Randi Holme

Rapport utarbeidet av: Multiconsult

Forsidefotofoto: NVE

ISBN: 978-82-410-2021-6

ISSN: 2535-8235

Sammendrag:

For å øke kunnskapen om drift og erfaringer med coanda-inntak gjennomførte NVE en spørreundersøkelse om dette i 2019. Undersøkelsen ble sendt til samtlige konsesjonsgitte småkraftverk med coanda-inntak som er satt i drift. Multiconsult har sammenstilt svarene fra undersøkelsen. 30 kraftverk har deltatt, og gjennomsnittlig driftserfaring er litt over to år. De fleste kraftverkseiere er tilfredse med coanda-løsningen, til tross for utfordringer knyttet til blant annet isdannelse og algevekst. Rapporten sammenstiller også erfaringer fra drift av coanda-inntak i Skottland og Canada.

Emneord: Coandainntak, driftserfaring, spørreundersøkelse, miljøtilpassing, ising, algevekst

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29

Postboks 5091 Majorstuen

0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95

E-post: nve@nve.no

Internett: www.nve.no

Forord

Mange småkraftverk bygges i dag med såkalte Coanda-inntak. Begrunnelsen for å velge denne typen inntak er at de er antatt å være vedlikeholdsfrie og at de hensyntar fisk på en god måte. I noen tilfeller har NVE satt vilkår om Coanda-lignende inntak, men i de fleste tilfeller har konsesjonæren valgt dette selv.

For å øke kunnskapen om drift og erfaringer med Coanda-inntak gjennomførte NVE en spørreundersøkelse om dette i 2019. Spørreundersøkelsen ble sendt til samtlige konsesjonsgitte småkraftverk med Coanda-inntak. I denne rapporten har Multiconsult analysert og sammenstilt svarene fra undersøkelsen. 30 kraftverk har deltatt i undersøkelsen og gjennomsnittlig driftserfaring er litt over to år. De fleste aktørene er tilfredse med Coanda-løsningen, til tross for utfordringer knyttet til blant annet isdannelse og algevekst.

Funnene fra undersøkelsen gir oss viktig informasjon om hvordan Coanda-inntak fungerer i dag. Dette er nyttig for aktører som vurderer denne typen inntak fremover. Dette er også viktig kunnskap for NVE når vi skal sette vilkår i konsesjoner for å sikre at viktige miljøverdier blir ivaretatt i vassdrag.

Rapporten er skrevet av Multiconsult som står ansvarlig for konklusjoner og anbefalinger.

NVE takker både Multiconsult og kraftverkseierne for godt samarbeid.

Oslo, mai 2020

Ingunn Åsgard Bendiksen

Mari Hegg Gundersen

RAPPORT

Statusrapport om Coanda-inntak: Erfaringer fra utforming og drift – 2019

OPPDRAGSGIVER
NVE

EMNE
Coanda-inntak

DATO / REVISJON: 27. mars 2020 / 01
DOKUMENTKODE: 10215538-01-RiMask-RAP-001

Multiconsult

Denne rapporten er utarbeidet av Multiconsult i egen regi eller på oppdrag fra kunde. Kundens rettigheter til rapporten er regulert i oppdragsavtalen. Hvis kunden i samsvar med oppdragsavtalen gir tredjepart tilgang til rapporten, har ikke tredjepart andre eller større rettigheter enn det han kan utlede fra kunden. Multiconsult har intet ansvar dersom rapporten eller deler av denne brukes til andre formål, på annen måte eller av andre enn det Multiconsult skriftlig har avtalt eller samtykket til. Deler av rapportens innhold er i tillegg beskyttet av opphavsrett. Kopiering, distribusjon, endring, bearbeidelse eller annen bruk av rapporten kan ikke skje uten avtale med Multiconsult eller eventuell annen opphavsrettshaver.

Multiconsult

RAPPORT

OPPDRAG	Statusrapport om Coanda-inntak: Erfaringer fra utforming og drift - 2019	DOKUMENTKODE:	10215538-01-RiMask-RAP-01
EMNE	Coanda-inntak	GRADERING:	Konfidensiell
OPPDRAGSGIVER	NVE	OPPDRAGSLEDER	Rasmus Liebig-Andersen
KONTAKTPERSON	Jenny Evjen	UTARBEIDET AV	Audun Kiil, Rasmus Liebig-Andersen, Alessandro Davitti
		ANSVARLIG ENHET	10105050

01	27.03.2020	Ferdig rapport	AK, RLA, AD	AK	RLA
00	07.02.2020	Rapportutkast til kommentering	AK, RLA, AD	AK, HN	RLA
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

SAMMENDRAG

Motivert av et stadig økende antall Coanda-inntak i Norge samt varierende tilbakemeldinger og erfaringer fra disse, har NVE i 2019 foretatt en brukerundersøkelse av samtlige konsesjonsgitte småkraftverk i størrelsen (1 – 10MW) med Coanda-inntak. Dette omfatter i alt 30 inntak med relativt få år i drift. NVE har engasjert Multiconsult for å presentere funnene samt analysere disse ut fra Multiconsults fagkompetanse på området. I tillegg har man ønsket å supplere med erfaringer fra Coanda-inntak i andre land.

Resultatene av undersøkelsen viser at en anselig andel av Coanda-inntakene har flere spesifikke utfordringer. Særlige utfordringer knytter seg til isdannelse og alger på Coanda-risten. Kvist og løv er derimot uproblematisk ifølge respondentene i undersøkelsen. Et par anlegg har utfordring med luftinnsug og et siste anlegg med sedimenter.

Halvparten av inntakene som har erfaring med vinterdrift har utfordring med is med en eller flere driftsstanser til følge per år. For omtrent halvparten av gruppen med utfordringer vinterstid, er omfanget av en slik art at man har satt inn tiltak. Isproblematikken øker med kaldere lokalklima, her avgjort av høyde over havet samt større avstand til kysten.

12 av 30 inntak har erfart algevekst – men dette er ikke av et slikt omfang at det har ledet til driftsstans – kun temporær produksjonsbegrensning. Det er ikke grunnlag for å konkludere at næringstilførsel fra landbruk eller bygninger i nedbørsfeltet medfører økt algevekst.

På tross av utfordringene nevnt over, er eierne i høy grad tilfredse og ville ikke ha endret inntaksløsning om de var forespeilet en ny utbyggingsmulighet. To respondenter er imidlertid misfornøyde. Disse har omfattende algevekst om sommeren og isutfordringer om vinteren.

Ut fra Coanda-inntakets konstruksjon og prinsipp kan vanntap (produksjonstap) være større enn antatt, enten som følge av delvis tilstopping, luftutfordringer eller hydrodynamiske utfordringer. Det er tilsynelatende liten eller ingen instrumentering for registrering av inngående vannmengde versus slukeevne – eller eventuelt instrumentering av uønsket overskuddsvann ved coanda-inntakene.

I Skottland er erfaringene med Coanda-inntak basert på lengre drift enn i Norge. Konklusjonene fra en operatør av 31 anlegg med Coanda-inntak i Skottland er at Coanda-inntak ikke er selvrensende eller vedlikeholdsfri, og at antallet av Coanda-inntak ville reduseres dersom valget skulle gjøres om.

Undersøkelsen viser at coanda-inntak ikke er vedlikeholdsfrie, og at det forekommer driftsutfordringer og stans også ved denne type inntak. Sannsynlige typiske utfordringer for ulike typer inntak bør forsøkes kartlagt i planleggingsfasen. Coanda-inntaket kan legge godt til rette for fiskevandring nedstrøms, der dette måtte være aktuelt. Det vil da naturlig kreve supplerende løsninger for oppvandring og sammenhengende vannspeil.

INNHOLDSFORTEGNELSE

1 Forord ... 6

2 Innledning ... 7

3 Undersøkelse av erfaringer med Coanda-inntak i Norge ... 11

3.1 Deltakerne i undersøkelsen ... 11

3.2 Kartlegging av nedbørsfelt og arealtyper ... 12

3.3 Erfaringsperiode ... 15

3.4 Anleggsspesifikke nøkkelparametere ... 15

3.5 Grunnlag for valg av Coanda-inntak ... 17

3.6 Inntaksspesifikke data fra utvalgets Coanda-anlegg ... 18

4 Driftserfaringer med Coanda-inntak og analyse av årsakssammenhenger ... 27

4.1 Algevekst ... 28

4.2 Sedimenteringsproblematikk ... 32

4.3 Is og sarr ... 32

4.4 Eiernes totalinntrykk av Coanda-inntak etter erfaringer ... 39

5 Coanda-inntak i Norge og relaterte kostnader ... 41

5.1 Generelt ... 41

5.2 Investeringskostnad Coanda-inntak ... 41

6 Driftserfaringer ved Coanda-inntak i Storbritannia ... 43

7 Diskusjon og øvrige observasjoner ... 46

7.1 Coanda-inntak og utvikling? ... 46

7.2 Motivasjon for bruk av Coanda-inntak ... 46

7.3 Sammenlikning med konvensjonelle inntak for småkraft ... 48

7.4 Anbefalte temaer til videre undersøkelser av erfaringer og virkning av Coanda-inntak ... 48

8 Konklusjon ... 50

9 Referanser ... 52

Appendix 1 Oversiktskart over anleggenes geografi ... 54

1 Forord

Coanda-inntak er et relativt nytt konsept for norske vannkraftverk – første anlegg ble ferdigstilt i 2011. Bakgrunnen for denne rapporten er et initiativ fra NVE til å kartlegge og sammenstille nåværende erfaringer fra norske småkraftverk med Coanda-inntak.

Grunnlaget for analyser og vurderinger av nåværende erfaringer er informasjoner og data fra anleggene samlet inn av NVE gjennom en strukturert spørreundersøkelse i mai 2019 målrettet tilsynspersonell ved anleggene. Arbeidet med sammenstilling av resultater fra undersøkelsen samt analyser av årsaker og sammenhenger er utført av Multiconsult. Svarende fra undersøkelsen utgjør det primære datagrunnlaget. I tillegg har Multiconsult supplert med innsamling og analyse av relevant sekundær data om bl.a. geografiske forhold, internasjonale erfaringer samt enkelte observasjoner fra egne fageksperter.

Informasjon fra de norske anleggene med Coanda-inntak omfatter følgende:

- Geografisk beliggenhet
- Designmessige parametere som angår størrelser og løsninger inklusiv minstevannføring
- Turbinspesifikke data som turbintype, slukeevne og installert effekt
- Erfaringsspesifikke data som i hovedsak angår isdannelse, sedimentering, alger og vanntap for sommer- og vinterdrift
- Investeringskostnader

Samtlige inntak i undersøkelsen er nyetableringer. Det er altså ikke funnet tilfeller av ettermontert Coanda-rist i forbindelse med rehabilitering av eksisterende inntak, som bl.a. har vært vanlig i Storbritannia.

Hensikten med rapporten er å belyse de faktiske erfaringer med Coanda-inntak for å kunne gi beslutningstakere et bedre grunnlag for å vurdere mulige fordeler og ulemper med Coanda-inntak for fremtidige kraftverk.

Som grunnlag for denne rapport er det utelukkende vurdert kraftverk med Coanda-inntak. Det er ikke gjort sammenlignende undersøkelser eller studier for tradisjonelle inntak i småkraftstørrelsen.

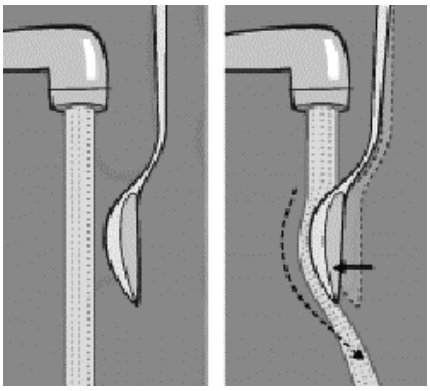
Rapporten er i sin helhet finansiert av NVE. Det er også NVE som har utarbeidet og foretatt brukerundersøkelsen ment som grunnlag for denne rapport og videre arbeid.

For Multiconsult er det M.Sc. Audun Kiil (fagansvarlig fagområde III) og M.Sc. Rasmus Liebig-Andersen (rådgiver, vann og miljø) og som har utarbeidet og skrevet rapporten. Vår kollega M.Eng Alessandro Davitti fra vårt kontor i London har sørget for meget relevant informasjon fra Storbritannia. En takk rettes til våre kollegaer Ph.D. Hanne Nøvik (fagansvarlig fagområde V) og M.Sc. Auen Korbøl for kvalitetssikring av arbeidet.

2 Innledning

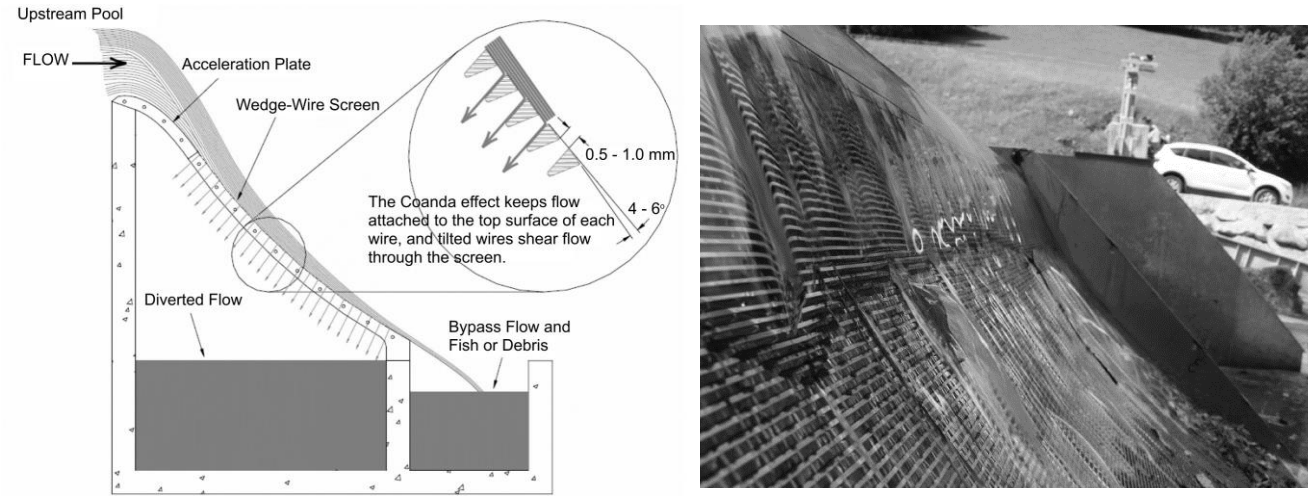
I vannkraftsammenheng er Coanda-inntak i hovedsak begrenset til anlegg i småkraftstørrelsen (mindre enn 10 MW). At Coanda-inntak ikke benyttes for større anlegg skyldes i stor grad et plasskrevende design som ikke rettferdiggjør større kapasiteter. Coanda-inntakene er best egnet for høytrykksanlegg, da den tekniske løsningen gjør at man mister en eller to verdifulle høydemetre i inntaksløsningen. I tillegg er det begrenset kapasiteter (vannføring per breddemeter). Ved lavtrykksanlegg har man det motsatte forhold: mye vann og lite trykk.

Coanda-inntak har fått navnet fordi inntaksrista er designet for å benytte seg av den såkalte Coanda-effekten. Coanda-effekten er enkelt forklart den egenskapen som strømmende væsker og gasser har til å bøye av og følge faste overflater, se den enkle illustrasjonen av effekten i Figur 2-1.



Figur 2-1 Coanda-effekten er egenskapen at strømmende væsker bøyer av og følger faste overflater [20].

Et Coanda-inntak er en spesiell type såkalt «overfallsinntak». Inntaksristene består av tynne, horisontale staver som ligger vinkelrett på strømretningen. Åpningen mellom stavene er typisk på 0.5-2 mm [17]. Stavene er vinklet slik i forhold til hverandre at det nederste filmlaget til vannet føres ned mellom stavene ved hjelp av Coanda-effekten, se figur 2-2. Fordi åpningen mellom spaltene er så liten, vil løv, kvist, større partikler og fisk bli skylt videre nedover rista.



Figur 2-2 a) Prinsippet med Coanda-effekt inntaksrist, b) Vannet føres gjennom den øverste dele av risten [6].

Inntaket er designet for å være selvrensende uten større behov for inspeksjon og vedlikehold [17]. Under selve inntaket er det en samlekanal som fører vannet videre til et reguleringskammer/samlekum før vannet går videre til tilløpsrør, se Figur 2-3 og Figur 2-4.

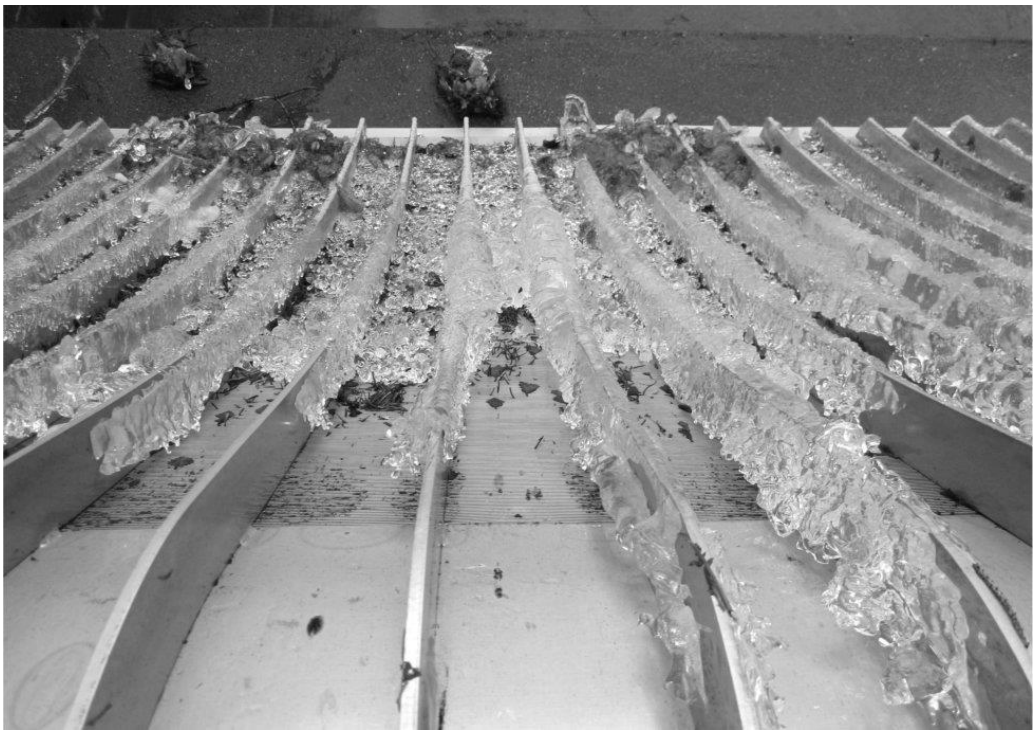
Figur 2-3 Utforming av et inntak. Under Coanda-ristene er det en samlekanal som fører til en samlekum før vannet går videre inn til tilløpsrøret. Bilde fra NVE [21]

Figur 2-4 Et klassisk arrangement for Coanda-inntak representert ved Sesskraft AS – inntak ved Hoemselva . Vannet går via rist, samlekanal, regulering- og ventilkammer før tilløpsrør mot turbin. Bilde fra NVE [21].

Coanda-ristene er kommersielt tilgjengelige og leveres i flere størrelser og med ulik avstand mellom stavene. Koten for terskelen nedstrøms rista er den maksimale fallhøyden som kraftverket kan produsere ut ifra. Høyden av risten, fra overløpsterskel til terskel nedstrøms rista, er vanligvis i området 0,4 -1,3 m, og utgjør et direkte falltap [7]. Produsentene av inntaksristene garanterer for en kapasitet gitt som l/s/m rist. Kapasiteten avhenger av høyden på rista og spalteåpning mellom stavene.

Spalteåpningene fås typisk mellom 0,6 - 3 mm. En rist med høyde på 0,4 m og spalteåpning på 1 mm kan ha en nominell kapasitet på 35 l/s/m, mens en rist med høyde 1,3 m og spalteåpning på 1 mm har en nominell kapasitet på 140 l/s/m. Kapasiteten til ristene kan økes opp mot 450 l/s/m med større åpning mellom stavene (Dahl, 2014). Fysiske begrensinger i terrenget ved inntaksområde, begrenser maksimal størrelse for Coanda-ristene. Ved anlegg i USA er det imidlertid installert Coanda-inntak med kapasitet på opptil 6 m^3/s [4].

Riststavene kan ha beskyttelsesstaver i strømningsretning for å hindre at større stein og drivgods ødelegger de fine riststavene. Beskyttelsesstavene kalles 'Boulder bars' på engelsk. Det er også vanlig at isdannelsen kan starte på disse langsgående stavene, se figur 2-5.

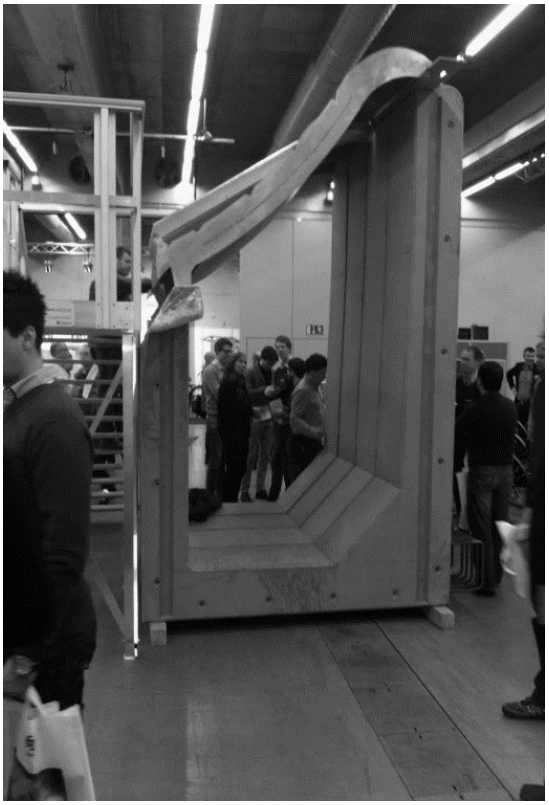


Figur 2-5 Langsgående beskyttelsesstaver (også kallet grovvaregrind eller boulder bars) med påbegynnende isdannelse. Sett ovenfra og ned over rista [6].

Det kan også installeres et grov-varegrind i overkant av rista, figur 2-6.

Figur 2-6 Grovvaregrind som beskyttelse over Coanda-ristene [6].

Brødrene Dahl leverer i dag Coanda-rister til det norske markedet, og markedsfører løsningen som Fossekallen-inntak (Dahl, 2014). Brødrene Dahl har også utviklet pre-fabrikkerte løsninger med både rist og betong element (se figur 2-7).



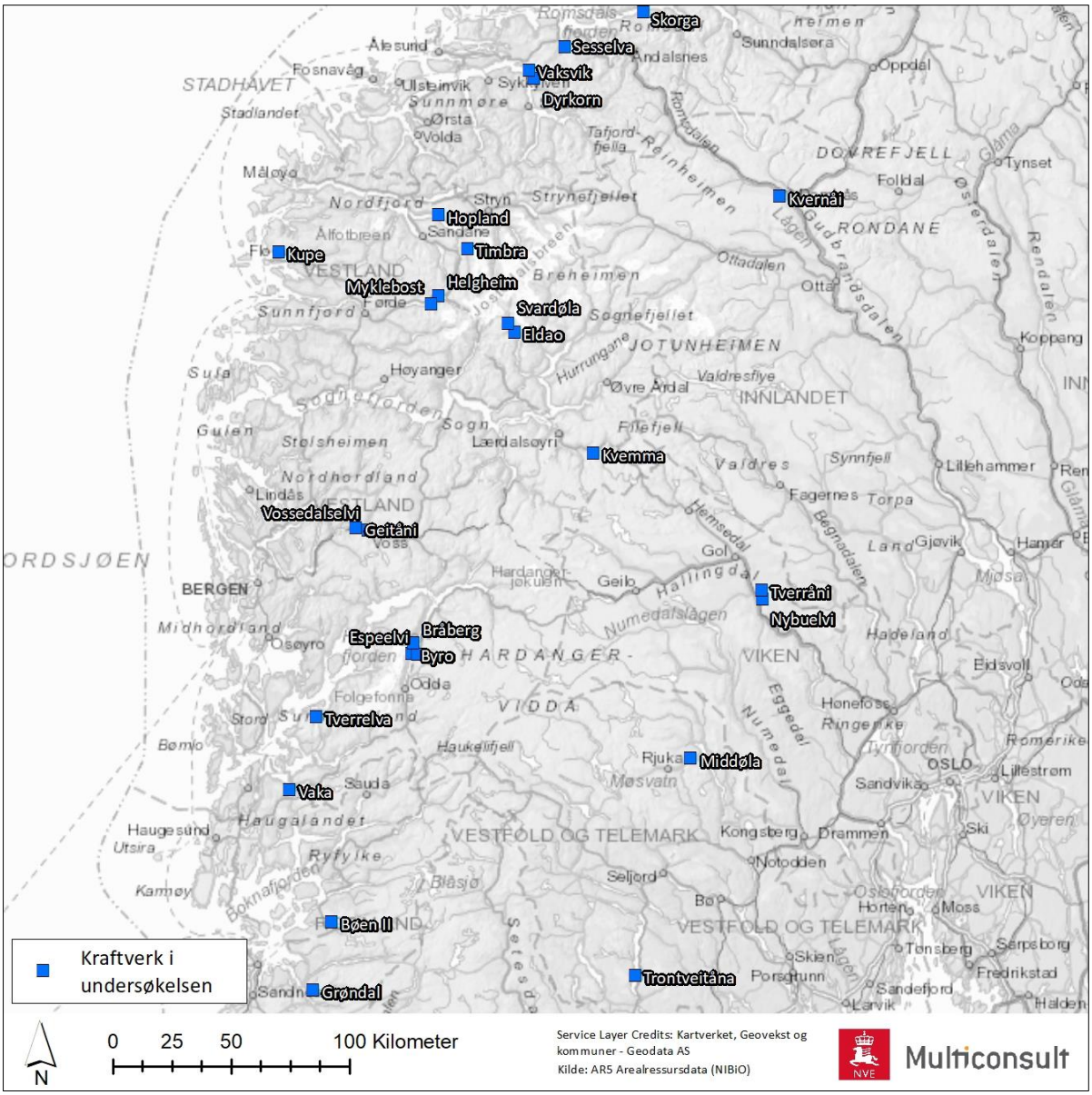
Figur 2-7 Prefabrikkert løsning med Coanda-inntak og betongelement for samlekanal. Foto: Brødrene Dahl, 2014

3 Undersøkelse av erfaringer med Coanda-inntak i Norge

3.1 Deltakerne i undersøkelsen

NVE har i mai 2019 gjennomført en strukturert spørreundersøkelse målrettet eksisterende kraftverk med Coanda-inntak. Respondentene i undersøkelsen er driftspersonell fra kraftverkene. Undersøkelsen omfatter til sammen 30 Coanda-inntak tilhørende 25 småkraftverk (Det finnes p.t. 35-45 småkraftverk, dvs. 1 – 10 MW, med Coanda-inntak i Norge). Disse 25 kraftverkene er fordelt på 21 eiere (selskaper) og alle tilhører konsesjonspliktige småkraftverk.

Geografisk distribusjon av kraftverkene som inngikk i undersøkelsen[1] er vist på figur 3-1. Dette kapitlet presenterer tilbakemeldingene fra spørreundersøkelsen i form av utvalgets fordeling innen ulike tekniske design, dimensjoner, løsninger og erfaringer.



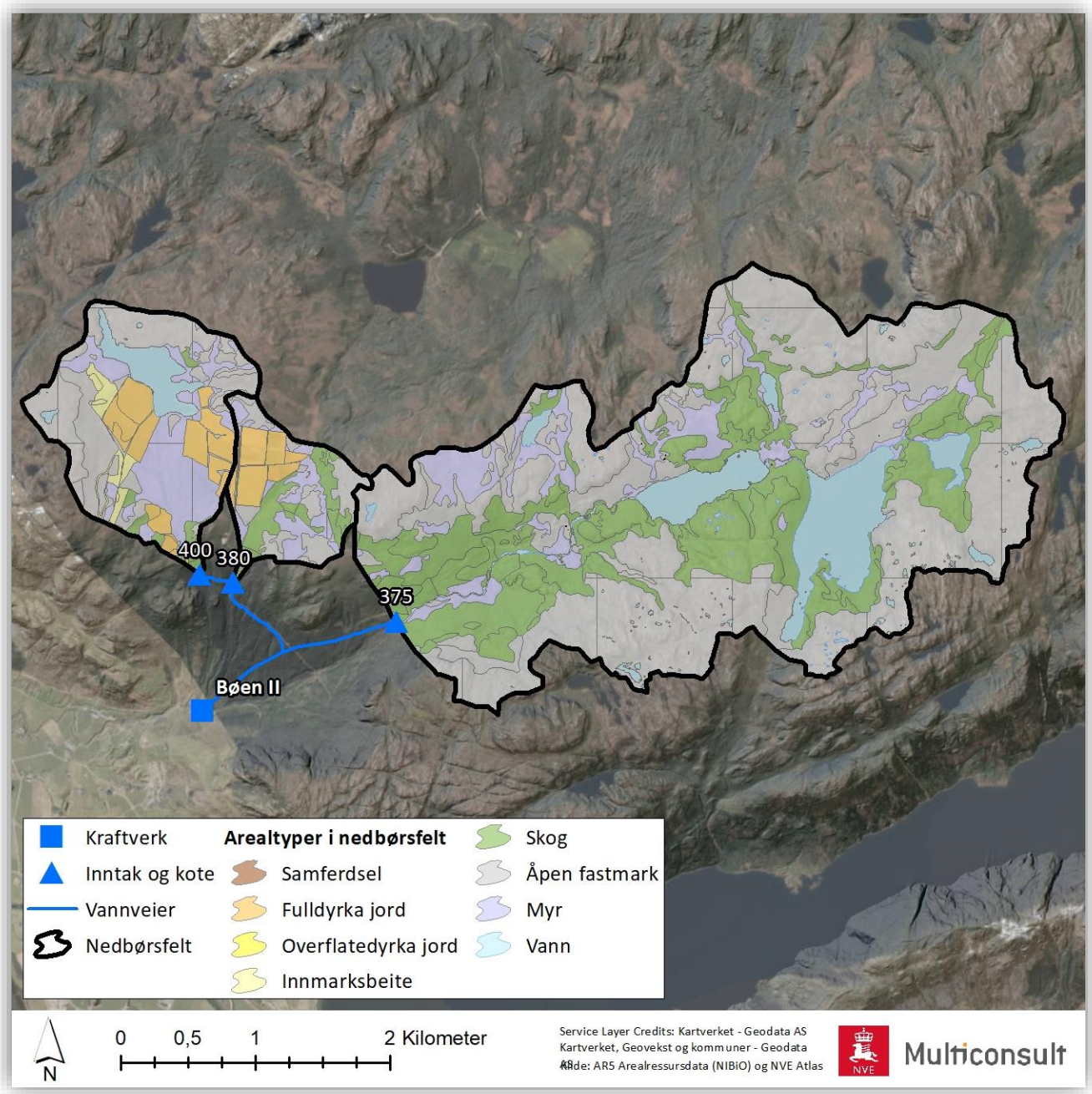
Figur 3-1 Oversiktskart med geografisk lokalisering av kraftverk med Coanda-inntak som deltok i undersøkelsen 2019.

[1] 3 av svarene ble mottatt etter ferdigstilling av rapporten og inngår ikke i analysen. Besvarelsene er da vurdert - de endrer ikke vesentlig på innhold eller konklusjon.

3.2 Kartlegging av nedbørsfelt og arealtyper

Det er forventet at inntakenes utfordringer er relatert til geografi og arealdekker i nedbørsfelt. Det er derfor, i tillegg til de primærdata som er generert igjennom besvarelsene i undersøkelsen, innhentet data og utført analyser av arealbruk og bygninger i nedbørsfeltene til alle kraftverker og inntak. Figur 3-2 viser et eksempel på geografisk data for Bøen II.

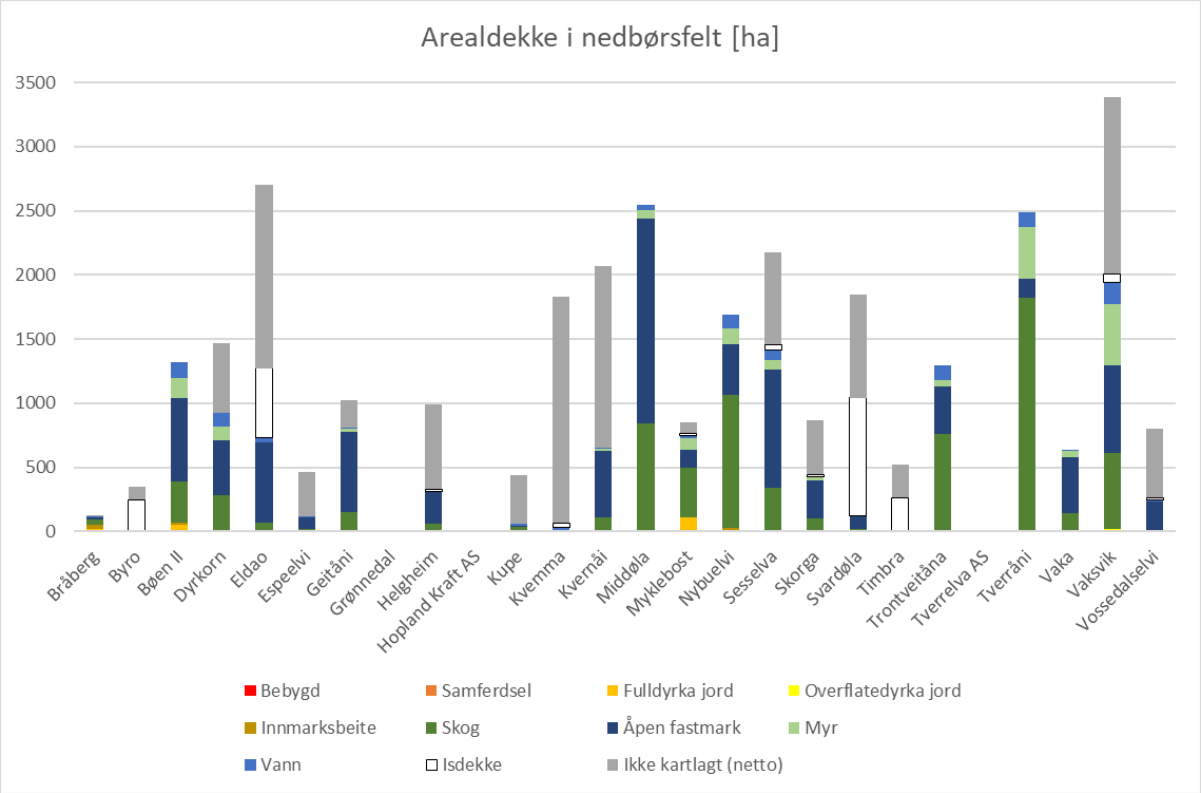
Appendiks 1 viser oversiktskart for hvert enkelt anlegg med nedbørsfelt.



Figur 3-2 Oversiktskart for Bøen II kraftverk med tilhørende inntak, vannveier og nedbørsfelt med arealressurser.

Nedbørsfeltenes arealdekker er kartlagt i ulik grad. Analysene er basert på arealressursdata AR5 fra NIBiO samt visuell estimering av isdekker fra luftfoto.

Figur 3-3 illustrerer størrelsen på utvalgets nedbørsfelter med fordeling på ulike typer arealdekke (ha).



Figur 3-3 Arealdekke i hektar [ha] i nedbørsfeltene til anleggene. Utregnet med grunnlag i arealressursdata AR5 fra NIBiO og visuelle anslag for isdekker fra luftfoto.

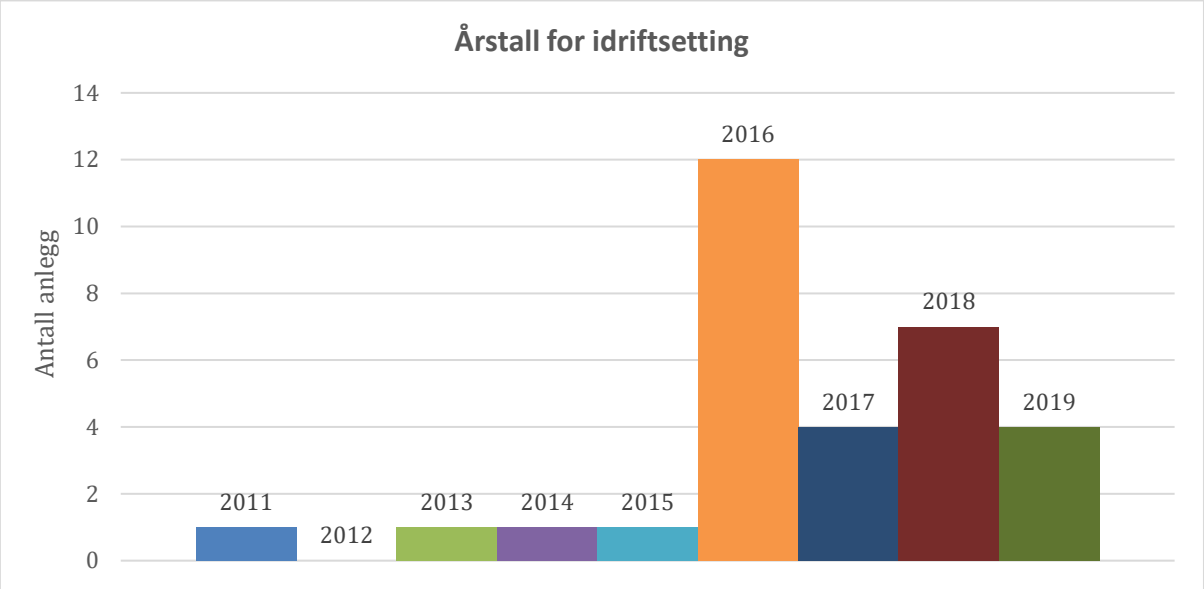
Det er for alle kraftverker også gjort geografiske analyser av antallet bygninger og typer. Tabell 3-1 viser antall bygninger innen utvalgte kategorier i hver av nedbørsfeltene.

Tabell 3-1: Bygninger i nedbørsfeltene til anleggene i undersøkelsen

	Næring	Bolig	Fritidsbolig	Annet
Byro	0	0	0	0
Bråberg	2	0	0	5
Dyrkorn	5	1	21	13
Eldao	0	0	0	0
Espeelvi	0	0	0	2
Geitåni	7	2	48	42
Grønnedal	0	0	0	0
Helgheim	1	0	8	16
Hopland	0	0	0	0
Kvemma	0	0	0	0
Kvernåi	0	0	0	14
Middøla	1	0	6	12
Nybuelvi	9	0	139	65
Sesselva	7	0	45	31
Skorga	0	0	0	0
Svardøla	0	0	0	0
Timbra	0	0	0	0
Trontveitåna	1	0	2	0
Tverrelva	0	0	0	0
Tverråni	6	0	80	31
Vaka	0	0	1	0
Vaksvik	8	2	88	81
Vossedalselvi	0	0	3	0

3.3 Erfaringsperiode

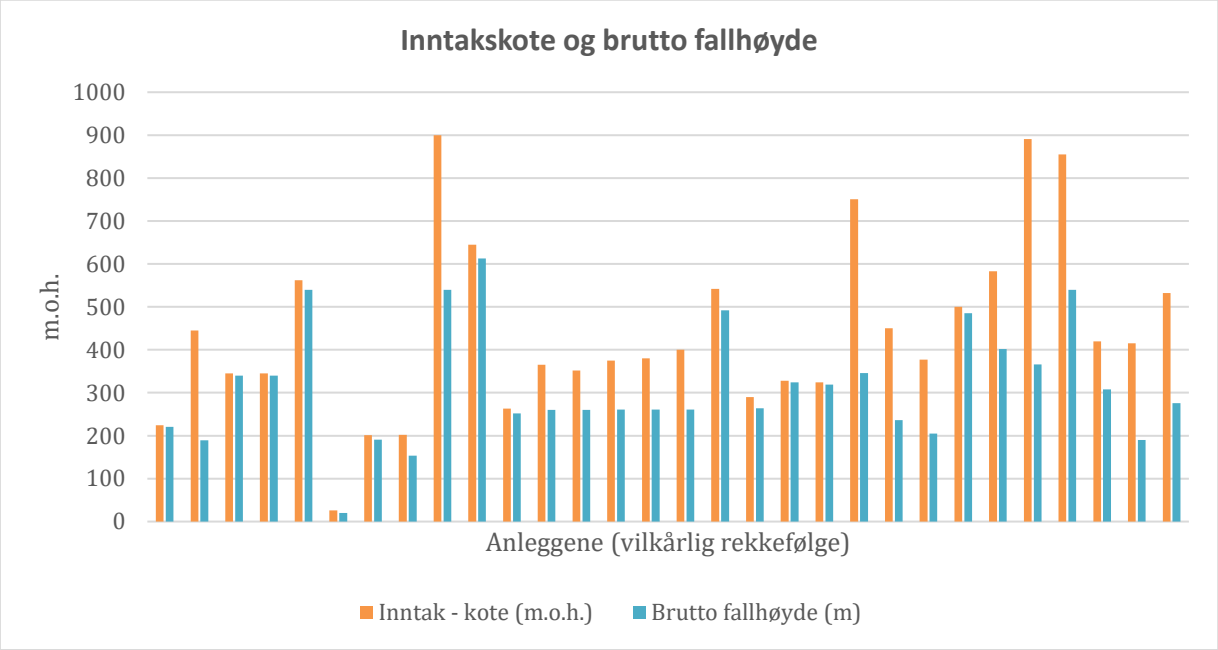
Alle anlegg med Coanda-inntak i Norge er relativt nylig bygget og satt i drift. Figur 3-4 viser tidspunkt for oppstart av kraftverkene i undersøkelsen. Erfaringene med Coanda-inntakene er derfor begrenset til få sesonger. Snittverdi for operasjonstiden til utvalget i undersøkelsen er 2,2 år.



Figur 3-4 Idriftsettelsesår for anleggene (avrundet «bakover» til helår)

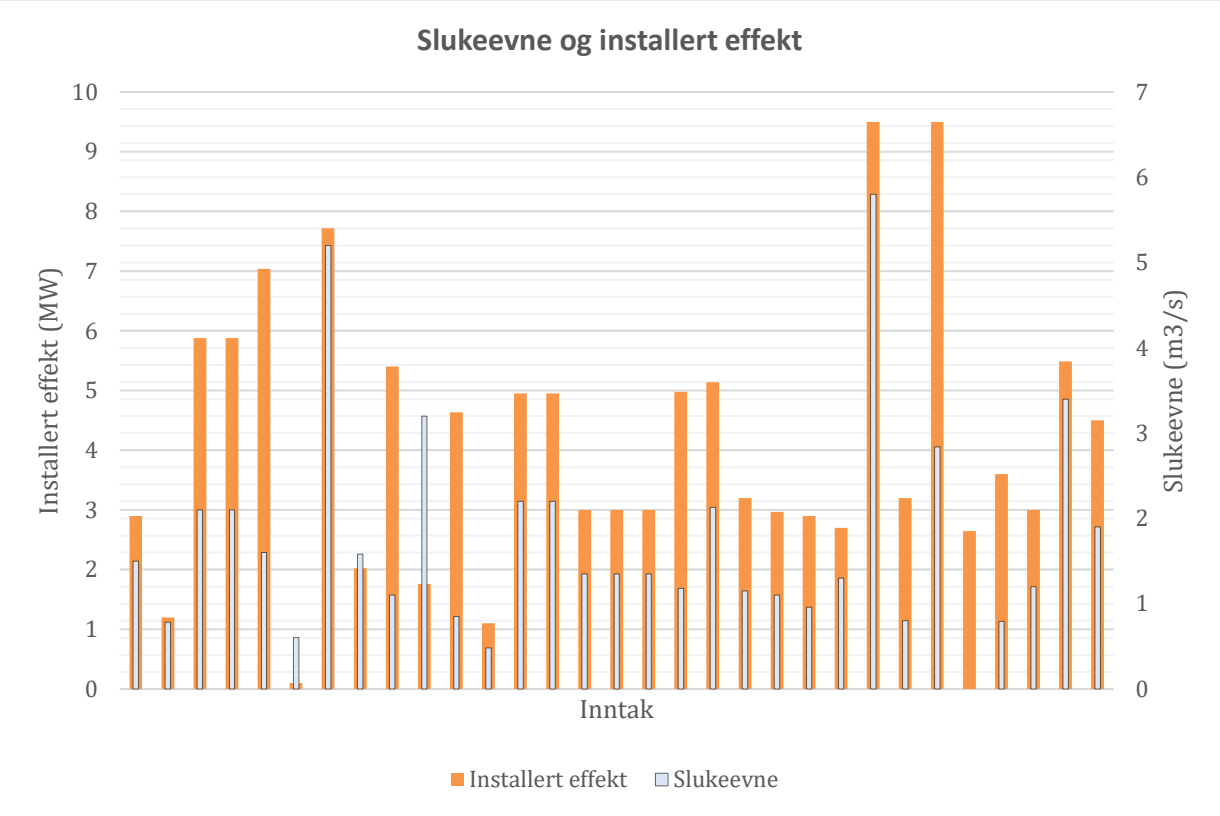
3.4 Anleggsspesifikke nøkkelparametere

Den geografiske distribusjonen til coanda-anleggene i undersøkelsen er spredt godt på Norges vestland samt på fjellet i innlandet, se figur 3-1. Figur 3-5 under viser inntakenes respektive høyde over havet samt brutto fallhøyde (disse to parametere er presentert parvis per anlegg).



Figur 3-5 Coanda-inntakenes fordeling i høyde over havet samt brutto fallhøyde. Gjennomsnittet er inntakskote på 444 m.o.h. og brutto fallhøyde på 307 m.

Installert effekt på turbinene til respondentene i undersøkelsen, er vist i figur 3-6 under – presentert per anlegg. De fleste anlegg er i størrelsen 3-6 MW, mens variasjoner finnes i hele spekteret 0-10 MW. Slukeevnen til aggregatene varierer fra i underkant av 1 m^3/s til opp mot 6 m^3/s.

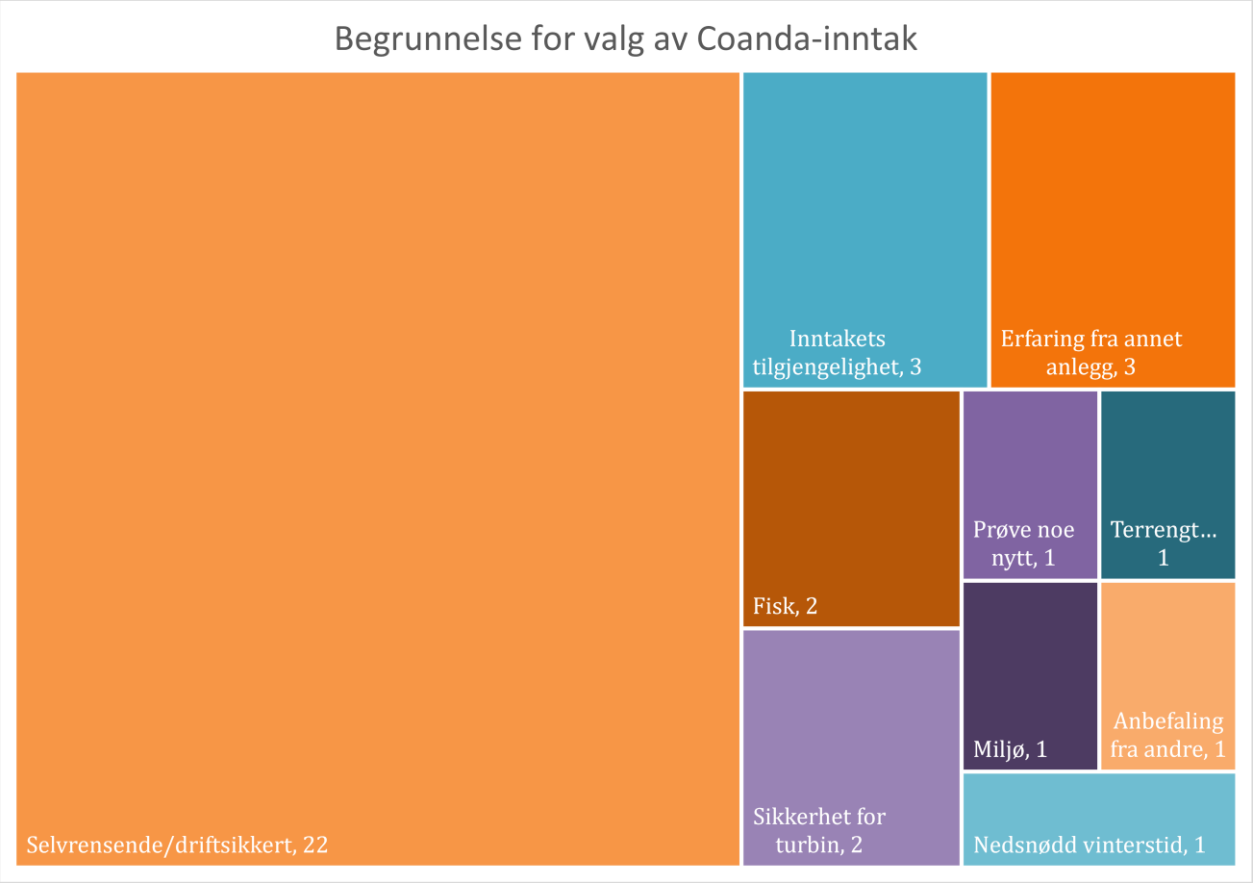


Figur 3-6 Slukeevne og installert effekt- representativt for inntakene.

3.5 Grunnlag for valg av Coanda-inntak

Respondentene i undersøkelsen ble spurt om å argumentere for valget av Coanda-inntak. Besvarelsene fordeles på følgende hovedmomenter i prioritert rekkefølger (også illustrert i Figur 3-7):

1. Drift og vedlikeholdssikkert/ Selvrensende funksjon
2. Erfaring fra annet anlegg
3. Inntakets tilgjengelighet (veiløst)
4. Sikkerhet for turbin (spalteåpning liten)
5. Fiskehensyn
6. Ønske om å prøve noe nytt
7. Terrengtilpasning
8. Anbefaling fra andre
9. Nedsnødd vinterstid
10. Miljøvennlighet

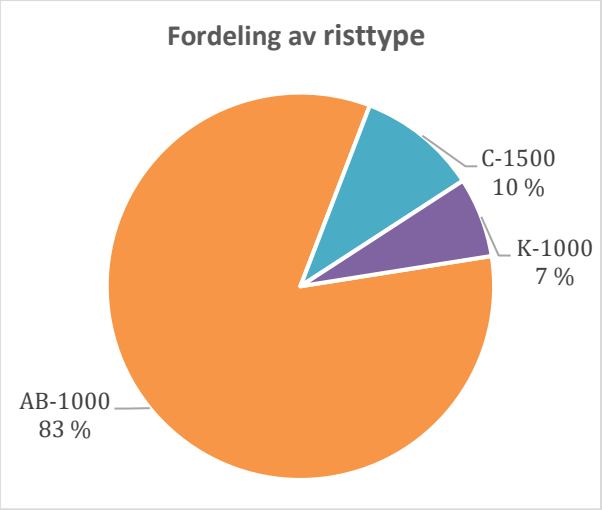


Figur 3-7 Trekartdiagrammet viser arealmessig fordelingen på de ulike begrunnelser for valg av inntak. Merk at et inntak kan ha flere begrunnelser (tillagt lik vekt).

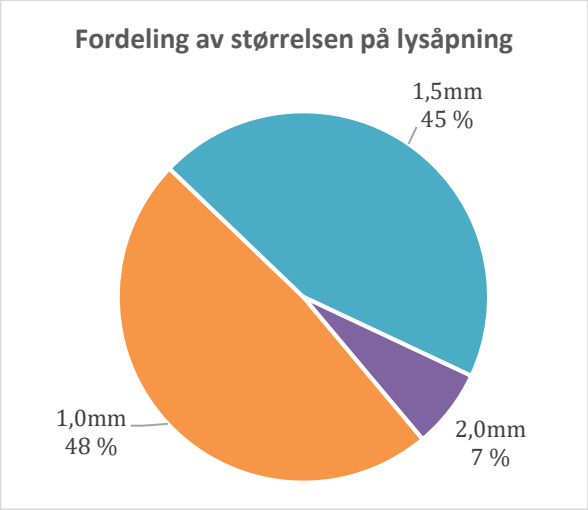
3.6 Inntaksspesifikke data fra utvalgets Coanda-anlegg

3.6.1 Rist

Samtlige av ristene i undersøkelsen er levert av samme leverandør. Utvalget av risttyper i undersøkelsen fordeler seg på 3 typer, der type AB-1000 er et foretrukket valg blant anleggseierne (se figur 3-8). Størrelsen på lysåpningen i for innslipp av vann igjennom Coanda-ristene (mellom lameller) er fast per rist og varierer mellom 1 mm, 1,5 mm og 2 mm. (se figur 3-9).



Figur 3-8 Fordeling av valgt ristløsning.

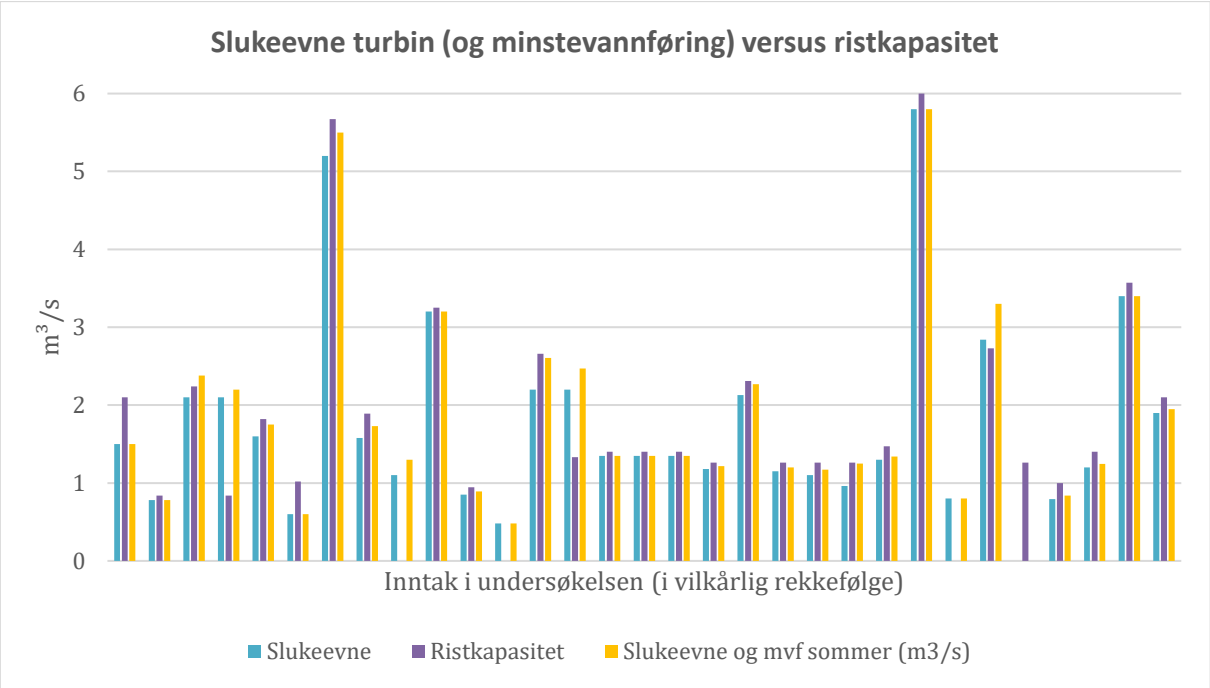


Figur 3-9 Fordeling av valgt lysåpning mellom lameller.

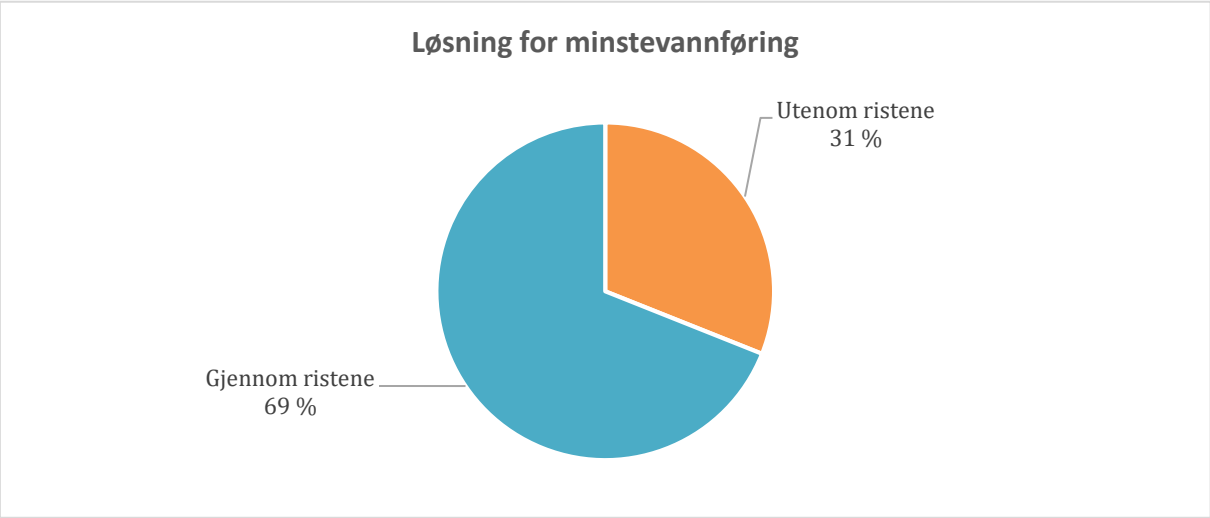
Figur 3-10 illustrerer sammenhengen mellom *garantert ristkapasitet (totalt for inntaket)* [2] *fra leverandøren* og *krevet vannmengde gjennom rist*.

Dimensjonerende for kapasitet på rister er i hovedsak slukeevnen til turbinen. I tillegg, for inntak med krav om minstevannføring om sommeren (som er større enn eventuell minstevannføring om vinter) og denne kjøres gjennom rist, må ristkapasiteten inkludere denne minstevannstørrelsen. For noen anlegg går minstevannføring utenom rist – se Figur 3-11.

[2] Ristkapasitet oppgis her som leverandørens garanterte kapasitet over rist.



Figur 3-10 For hver av inntakene 3 stolper: Blå stolper viser turbinens slukeevne. Lilla stolper viser total ristkapasitet (garantert fra leverandør). Oransje stolper viser turbinens slukeevne addert med minstevannføring sommer (for de inntakene som har minstevannføringskrav samt at minstevannføringen også tas «igjennom» ristene).

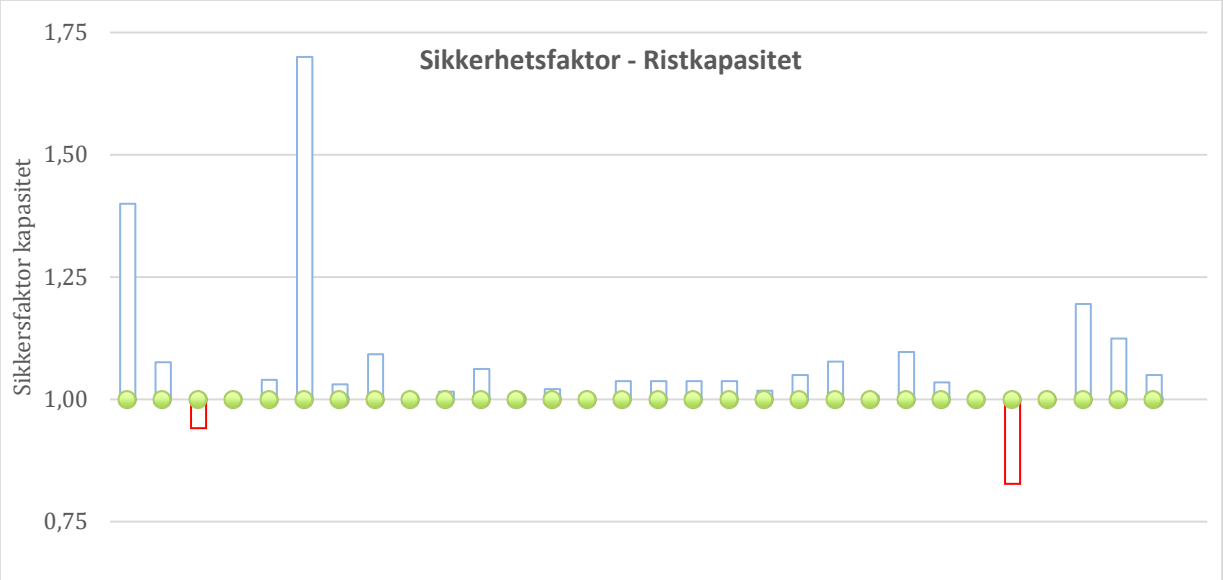


Figur 3-11 Inntakenes ulike løsning for hvorvidt minstevann går igjennom Coanda-risten (etter) eller tas ut oppstrøms rist (før)

Kapasiteten i risten kan relateres som et forhold mellom ristleverandørens garanterte kapasitet (m^3/s) og slukeevnen på turbinen (m^3/s). Sikkerhetsfaktoren for kapasiteten i ristene[3] angir forholdet mellom ristens kapasitet for inntak og turbinens slukeevne.

Figur 3-12 viser dette forholdet for inntakene i undersøkelse. Her er gjennomsnittet på 1,08.

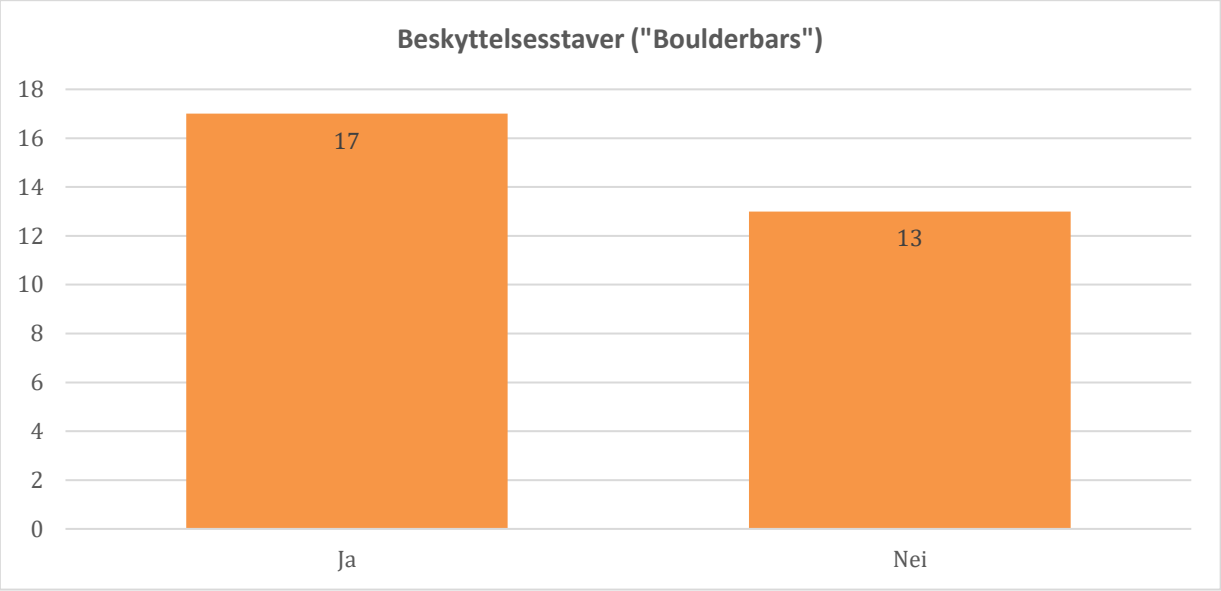
For to av inntakene er endog sikkerhetsfaktoren langt under 1. Det betyr i realiteten at inntaket ikke kan levere vann nok til å utnytte turbinens fulle effekt.



Figur 3-12 Sikkerhetsfaktor kapasitet volumstrøm; Teoretisk kapasitet for rist dividert på slukeevne (inklusiv sommer minstevannføring for inntak der denne tas igjennom rist) per inntak.

[3] Sikkerhetsfaktoren for kapasitet over ristene er her definert som ristleverandørs garanterte kapasitet dividert på turbinens slukeevne (og evt minstevannføringen tatt gjennom risten). Eksempelvis vil en sikkerhetsfaktor på 1,0 bety at garantert ristkapasitet er identisk med slukeevne (evt slukeevne pluss minstevannføring der denne tas gjennom rist). En sikkerhetsfaktor på over 1,0 vil bety at risten har en teoretisk overkapasitet – en sikkerhet utover garantert ristkapasitet. En verdi under 1,0 betyr at risten har mindre garantert kapasitet enn forbruket tilsier. Verdier under 1,0 vil derfor være overraskende – og dersom ikke feilrapportert – normalt vurderes som en prosjekteringsfeil.

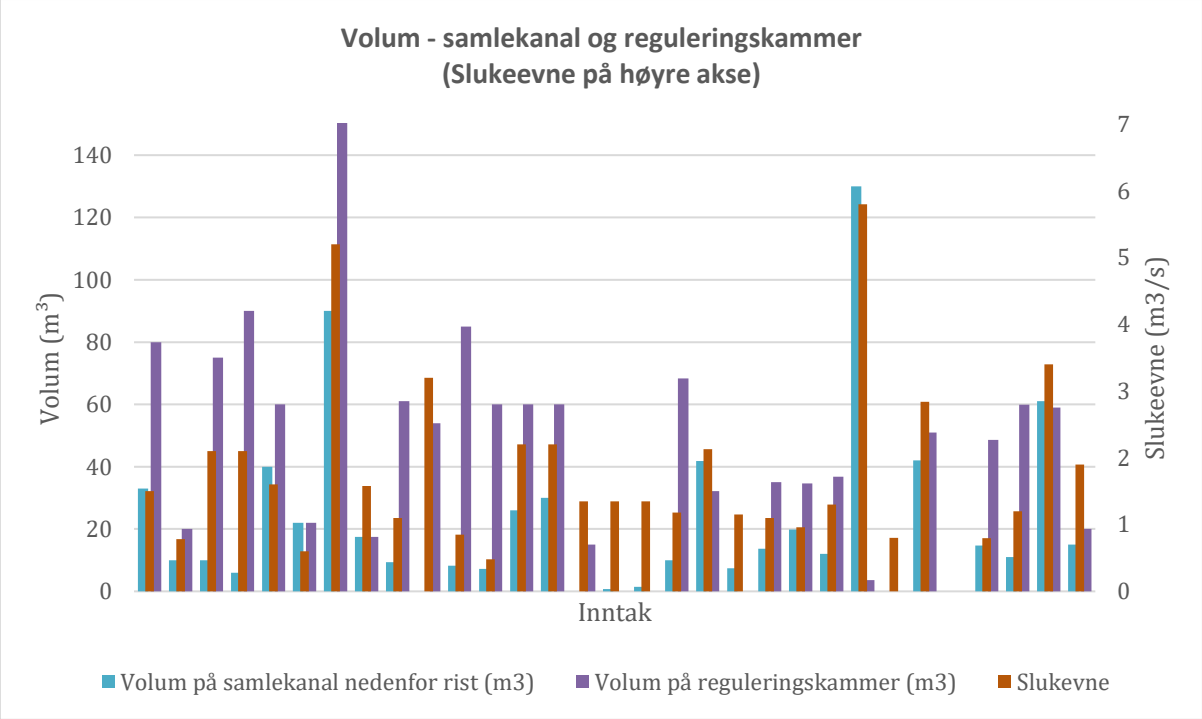
Figur 3-13 viser en relativt lik fordeling mellom antallet inntak med beskyttende «boulder bars» montert og antallet uten.



Figur 3-13 Antall inntak med beskyttelsesstaver eller "Boulderbars" installert på Coanda-risten.

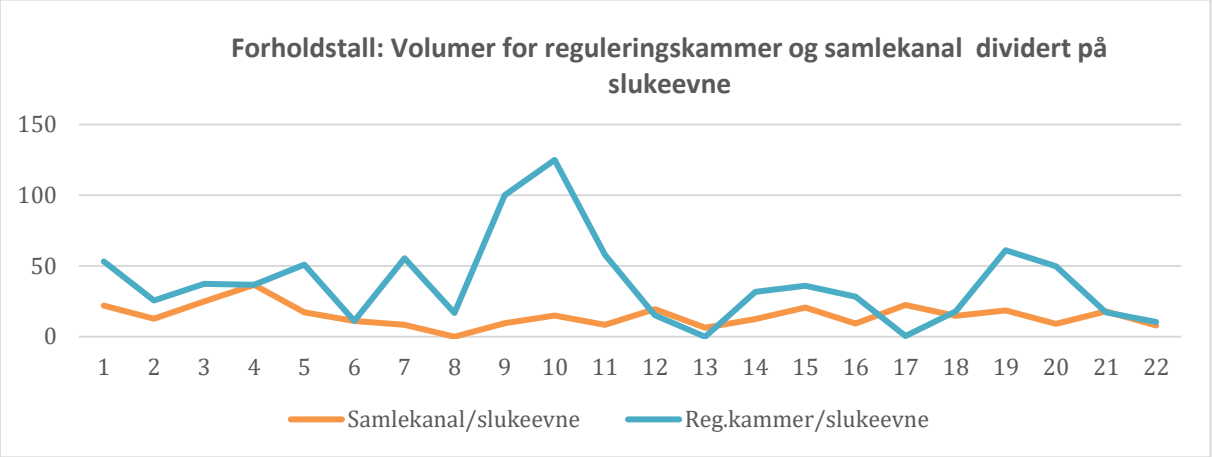
3.6.2 Utforming av inntak

Undersøkelsen har forsøkt å kartlegge inntaksarrangementene med tanke på volumer på de enkelte deler i dam/inntak, grunnforhold og minstevannføring. Som det fremkommer av Figur 3-14 varierer de ulike inntakenes samlekanalers volum fra under 10 m^3 til 130 m^3 og reguleringskamrenes volum fra 4 m^3 til 265 m^3.



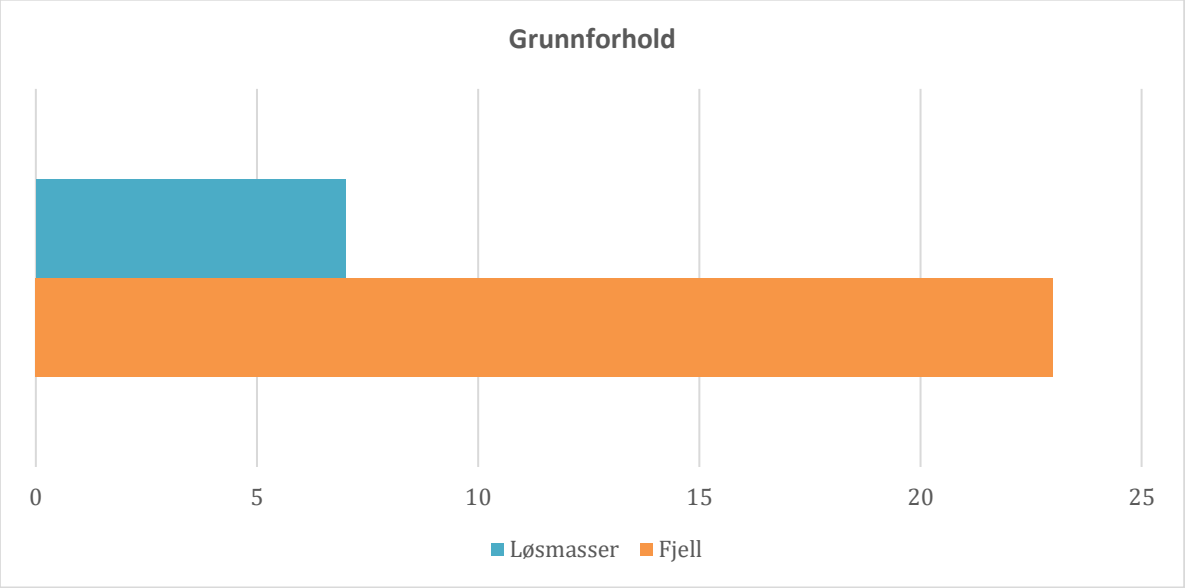
Figur 3-14 Volum på samlekanal og reguleringskammer for inntakene (venstre akse) og slukeevne (høyre akse) per inntak. Følgelig skal det i utgangspunktet være 3 stolper per inntak. Fraværende stolper betyr at data mangler.

Forholdet mellom slukeevne og samlekanalens volum varierer begrenset fra inntak til inntak. Derimot varierer forholdstallet mellom slukeevne og reguleringskammer mye. Det er uvisst hvorvidt sistnevnte forhold kan relateres til ulike vannveier og reguleringsstabilitet eller om det er snakk om ulike kriterier som ligger til grunn (eller mulig kombinasjon av disse, da det forventes flere krav til reguleringskammer enn samlekanal har). Resultatene kan likevel antyde større grad av standardisering for samlekanals volum enn tilfellet er for reguleringskammer hva angår volumer. Se Figur 3-15.



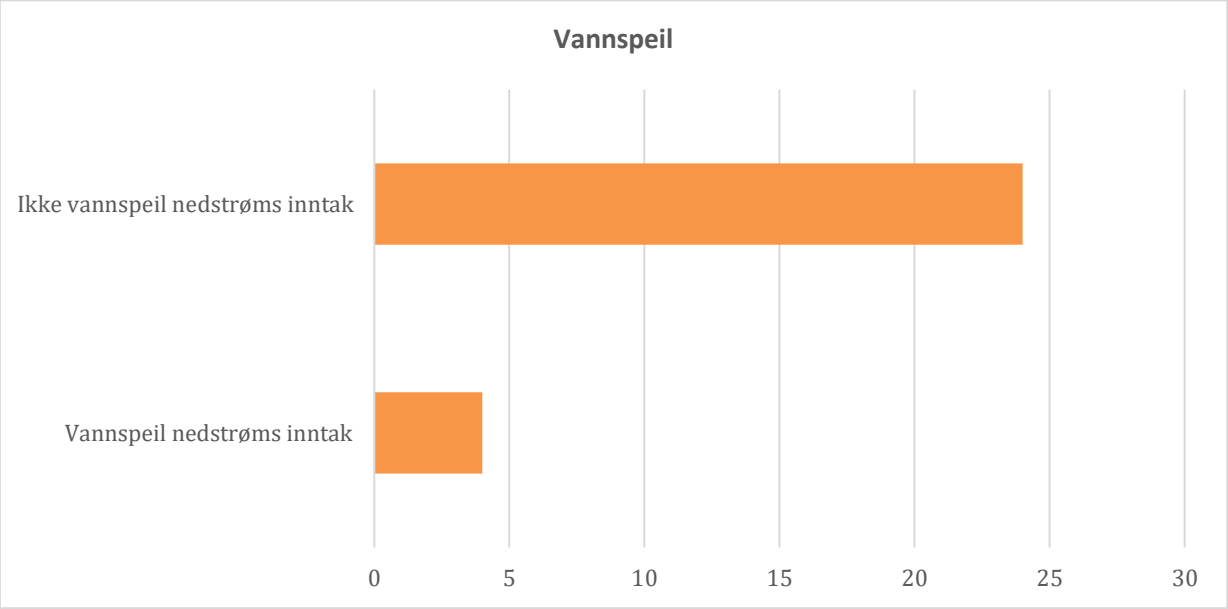
Figur 3-15 Forholdstall; Volumen for reguleringskammer og samlekanal dividert på slukeevne.

Majoriteten av inntakene i undersøkelsen er bygget på fjell. Syv inntak er bygget på løsmasser, se Figur 3-16.



Figur 3-16 Diagrammet viser hvilken grunn inntakene er bygget på.

For flesteparten av inntakene er det ikke tilrettelagt eller prosjektert for vannspeil rett nedenfor inntak og dam, jf. Figur 3-17. Det finnes altså i de fleste tilfellene en tørrlagt seksjon av elven ned til punktet for slipp av minstevannet.

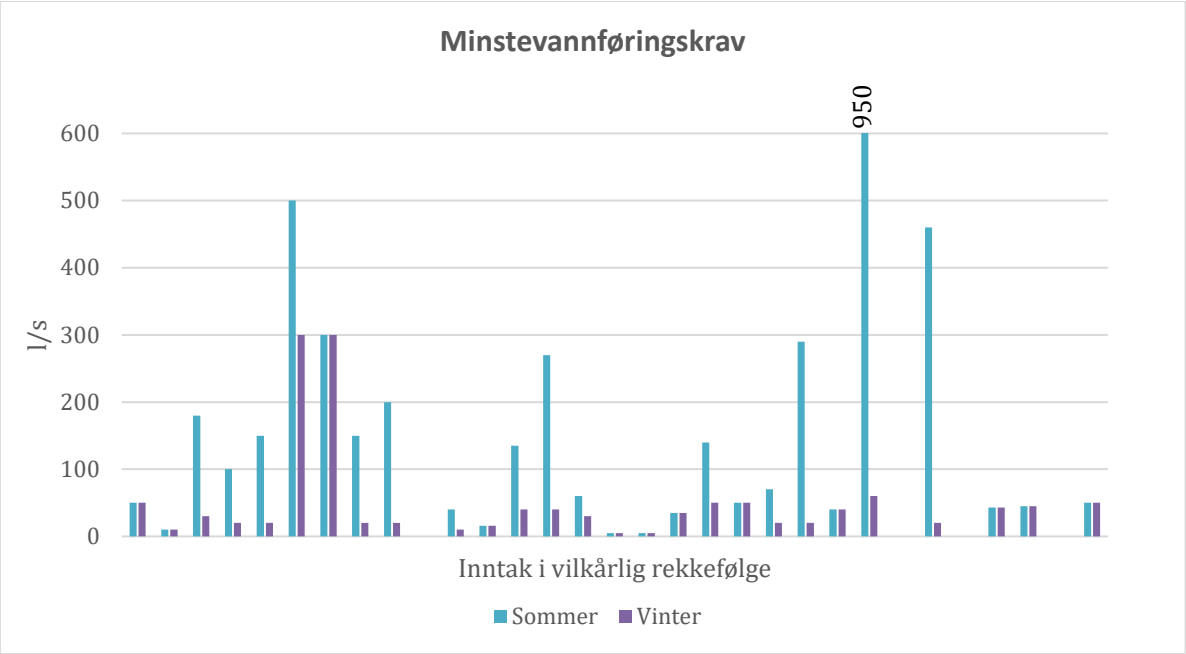


Figur 3-17 Diagrammet viser antall inntak med eller uten vannspeil nedstrøms inntaket. For de 4 aktuelle inntakene hvor man har vannspeil, varierer dette fra 0,3 m til 1 m dybde.

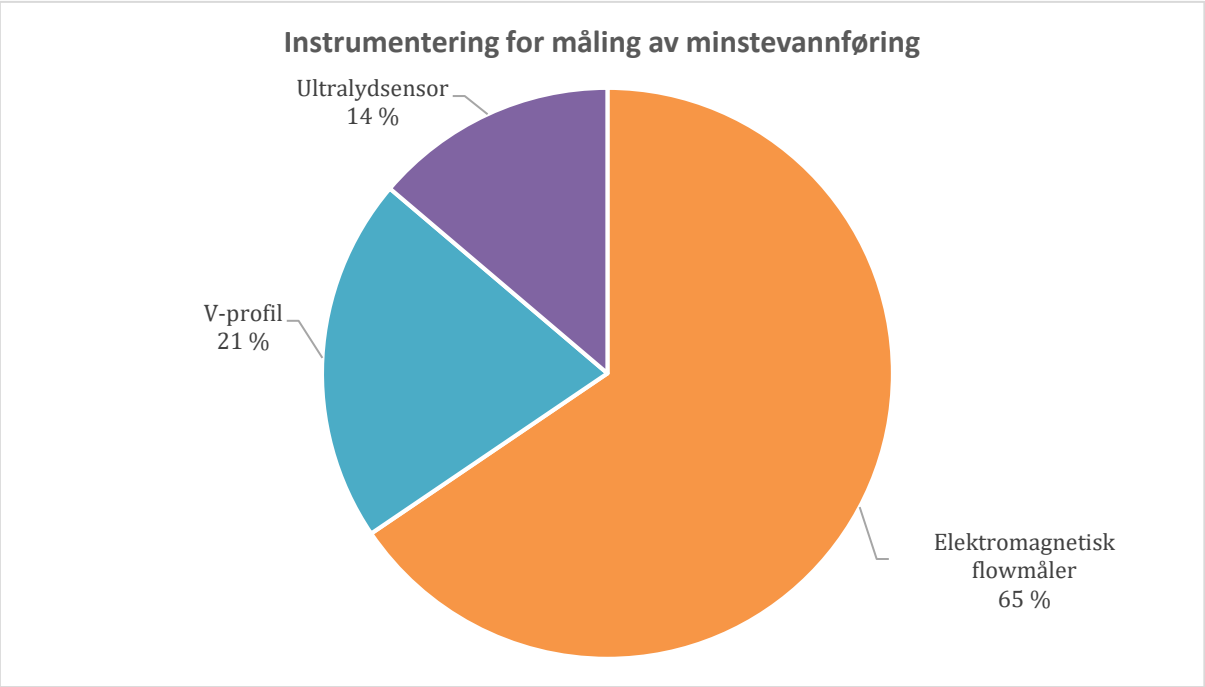
3.6.3 Minstevannføring

Minstevannføringskravene gitt i konsesjonene til anleggene med Coanda-inntak i undersøkelsen er vist i Figur 3-18.

Det er installert ulike metoder for måling og oppfølging av minstevannføringen fra anleggene, gjennomgående fordelt på 3 metoder (se Figur 3-19).



Figur 3-18 Konsesjonsgitt minstevannføringskrav. Med ett unntak har alle inntakene i undersøkelsen krav om minstevannføring både sommer- og vinterstid.

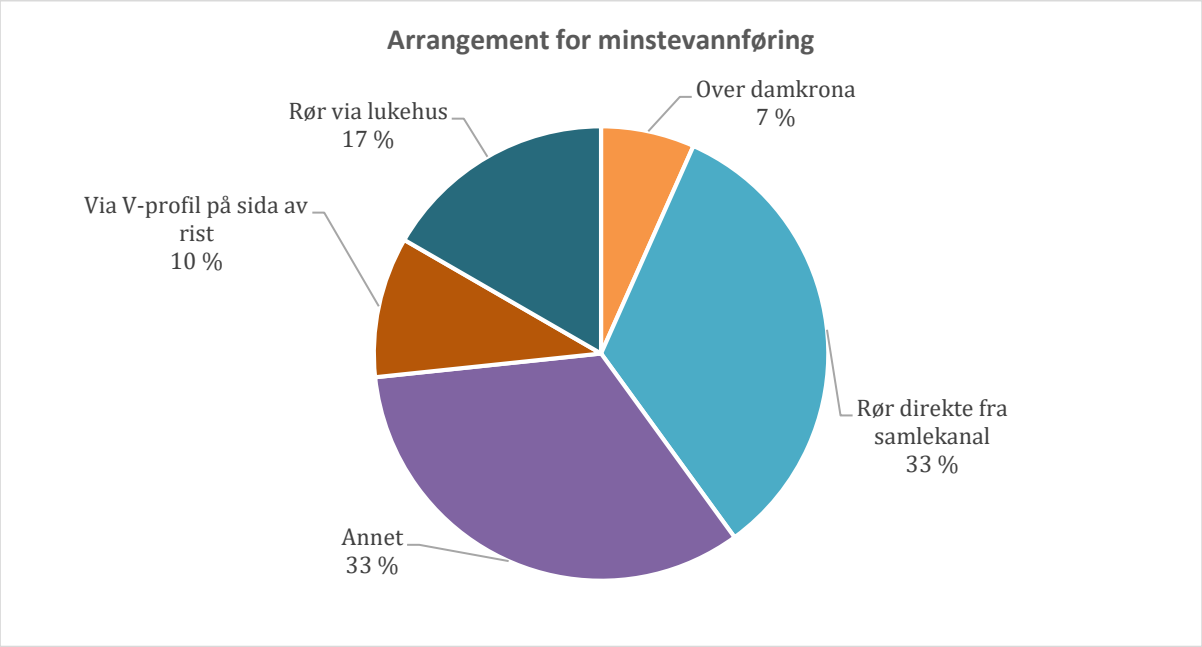


Figur 3-19 Fordeling av de ulike instrumenteringer for måling av minstevannføring.

Det er på de ulike anleggene installert forskjellige arrangementer og prinsipp for slipp av minstevannføringen, der dette for flertallet av anleggene medfører en tørrlagt seksjon mellom dam/inntak og minstevannføringsslipp (jf. Figur 3-17). Figur 3-20 under viser et konkret eksempel på dette.

Løsninger for slipp av minstevannføring er gitt av respondentene. Fordelingen av tekniske løsninger for anleggene i undersøkelsen er vist i figur 3-21.

Figur 3-20 Foto av tørrlagt seksjon av elven fra dam og inntak ned til slipp av minstevannføring (foto: NVE)

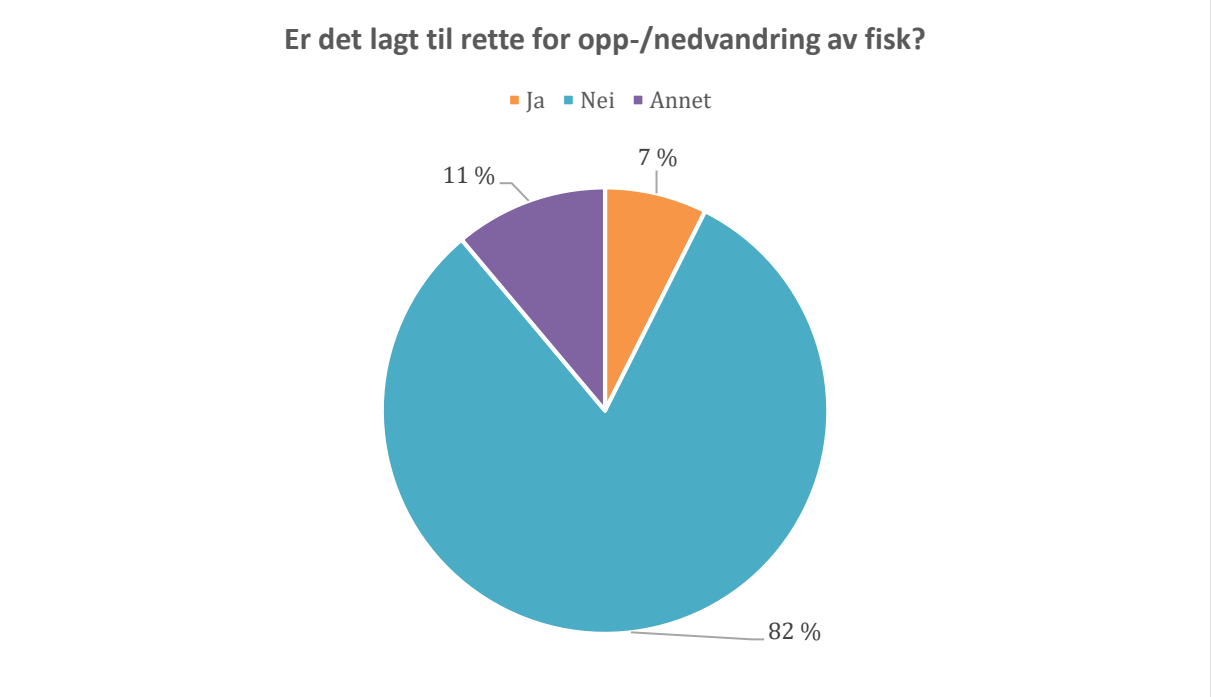


Figur 3-21 Fordeling av de ulike arrangement for minstevannføring ved Coanda-inntakene. Kategorien «Annet» er et av 5 svaralternativene i undersøkelsen.

3.6.4 Fisk

Bare to anlegg har lagt til rette for fiskevandring, tilsvarende 7% jf. Figur 3-22. For disse anlegg kom dette som følge av krav om tilrettelegging for opp-/nedvandring av fisk i konsesjonen.

Inntak med coanda-rist legger generelt godt til rette for nedvandring av ungfisk (smolt), og dette fremmes som et av argumentene for løsningen. Et eget arrangement for oppvandring av fisk er derimot ikke standardisert.



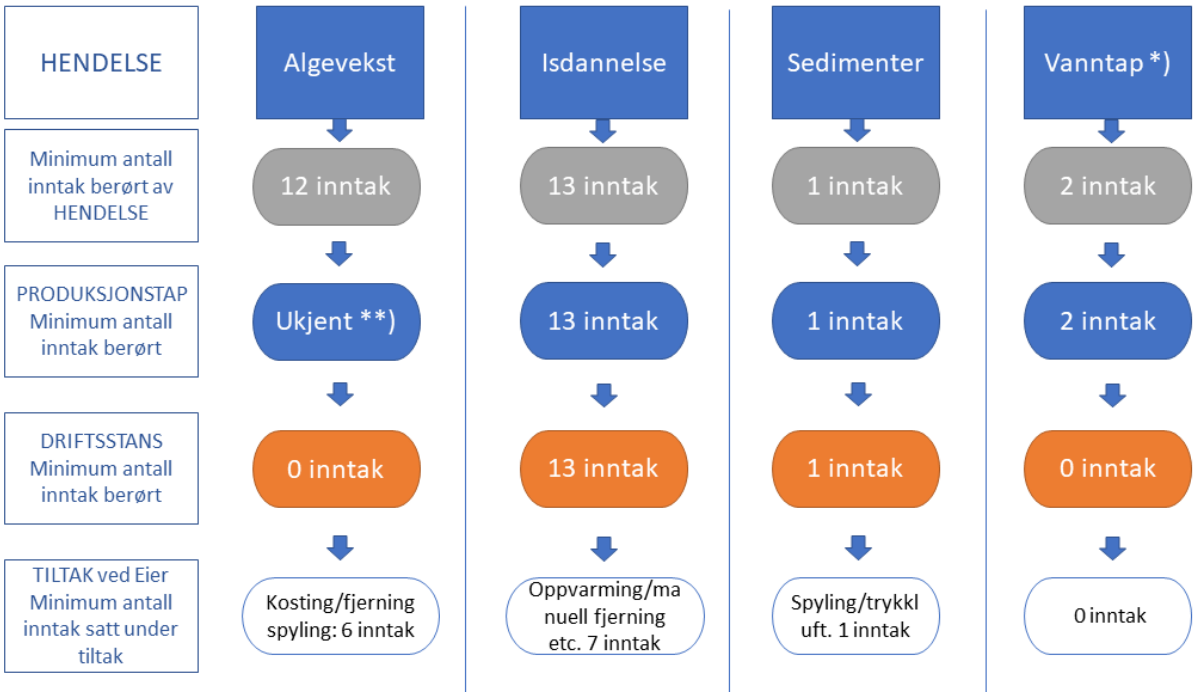
Figur 3-22 Ekstra tilrettelegging for fiskevandring.

4 Driftserfaringer med Coanda-inntak og analyse av årsakssammenhenger

Dette kapitlet presenterer resultatene av undersøkelsen samt analyser av sammenhengene mellom ulike erfaringer *og* tekniske eller geografiske forhold ved de ulike anleggene i undersøkelsen.

Spørreundersøkelsen avdekker at det er 4 typer utfordringer knyttet til driften av kraftverk med Coanda-inntak i Norge. Figur 4-1 under illustrerer omfanget av disse utfordringer (kallet «hendelse») blant undersøkelsens respondenter samt i hvilken grad dette har konsekvens for henholdsvis produksjon og pålitelighet i driften. Hovedutfordringene er knyttet til algevekst og isdannelse, mens bare ett anlegg har utfordringer med sedimenter og to anlegg har registrert vanntap.

Svarprosent for algevekst, isdannelse og sedimentering på ristene er alle over 90%.



*Figur 4-1 Utfordringer ved Coanda-inntak i Norge på bakgrunn av spørreundersøkelse juni 2019. *Vanntap er her satt opp som en egen kategori for direkte tapt vann over rist uavhengig av alger, is eller sedimenter.*

«Hendelse» representerer de ulike utfordringer for Coanda inntakene avdekket i spørreundersøkelsen og er begrenset til det som angår selve ristene; Algeveksten som skjer på ristene, isdannelsen som skjer over ristene etc. Det vil si at hendelser som eksempelvis isdannelse i samlekanaler eller sedimentering i overvannsbasseng ikke er tatt med. Sistnevnte utfordringer er ikke tatt med da spørreundersøkelsen ikke opprinnelig tok høyde for dette og rapporten ønsker å fokusere på erfaringer tilknyttet de spesifikke og eksklusive forhold ved Coanda-inntak, da spesielt «ristprinsippet». Sedimentering som her angitt ved ett anlegg er vurdert til å ha spesielle fysiologiske forhold som nødvendigvis må være krevende for enhver inntaksløsning - og er derfor ikke viet mer oppmerksomhet i denne rapporten.

Rapporterte antall inntak i skjemaet må sees i sammenheng med totalt antall Coanda inntak i undersøkelsen som er 30 stk. Dessuten har 3 av anleggene ved tidspunkt for spørreundersøkelse ikke foreløpig testet anlegget vinterstid og et fjerde anlegg kjøres kun sommerstid. For vinterdrift er det altså kun 26 relevante inntak i utvalget. Samtlige tall må vurderes som «minimum antall», da fraværende instrumentering/overvåking, relativt kort driftstid eller lav tilsynshyppighet begrenser antall observasjoner. Dette gjelder i spesielt isdannelse som har en relativt rask utvikling og smeltning, i motsetning til algevekst som strekker seg over noe tid. Derimot forventer man god oversikt og

rapportering hva gjelder driftsstans. Algeveksten er avhengig av temperatur og sol for utvikling. Det er ca. 27 anlegg som ved undersøkelsens tidspunkt har hatt drift gjennom en hel sommer. Relevant for utvalget for algevekst er derfor ca. 27 inntak.

For alle observasjoner må også nevnes varighet av observasjonsperiode fra idriftsettelsene av anleggene til undersøkelse i juni 2019 for de ulike inntakene. Denne er i gjennomsnitt rett i overkant av 2 år. Dette er å vurdere som en begrenset periode i forhold til den påvirkning eventuelle våtår, tørrår, kuldeperioder etc. i fremtid vil akkumulere av hendelser for de respektive parametere til denne tabellen. Dette er dessuten å regne som kort varighet i et vannkraft- og vedlikeholdsperspektiv og hendelsene skulle normalt ikke slå ut for slitasje, korrosjon etc.

«Isdannelsen» slik rapportert i Figur 4-1 viser inntak med rapportert isdannelse over rister. Som det fremkommer av tiltakene er det halvparten av disse berørte inntakene som har gjort eller kommer til å gjøre tiltak som følge av isdannelsen. Det fremkommer ikke av svarene i undersøkelsen for den resterende halvpart av de berørte inntakene hvorvidt de anser isdannelsen som begrenset problematisk eller om de ikke har hatt ressurser til å gjøre noe med dette. Samtlige inntak som har erfart utfordringer med ising på en eller flere måter, har også erfart en eller flere ganger at dette har ledet til driftsstans.

Ved større algevekst er enkelte av inntakene nødvendig å holde åpne ved hjelp av manuell inngripen ved kosting eller spyling. Det er foreløpig ikke rapportert om tilfeller av full driftsstans, kun midlertidig produksjonstap som følge av algevekst. Dette tapet har ikke vært mulig å kvantifisere på bakgrunn av svarene gitt i spørreundersøkelsen.

Kategorien «vanntap» i denne sammenheng er definert som direkte tapt vann over rist der vann passerer over rist på tross av at aggregatet går på dellast, dvs. vanntap mens slukeevnen i inntaket *ikke* er tilfredsstilt. Dette skjer uten at rist er tildekket av alger, sedimenter eller annet. Spørreundersøkelsens funn gir ikke tilstrekkelig underlag eller forklaring på fenomenet og hvorvidt det skyldtes svakheter ved den spesifikke installasjon, reguleringstekniske forhold eller prinsipielle svakheter. Undertrykk på luft under rist er en forklaring fra en av respondentene. Fenomenet gir en produksjonsbegrensning. Denne er ikke kvantifisert. Det kan være mulig å trekke paralleller til tilsvarende erfaringer fra Skottland, se kapitel 6 om Driftserfaringer ved Coanda-inntak i Storbritannia.

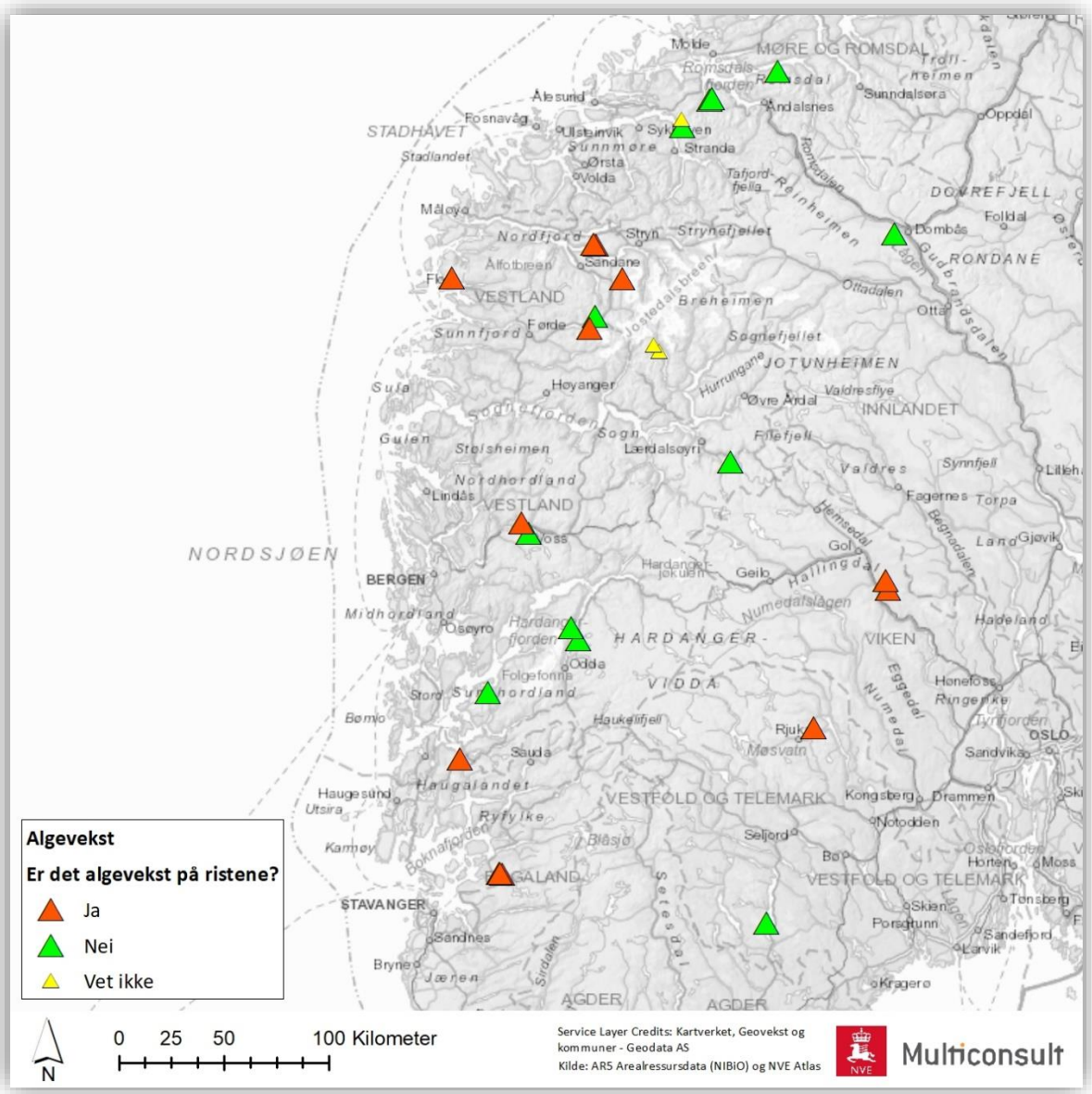
Merk at det ikke er knyttet utfordringer til årsaker som tetting av gress, mose, løv eller kvist da samtlige brukere i undersøkelsen mener inntaket har fungert selvrensende mot disse.

Samtlige rister for Coanda-inntakene er fra samme produsent, men det er typeavvik. Samlekanal og rister er relativt standardisert og lengden på risten (overløpsterskel) øker lineært med kapasitetsbehovet. Likefullt er det noe ulik prosjekteringsfilosofi anleggene imellom hva angår kapasitetssikkerhet over ristene (grad av overkapasitet). Funnene i rapporten antyder at denne overkapasiteten kan være i snaueste laget. Det finnes ulike løsninger for både instrumentering og arrangement for minstevannføring ved Coanda-inntak. De fleste inntak har ikke vannspeil umiddelbart nedstrøms (under samlekanal).

4.1 Algevekst

Algevekst på Coanda-ristene er for 12 av anleggene en utfordring som medfører vedlikeholdsbehov. Det er ikke avdekket et eventuelt produksjonstap som følge av dette, men ettersom algevekst medfører en reduksjon av ristens kapasitet er det nærliggende å anta at dette etter en viss utvikling fører til vanntap.

Figur 4-2 viser en geografisk oversikt over anlegg som observerer algevekst på Coanda-ristene.



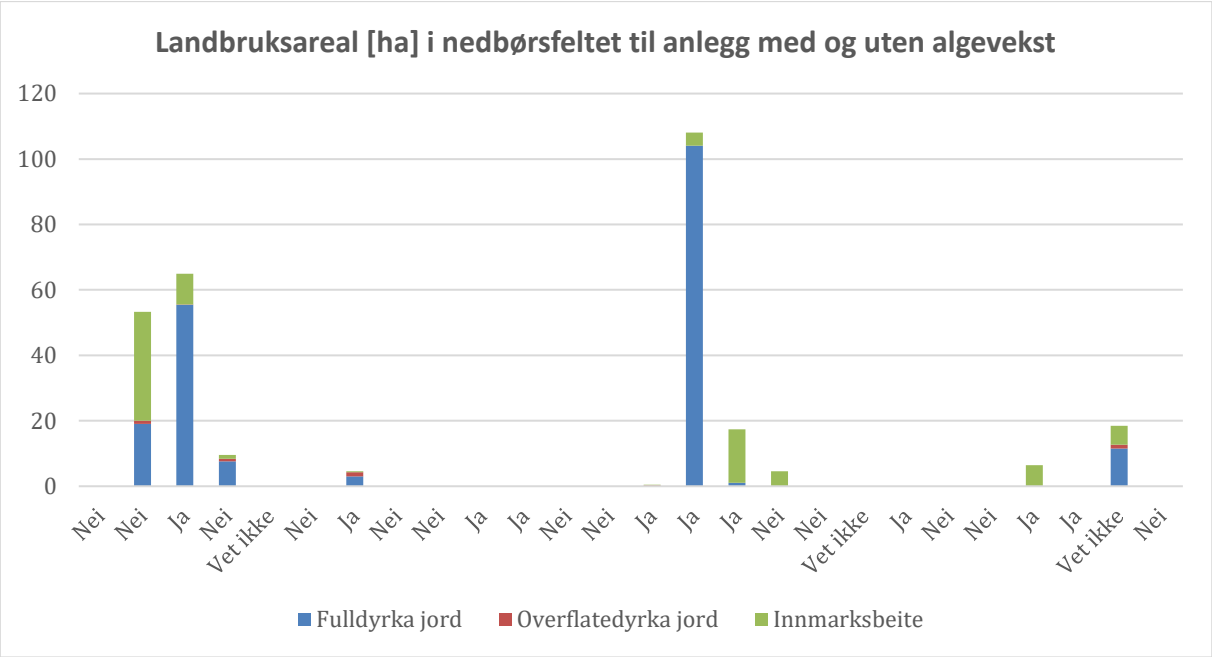
Figur 4-2 Geografisk distribusjon av utfordringer forbundet med algevekst hos respondentene

For å avdekke mulig årsak til algevekst er det utført analyse av arealbruken i nedbørsfeltene med grunnlag i den hypotesen at eutrofiering[4] av vannmiljøet gjennom næringstilførsel vil ha en direkte virkning på algevekst på Coanda-ristene.

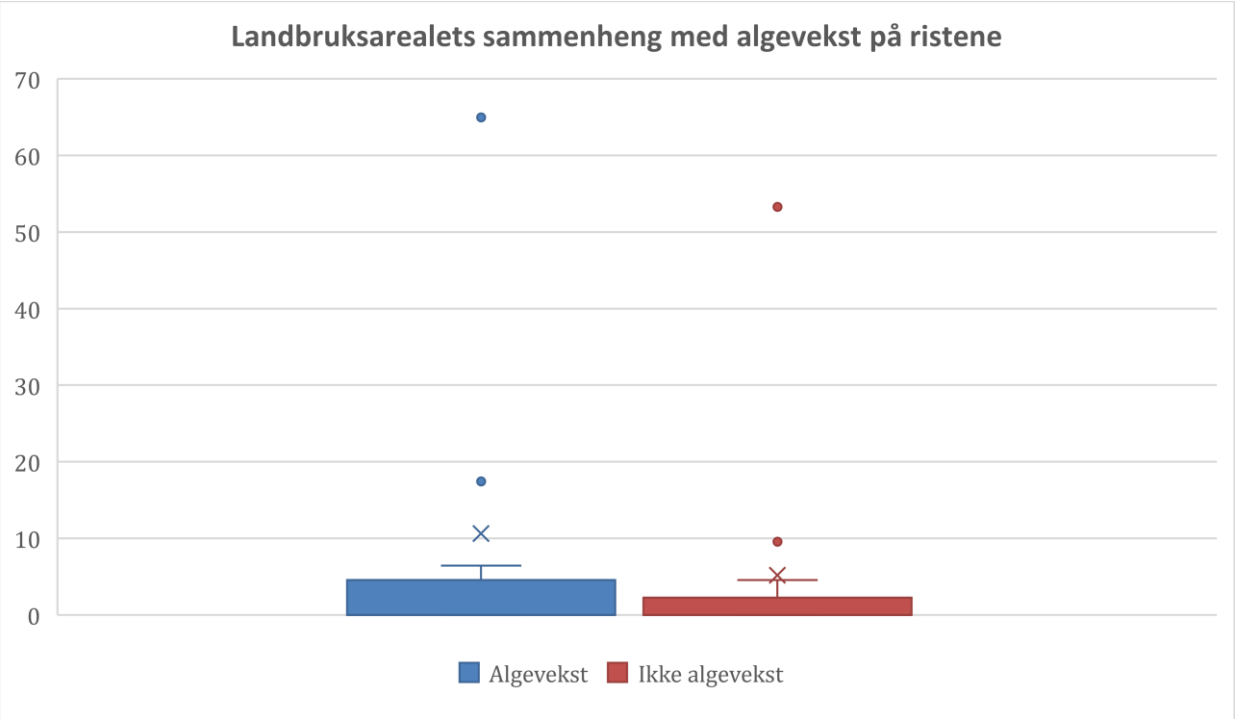
Figur 4-3 viser landbruksareal for hvert anlegg i vilkårlig rekkefølge som både har og ikke har observert algevekst på ristene. Figur 4-4 viser en statistisk korrelasjon *(box plot)*[5] av landbruksarealets sammenheng med algevekst på ristene. Det er ikke grunnlag for å konkludere at næringstilførsel fra landbruk i nedbørsfeltet medfører mer algevekst på ristene.

Figur 4-5 viser antallet av bygninger med ulike formål i nedbørsfeltet til alle inntak, med og uten algevekst. Figur 4-6 viser en statistisk korrelasjon *(box plot)* av sammenhengen mellom antallet bygg i nedbørsfeltet og algevekst på ristene. Det er heller ikke her noen signifikant fordeling av anlegg med algevekst i nedbørsfelt med mange bygninger.

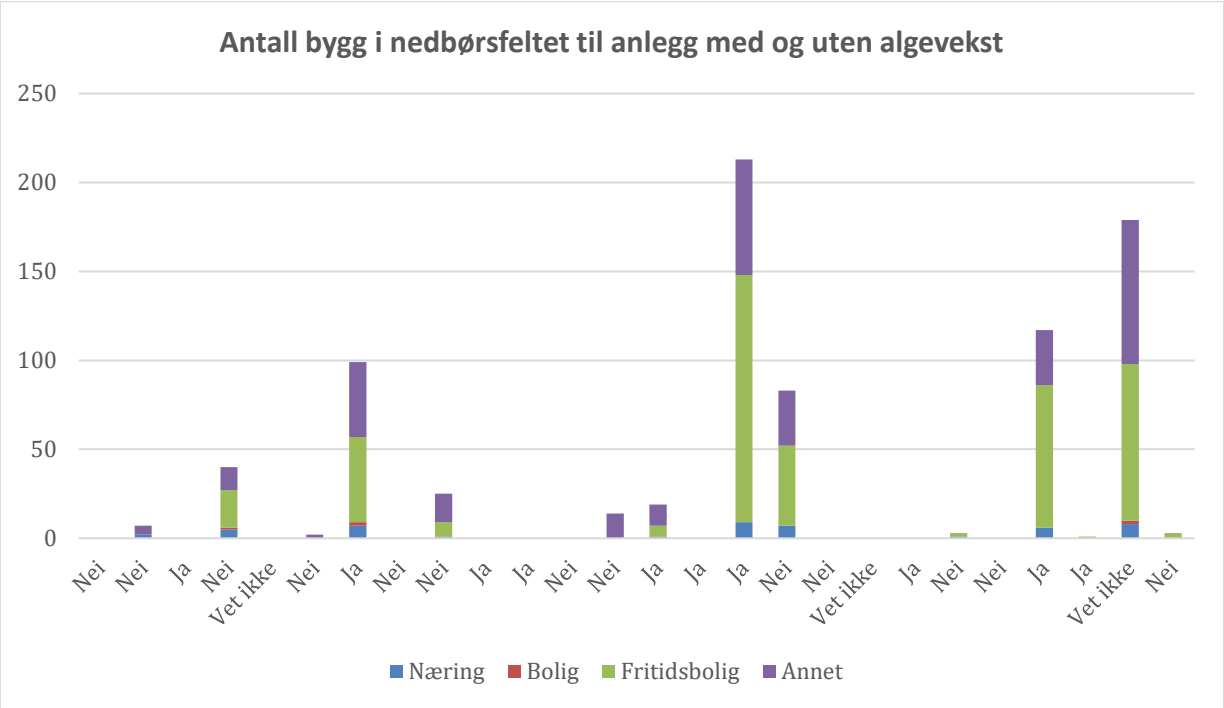
[4] Eutrofiering er en øking av naturlig næringsinnhold i akvatiske miljø, som typisk vil forårsake økt primærproduksjon med algevekst til følge.
[5] Fra «box plot» kan avleses statistiske sammenhenger som bl.a. signifikans.



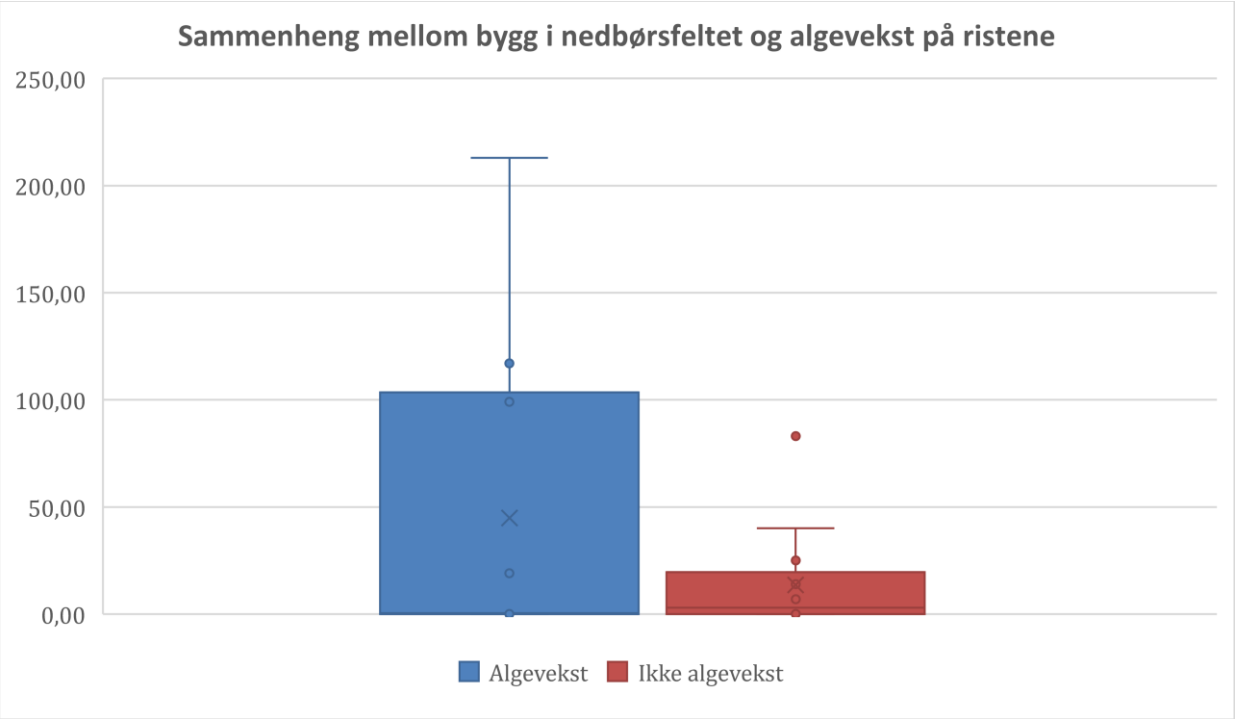
Figur 4-3 Landbruksareal [ha] i nedbørsfeltet til anlegg med og uten algevekst



Figur 4-4 Statistisk korrelasjon av landbruksarealets sammenheng med algevekst på ristene



Figur 4-5 Bygninger i nedbørsfeltet til anlegg med og uten algevekst



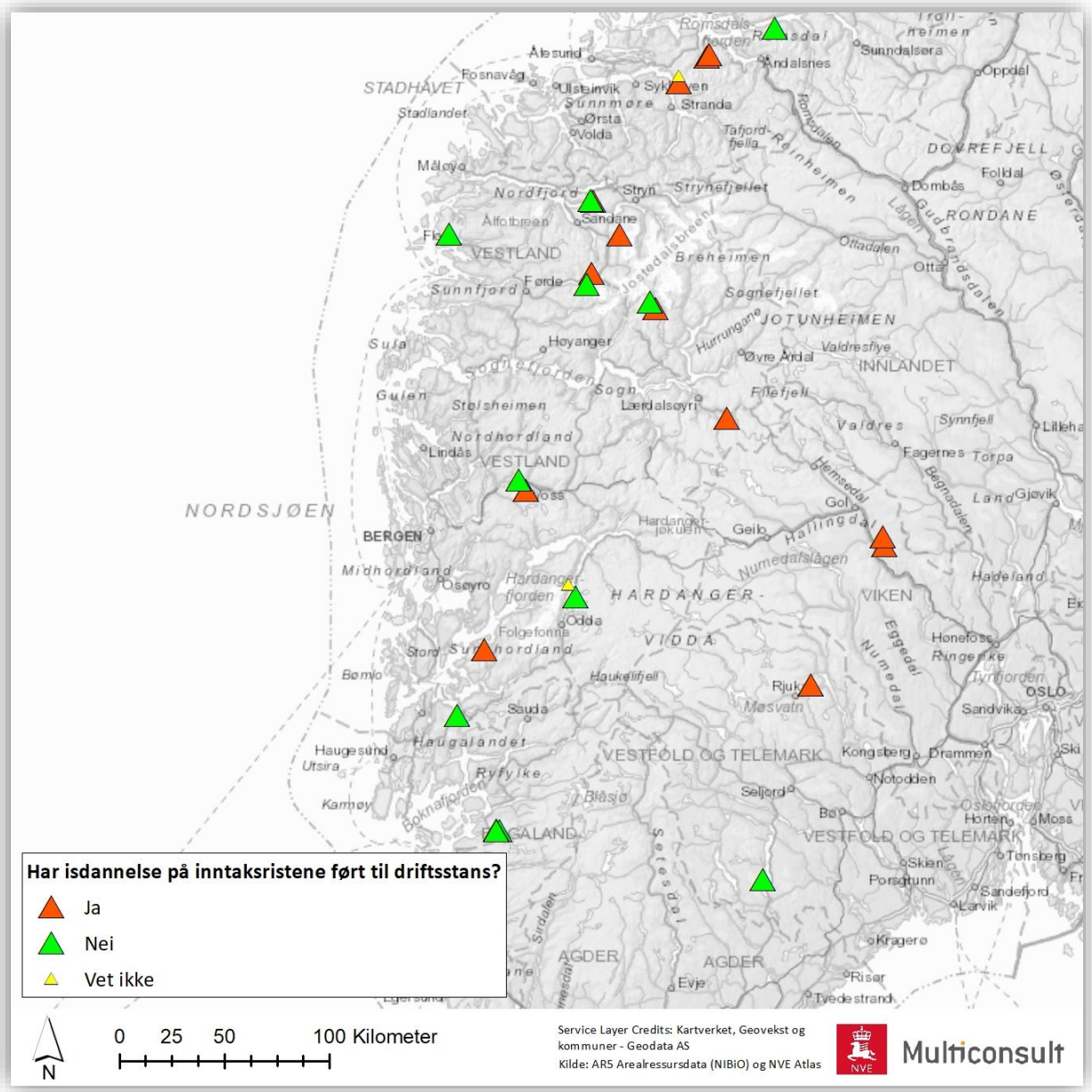
Figur 4-6 Statistisk korrelasjon av sammenhengen mellom antallet bygg i nedbørsfeltet og algevekst på ristene

4.2 Sedimenteringsproblematikk

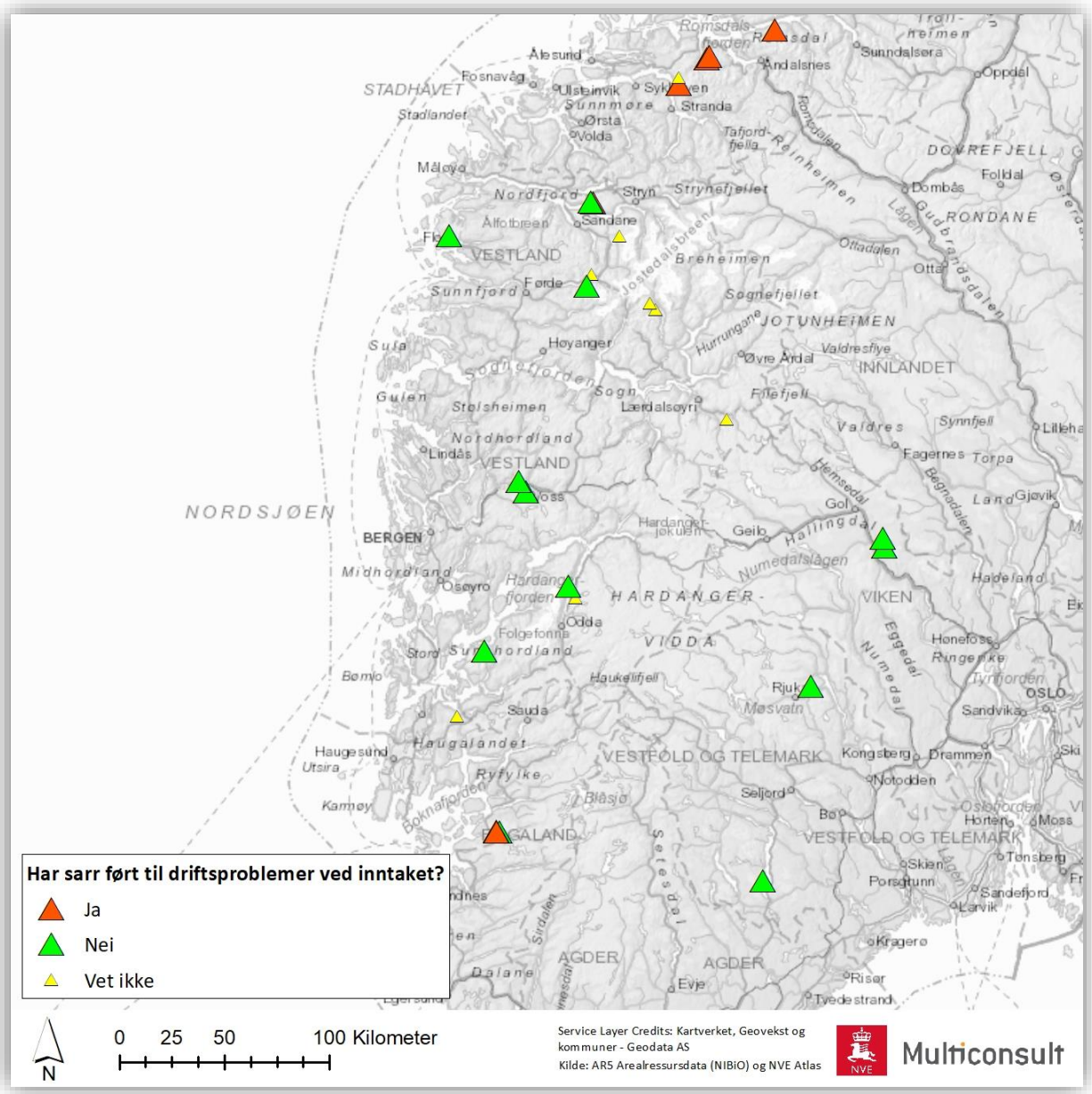
Bare ett anlegg har rapportert om problemer med sedimenter som må tømmes fra inntaksbassenget. Dette anlegget har mye isdekke, barfjell og bratt terreng i nedbørsfeltet. Erosjon med direkte transport av sedimentene til inntaksstedet antas å være årsaken til dette. Dette er et spesialtilfelle i denne undersøkelsen og det er ikke grunnlag for å vurdere coanda-inntakets egnethet versus mer konvensjonelle inntak.

4.3 Is og sarr

Figurene 4-7 og 4-8 viser en geografisk fordeling av anlegg med henholdsvis is- og sarr-utfordringer.



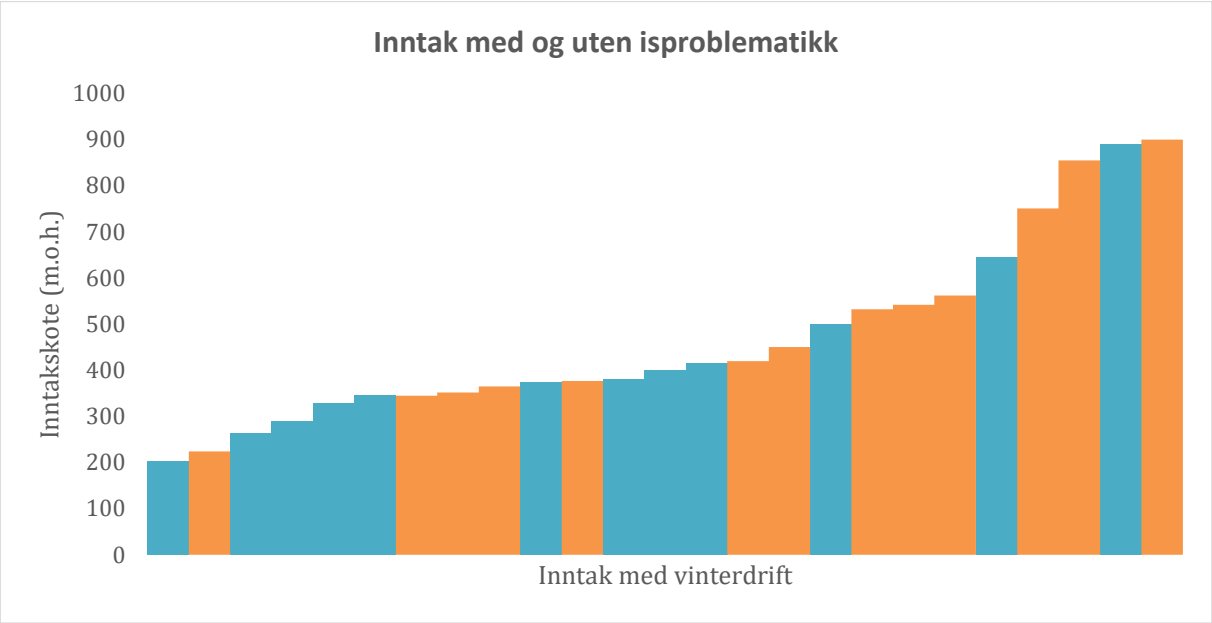
Figur 4-7 Geografisk distribusjon av utfordringer med isdannelse hos respondentene



Figur 4-8 Geografisk distribusjon av utfordringer med sarr hos respondentene

Det er flere parametere som påvirker inntakenes utfordringer knyttet til is med driftsstans og produksjonstap, uavhengig om det er snakk om Coanda-inntak eller andre typer inntak. En ikke-utfyllende liste over slike parametere som henger mer eller mindre sammen med hverandre og som ikke angår ulike tekniske løsninger av inntaket eller har inngått i grunnlaget til spørreundersøkelsen er;

- «Klimasone» - Skiftende vestlandsvær eller mer stabilt østlandsvær?
- Temperatur og hyppighet på temperaturskifte i både luft og vann
- Våtår eller tørrår? Varighet på observasjonsperiode utelukker ikke stor påvirkning av dette
- Nedbørstype og fuktighet i luft



Figur 4-9 Coanda-inntakene med vinterdriftserfaring sortert etter inntakets høyde over havet. Blå stolper er inntak uten isutfordringer mens oransje stolper er inntak med isutfordringer.

I det følgende defineres «inntak med isutfordringer» som inntak som av en eller flere årsaker relatert mot is og Coanda-inntak har erfart en eller flere driftsstanser i løpet av et år.

26 inntak har så langt erfaringer med vinterdrift. Fra Figur 4-1 fremkommer at 13 av disse 26 inntakene har utfordringer med isdannelse, tilsvarende 50%. Av disse er det ved bare 7 av inntakene gjennomført tiltak. Tiltakene inkluderer:

- Oppvarmet vann over rist
- Varmelampe
- Manuell fjerning av is
- Varme på rist

Gjennomsnittlig inntakskote for inntak med isutfordringer som har ledet til driftsstans er 514 (m.o.h) mens tilsvarende tall for inntak uten isutfordringer som har ledet til driftsstans er på 425 (m.o.h).

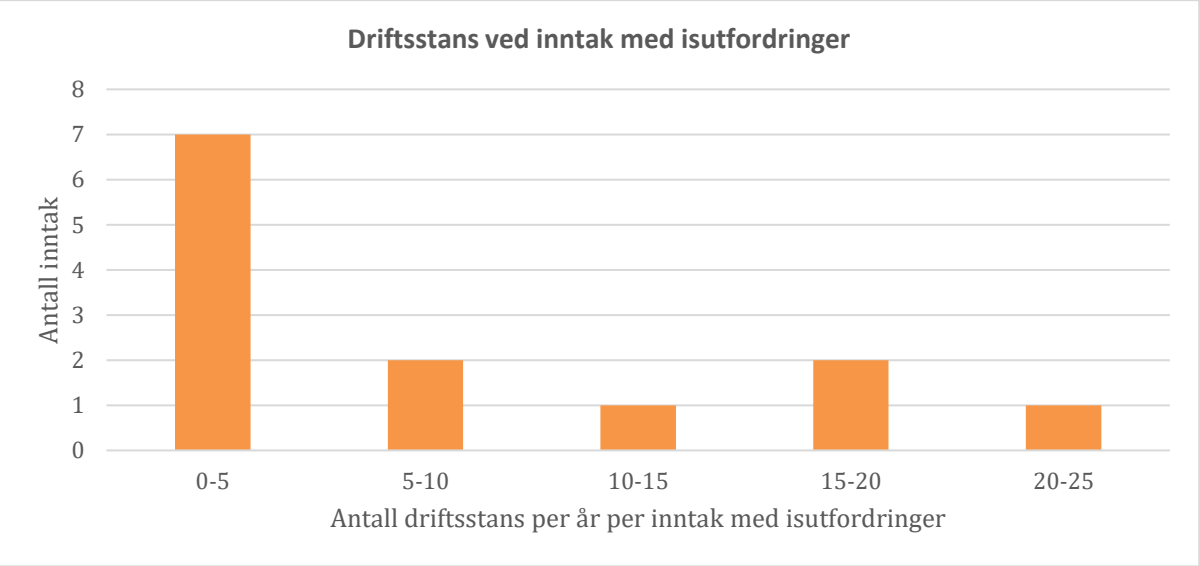
Figur 4-9 viser at det er større hyppighet for isutfordringer over 420 m.o.h. Under 420 m.o.h. er det flere inntak uten isutfordringer. Samtidig viser figuren at det er mulig at også de høyeste inntakene er uten isutfordringer og at de laveste inntakene også kan erfare isutfordringer. Det er flere geografiske parametere som avgjør lokalklimaet i nedbørsfeltene. Appendiks 1 viser nedbørsfeltenes arealdekker og høyder

9 av de 13 inntakene (tilsvarende 69%) som har erfart driftsstans som følge av isdannelse har boulderbars. Fra Figur 3-13 er fordelingen av inntak med boulderbars 17 av totalt 30 (tilsvarer 57%). At andelen inntak med boulderbars av antallet inntak med isutfordringer er noe overrepresentert i forhold til andelen inntak med boulderbars i undersøkelsen kan virke paradoksalt, da en del av hensikten med boulderbars, ifølge leverandør, er å begrense isskade på risten (da trolig tiltenkt isganger oppstrøms). Det bemerkes da, at det ikke finnes oversikt over hvorvidt man på planleggingsstadiet nettopp peket ut disse anlegg som inntak med potensielle isutfordringer. I prinsippet er det derfor mulig at boulderbars har hatt en positiv innvirkning isolert sett. Det kan dessuten være at bruken av boulderbars er helt nødvendig for de aktuelle inntak – nettopp med tanke

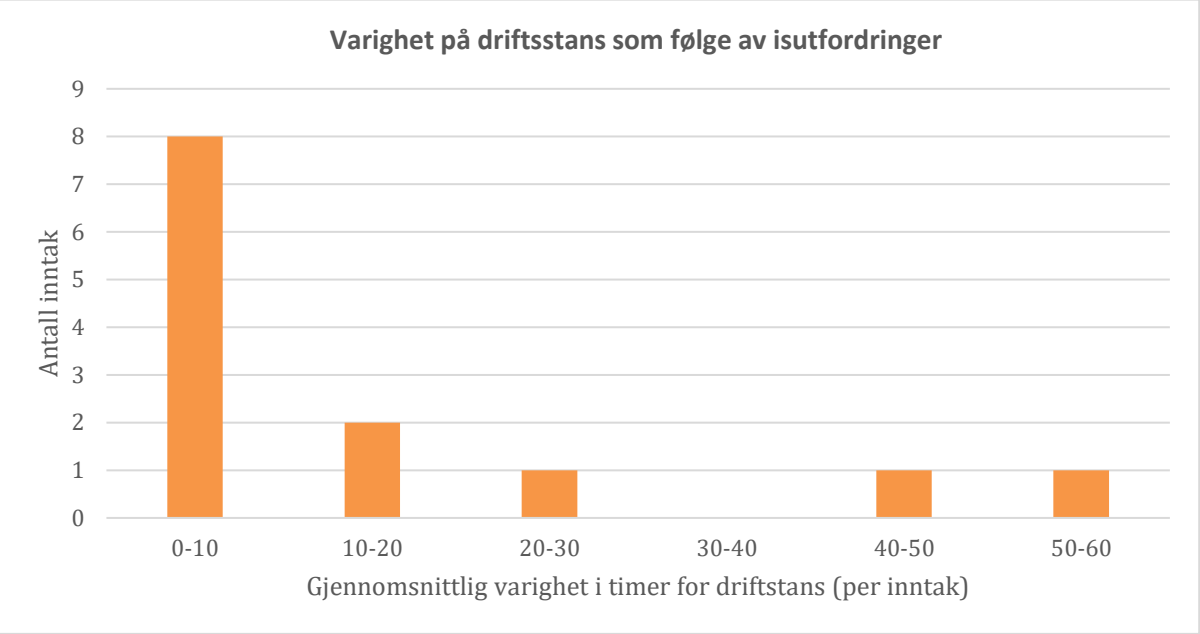
på å beskytte risten mot *isflak*. Like fullt *kan* resultatet fra undersøkelsen vise at man øker sannsynligheten for *isdannelse* ved bruk av boulderbars.

Funnene i undersøkelsen som angår driftsstans relatert til isutfordringer er illustrert i Figur 4-10, Figur 4-11 og Figur 4-12. Det er viktig å påpeke at svarene fra undersøkelsen som angår varighet av driftsstans og antall driftsstans indikerer en viss usikkerhet i både varighet og hyppighet, og er derfor som anslag å regne per inntak. Dette er relatert til et generelt begrenset tilsyn ved de enkelte inntakene (hovedmotivasjon til valg av inntakstype!) og begrenset bruk av kamera eller annen instrumentering. Observasjonene samlet sett er likevel å anta som representative.

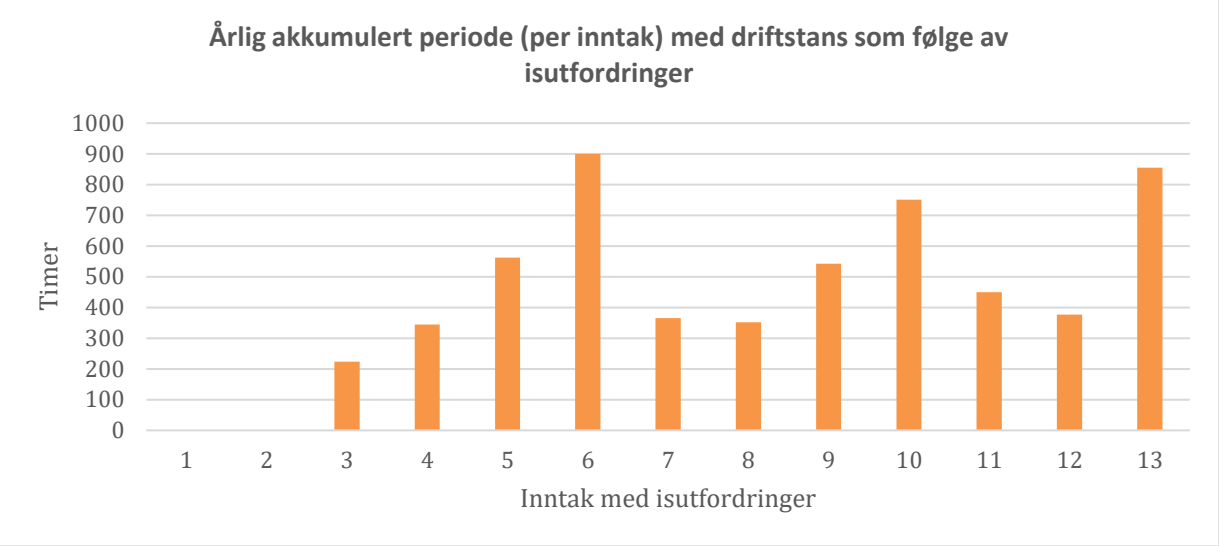
Gjennomsnittlig antall driftsstans for inntakene med isutfordringer er 8,5 per år, mens den gjennomsnittlige varigheten på en driftsstans er 16 timer.



Figur 4-10 Figuren viser hyppigheten av driftsstanser per år som følge av isutfordringer.



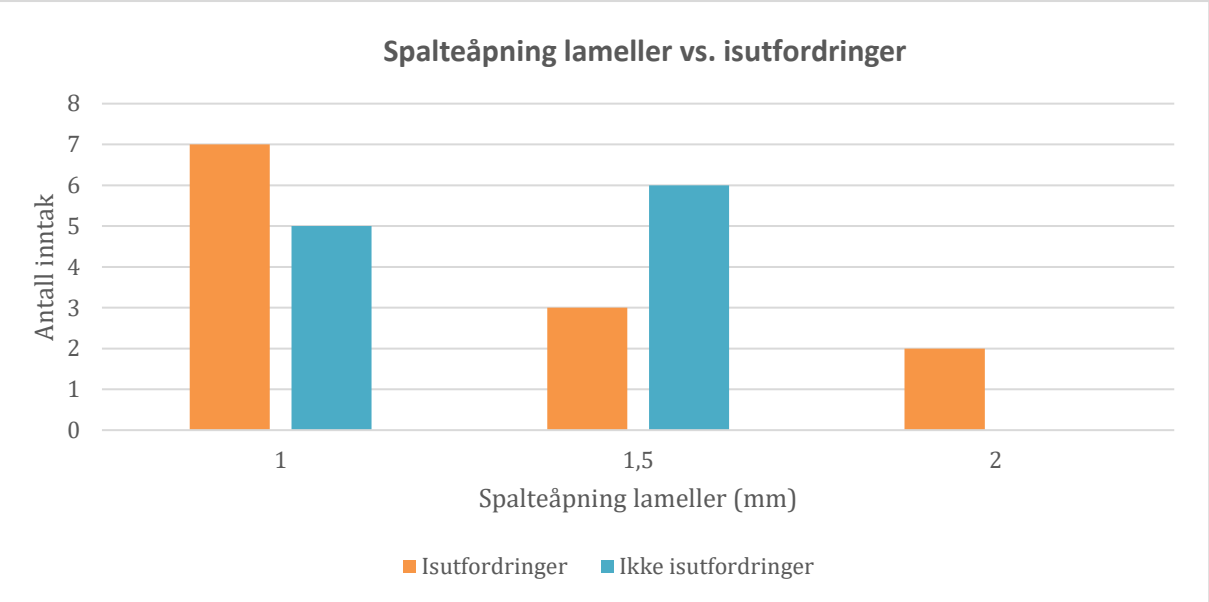
Figur 4-11 Figuren illustrerer varigheten av driftsstans som følge av isutfordringer.



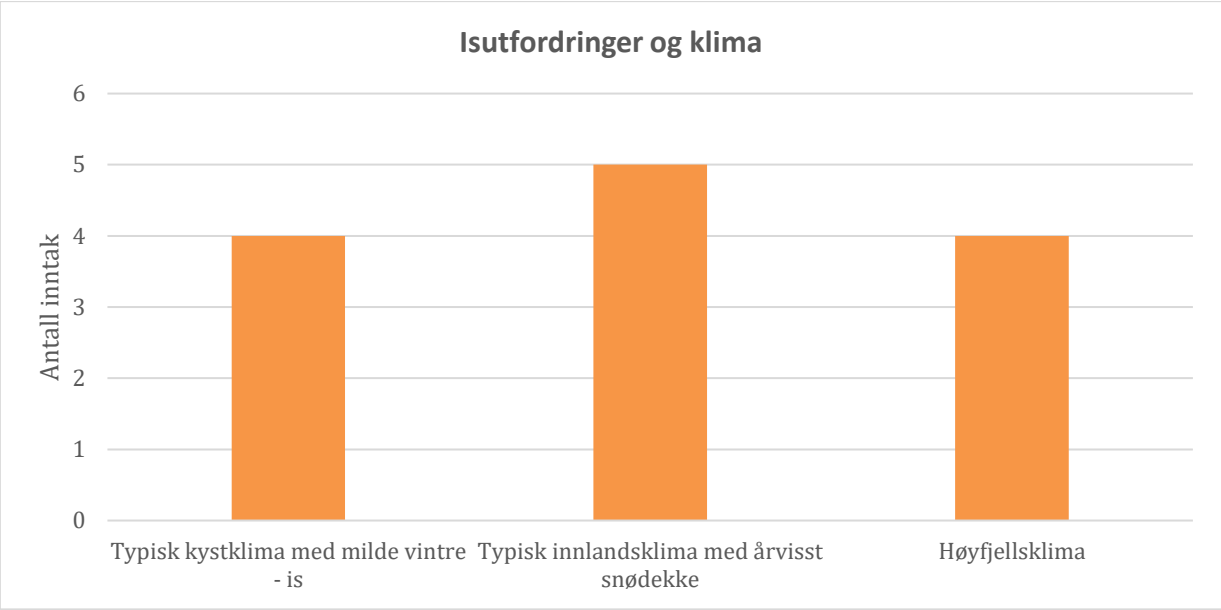
Figur 4-12 Figuren viser fordeling av samlet timer driftsstans per år for inntakene med isutfordringer.

Figur 4-13 viser hyppighet på henholdsvis inntak med og uten isutfordringer gitt av spalteåpning mellom lameller. Det er ingen åpenbare tendenser eller sammenheng mellom spalteåpning og isutfordringer. Selv om det er interessant at de to eneste inntakene i undersøkelsen (blant 30) som er levert med 2 mm spalteåpning begge har isutfordringer, er utvalget for snevert til å trekke konklusjoner.

Slik det fremgår av Figur 4-12 er det et begrenset antall timer driftsstans totalt sett over året per inntak med isutfordringer. Med tanke på at enkelte inntak erfarer opp mot 25 driftsstans er dette like fullt betydelig sett i lys av nødvendig tilstedeværelse av tilsynspersonell og tilhørende kostnader. Dersom anlegget i tillegg er veiløst, vil enhver ekstra utrykning kreve ytterligere innsats og ressurser. At flere av inntakene, allerede etter gjennomsnittlig driftsperiode på 2,2 år innfører tiltak for å unngå driftsstans er paradoksalt når Coanda-inntaket i planleggingsfasen ofte velges for bl.a. driftssikkerhet og lite vedlikehold.



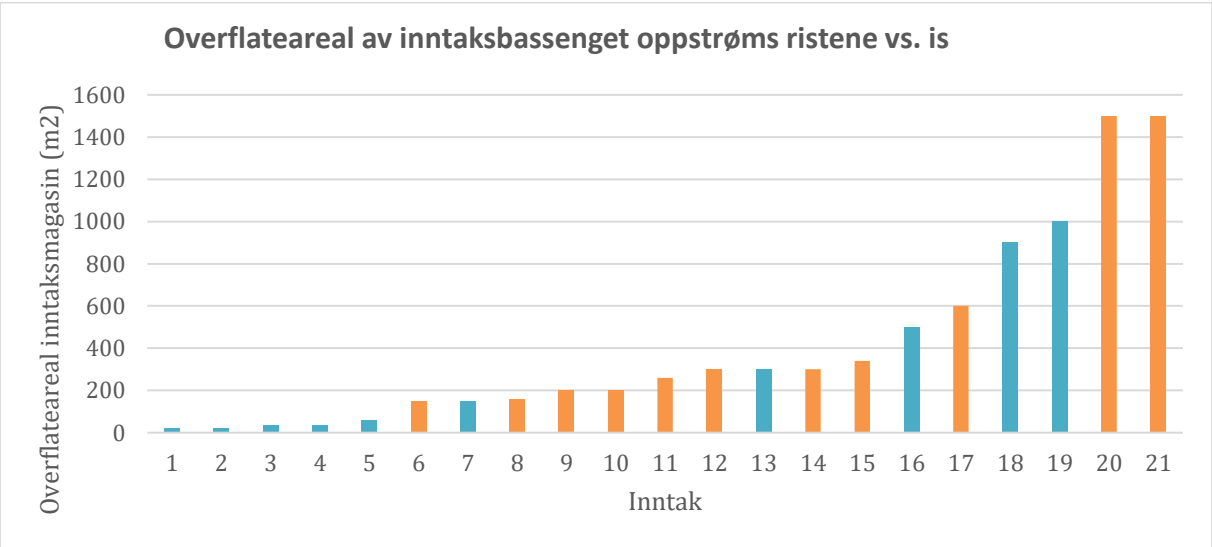
Figur 4-13 Diagrammet viser hyppighet av inntak med og uten isutfordringer basert på de ulike spalteåpninger ristene er levert med.



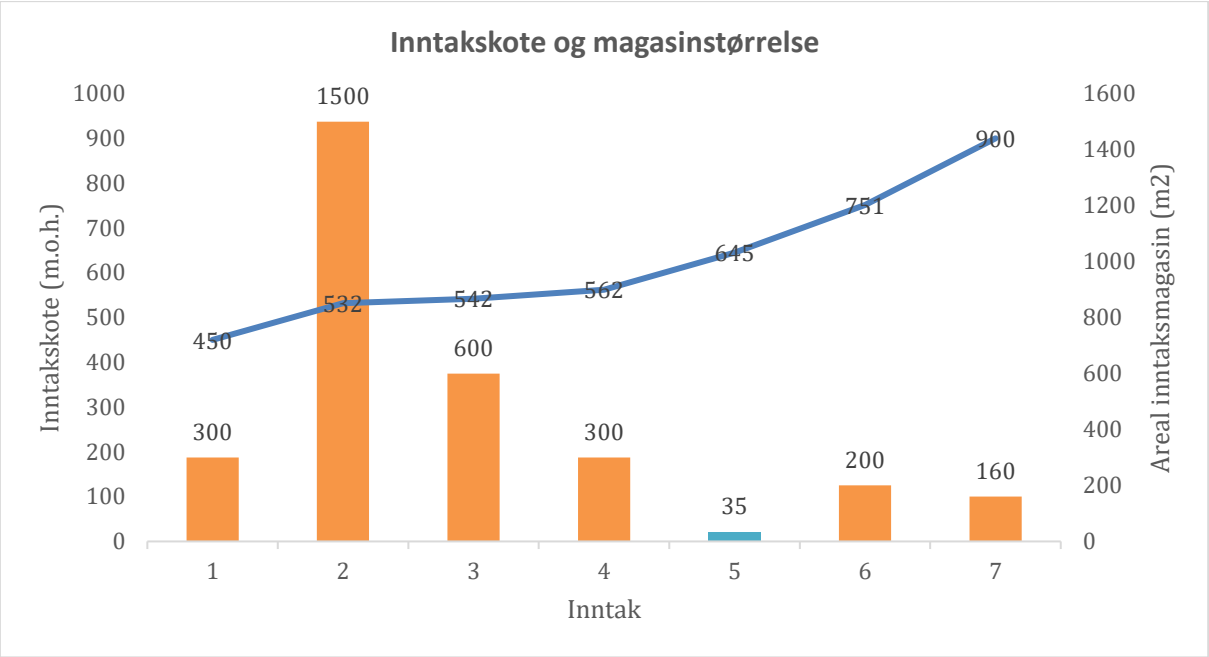
Figur 4-14 Diagrammet viser fordelingen av inntakene med isutfordringer i forhold til vurdert klima på det aktuelle inntak.

En sammenligning av gjennomsnittsverdiene til sikkerhetsfaktoren for ristkapasitet versus slukeevne mellom inntak *med* isutfordringer og inntak *uten* isutfordringer viser at disse er sammenfallende. Undersøkelsen viser altså at eventuell over- eller underkapasitet på rist i forhold til slukeevne på turbin ikke påvirker hvorvidt et anlegg utsettes for isutfordringer eller ikke.

Figur 4-15 viser inntaksmagasinets størrelse og hvorvidt dette kan relateres til isutfordringer. Dersom en forutsetter at areal på inntaksmagasin er korrekt oppgitt fra besvarelsene i undersøkelsen, kan det virke som om de minste inntaksmagasinene erfarer minst utfordringer med is. Det er likevel grunn til å tro (med det snevre antall observasjoner til grunn) at dette snarere kan være en effekt av at samtlige av disse ligger i sonen «typisk kystklima med milde vintre».



Figur 4-15 Stolpediagrammet viser inntakene med erfart vinterdrift stablet etter areal på inntaksmagasinet. Blå stolper er inntak uten isutfordringer mens oransje stolper representerer de med isutfordringer.



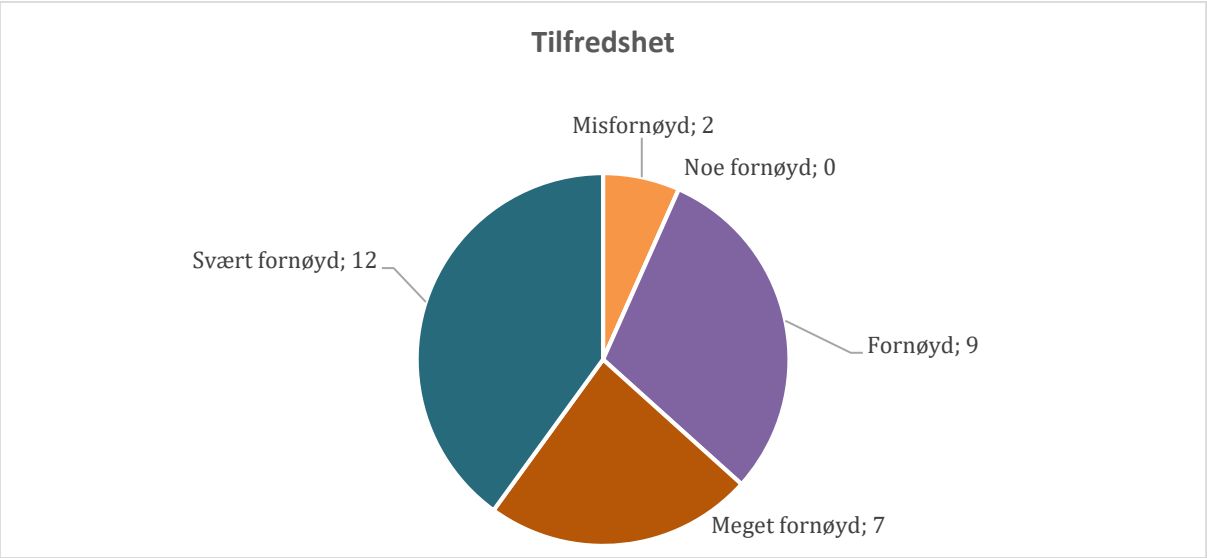
Figur 4-16 Figuren illustrerer vinterinntakene (7 stk) som ligger over median for inntakskotene og deres inntaksstørrelser (m^2) (stablet etter inntakskote gitt ved mørk blå linje). Oransje stolper er inntak med isutfordringer, blå stolper er inntak uten isutfordringer.

En ytterligere sortering av data er gjort i Figur 4-16. I denne figuren er kun inntak med vintererfaring og av dem igjen kun de over median inntakskote presentert. Seks av syv inntak har isutfordringer på denne høyden. Det klart minste inntaket (regnet i areal av inntaksmagasinet) av disse igjen, har ikke erfart isutfordringer – hvilket kan virke noe påfallende. Denne observasjonen blir riktignok stående som en enkeltobservasjon og gir derfor ingen trend.

4.4 Eiernes totalinntrykk av Coanda-inntak etter erfaringer

Respondentene i undersøkelsen er generelt svært tilfredse med inntaket. For en tilbakemelding på den generelle tilfredsheten med inntaket har undersøkelsen bedt om en gradering på 5 svaralternativ: «Misfornøyd», «Noe fornøyd», «Fornøyd», «Meget fornøyd» og «Svært fornøyd».

Fordelingen av svarene sees i Figur 4-17.



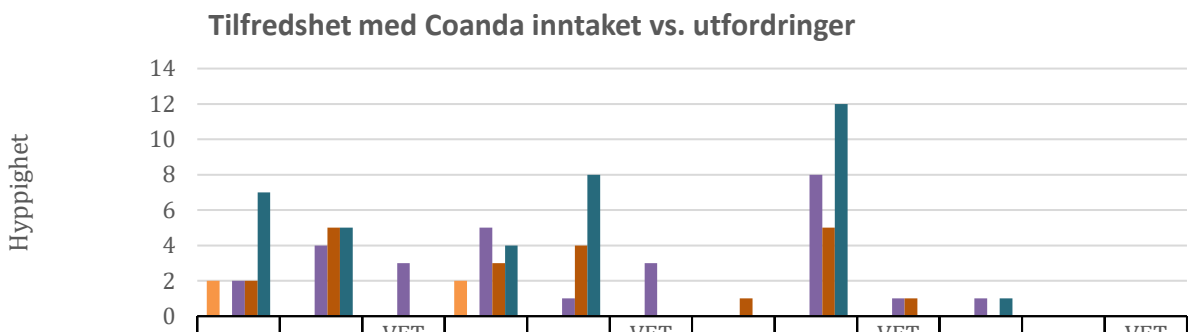
Figur 4-17 Figuren gjengir tilfredsheten for inntaket fra undersøkelsen (oppsummert inntrykk).

Svaralternativene er her vektet i retning av positive svar; 4 av 5 svaralternativ er grader av fornøyd, mens ett er negativt – hvilket i prinsipp styrer svaralternativene i ytterligere positiv retning og er en svakhet ved denne delen av spørreundersøkelsen. Allikevel svarer godt over halvdelen at de er *meget* eller *svært* fornøyde. Bare to er misfornøyde med valget.

Figur 4-18 illustrerer sammenhengen mellom besvarelsene og de faktiske utfordringer hver av disse gruppene representerer. 12 av respondentene er «Svært fornøyd» med inntaket sitt. Av disse opplever 7 utfordringer med algetilvekst og 4 av dem har utfordringer med is. Tilsvarende har gruppen på 7 respondenter som er «Meget Fornøyd» 2 som har algevekst, 3 som har isutfordringer og 1 som har sedimentsutfordringer. De to som er misfornøyd har både algevekst og isutfordringer.

Det mest overraskende funnet i denne sammenheng er kanskje nettopp det at i gruppen «Svært fornøyd» på 12 respondenter har 4 respondenter isutfordringer som fører til driftsstans. Det er også blant disse 4 inntakene man har den største hyppigheten av isutfordringer som leder til driftsstans (20 i året). Respondentenes tidligere erfaringer og potensielt sammenligningsgrunnlag mot andre typer inntak er ikke kjent.

Et annet funn fra undersøkelsen som er viktig å få frem er at hele 26 av 29 respondenter svarer «ja» på hvorvidt man ville valgt tilsvarende rist igjen dersom vedkommende hadde tilegnet seg den erfaringen han sitter på i dag. Dette inkluderer 4 respondenter med ferdigstilling i 2019 rett før undersøkelsen som har kun få ukers erfaring, men også de 5 første utbyggerne fra 2011 og fram til 2016. Tilsvarende svarer 3 av 29 «nei» til hvorvidt de ville valgt samme type inntak igjen dersom de hadde den kunnskapen på planleggingstidspunkt som de har tilegnet seg i dag.



	Alger			Is			Sedimenter			Vanntap		
	JA	NEI	VET IKKE	JA	NEI	VET IKKE	JA	NEI	VET IKKE	JA	NEI	VET IKKE
Misfornøyd	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0		
Noe fornøyd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Fornøyd	2	4	3	5	1	3	0	8	1	1		
Meget fornøyd	2	5	0	3	4	0	1	5	1	0		
Svært fornøyd	7	5	0	4	8	0	0	12	0	1		

Figur 4-18 Diagrammet viser sammenheng mellom grad av tilfredshet og utfordringene Alger, Is, Sedimenter og Vanntap. Kolonner med svaralternativ for «Vanntap» er ufullstendig da spørreundersøkelsen ikke stilte spesifikt spørsmål rundt dette – dette fremkom derimot av kommentarer fra respondentene.

5 Coanda-inntak i Norge og relaterte kostnader

5.1 Generelt

For å kunne sammenlikne og vurdere Coanda-inntak mot tradisjonelle eller andre typer inntak, er sammenlikning av investeringskostnader relevant. Eventuell påvirkning av produksjonsbegrensninger eller driftsstans med tilhørende arbeidstimer fra driftspersonell er også relevant i en slik sammenlikning. Utgiftene knyttet til drift er vanskelige å estimere, og varierer sterkt både imellom Coanda-inntak og imellom tradisjonelle inntak.

Erfaringene presentert tidligere i rapporten viser tendenser innen spesielt isdannelse og algevekst. Ettersom det ikke er identifisert tilsvarende undersøkelser fra tradisjonelle eller andre inntak utført i småkraftstørrelsen, mangler et reelt sammenligningsgrunnlag.

I denne rapporten og fra brukerundersøkelsen er det valgt å se eksklusivt på investeringskostnader ved Coanda-inntaket. Kostnader til drift og vedlikehold kan ikke estimeres på et sikkert sammenlikningsgrunnlag og gir derfor begrenset verdi.

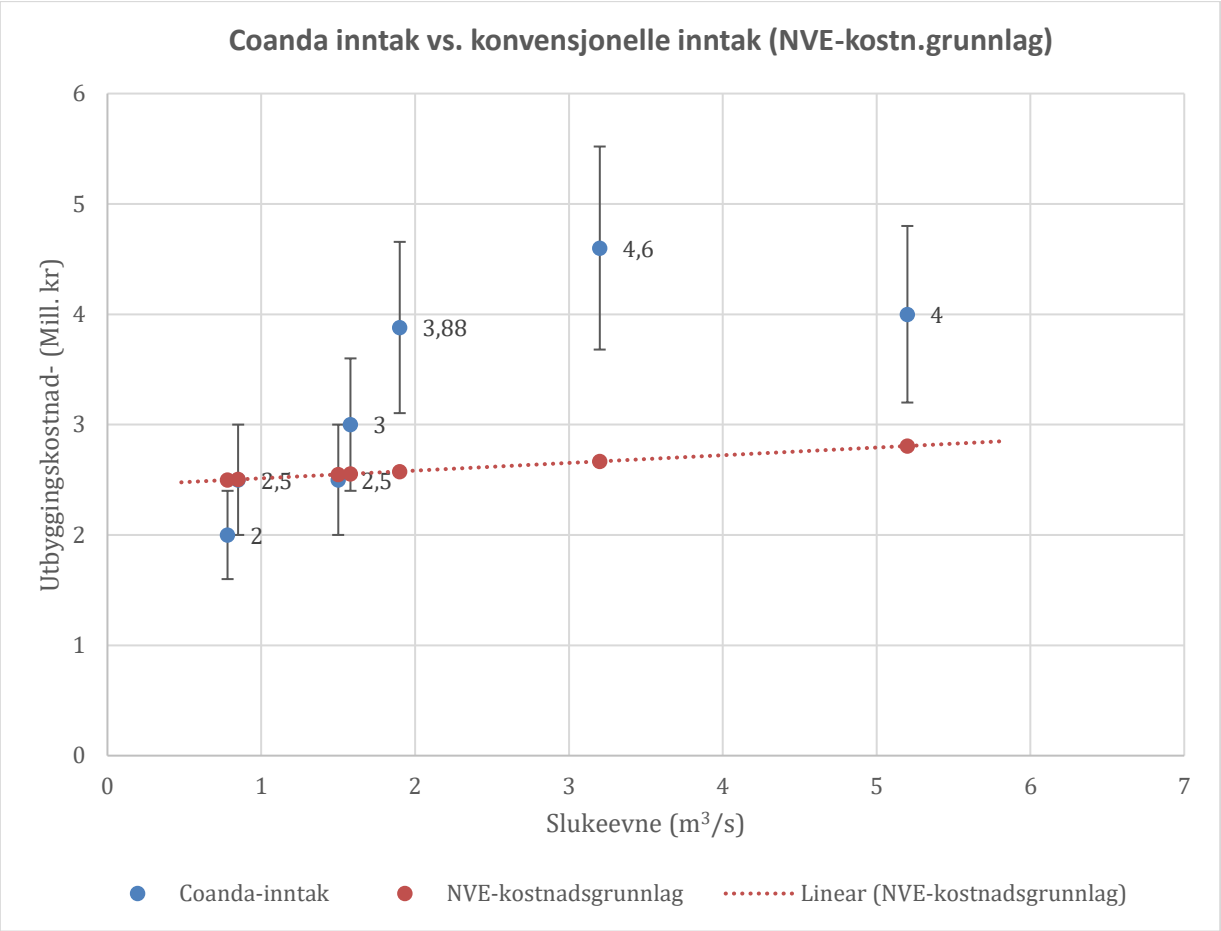
For en analyse av et potensielt anleggs lønnsomhet, ville også kostnader til vannveier, kraftverk, inntak, annen infrastruktur etc. være relevant å inkludere. Lønnsomhetsbetraktning eller sammenlikninger på anleggsnivå har derimot ikke vært ambisjonen i hverken undersøkelsen eller denne rapporten, da dette krever en langt mer inngående prosess og datainnsamling fra de enkelte eiere. Hvor sensitivt valg av inntak er i kalkylen (versus kraftstasjon og vannvei spesielt) er prosjektspesifikt.

5.2 Investeringskostnad Coanda-inntak

Det er et relativt begrenset utvalg i undersøkelsen som har svart på spørsmål angående innvesteringskostnader relatert til selve inntaket. Kun syv deltakere har besvart dette. Kostnadene presiseres begrenset til dam/terskel, inntaksrister, inntakskammer og lukehus.

I figur 5-1 er disse presentert ved blå punkt. Ettersom det kan tillegges en viss tolkningsforskjell i besvarelsene, er feilmarginen vurdert til pluss/minus 20%. Det er foretatt en enkel sammenligning med investeringskostnader ved konvensjonelle inntak fra NVE's kostnadsgrunnlag fra 2015 angitt med røde punkter. Kostnadsgrunnlaget fra 2015 er simpelt prisjustert etter konsumprisindeksen og dessuten gitt et rigg- og driftspåslag på 30%. Det er dessuten medregnet varegrind og glideluke – også hentet fra kostnadsgrunnlaget til NVE.

Ettersom utvalget i undersøkelsen er snevert og øvrige tall har en viss usikkerhet knyttet til seg, dras det ingen konkusjoner. Det er likevel interessant å se at ved en viss størrelse på inntaket, gitt ved økende slukeevne, er flere av Coanda-inntakene tilsynelatende betydelig mer kostbare enn estimatene til kostnadsgrunnlaget på tradisjonelle inntak.



Figur 5-1 Investeringskostnader ved Coanda-inntak(blått) sammenliknet mot konvensjonelle inntak (rødt). Vertikale streker gir antatt feilmargin.

6 Driftserfaringer ved Coanda-inntak i Storbritannia

Bakgrunn for utbredelse av Coanda-inntak i Storbritannia

Etter innførselen av nytt tariffsystem med hensikt å promotere små kraftverk fra fornybare kilder i Storbritannia i 2010, ble bygging av småkraft intensivert, særlig i Skottland der vannkraftpotensialet er størst.

Veksten i antallet småkraftverk, typisk opp til 5 MW installert effekt, ble fulgt av standardisert praksis i design og installasjon. Her ble Coanda-inntak ofte valgt som foretrukket løsning på grunn av en utbredt forståelse av fordelene med dette, herunder enkelt design og installasjon, lettere krav til vedlikehold og miljøhensyn med tanke på fisk.

Generell observasjon

Multiconsults ingeniør, med blant annet erfaring fra planlegging og installering av småkraft med Coanda-inntak i den overnevnte epoken i Storbritannia, ser en sammenheng mellom mange av prosjektenes karakteristika og relevansen av Coanda-inntak; nemlig at de fleste småkraftprosjekter ble installert i bekker med liten vannføring og høyt fall. Det betyr både at inntaket kunne utnyttes i rimelig dimensjonerte inntaksdammer samt at det høydetapet som Coanda-inntak medfører er relativt lite i forhold til den totale fallhøyden. De største observerte ulempene med Coanda-løsningen er redusert fallhøyde sammenliknet med andre inntaksløsninger samt den begrensede kapasiteten per lengdemeter overløp.

Tilpasning og ettermontering på eksisterende inntak

I Storbritannia er Coanda-rister blitt installert på en rekke eksisterende inntak til kraftverk med hensikt å forbedre kraftproduksjonen og/eller generell drift og vedlikehold. Coanda-inntaket er oppfattet som særlig egnet for å forbedre design, men også for å være tilpasset endringer i miljølovverket.

Som følge av reduksjon i fallhøyden har ikke løsningen vært aktuell for tilpasning av kraftverk med lavere fallhøyde eller for større volumer vann over smalere inntak. Gode eksempler på ettermontering av Coanda-inntak fra Lodore Falls (England), Iwrch (Wales) og Samina (Østerike) er presentert av Palmer (2004) [10].

Miljøhensyn og regelverk

Utbredelsen av Coanda-løsningen ble i Storbritannia støttet av myndighetene i anerkjennelsen av fordelene i forbindelse med nedstrøms fiskevandring og av hensynet til blant annet smolt [13]. I fiskeførende elver med vandrende fiskepopulasjoner er det i flere tilfeller blitt satt så strenge krav til lysåpning i inntaksrist at konvensjonelle inntak har måttet velges bort. Turnpenny og O'Keeffe (2005) har beskrevet fordelene med Coanda-inntak [14]. The skotske miljødirektorat (Scottish Environment Protection Agency (SEPA)) skriver at *"Coanda-rister bør brukes når stedlige forhold tillater. Nedfalls skjermer kan også brukes der Coanda er uegnet eller umulig. Ved bruk av Coanda, må vannføringen være tilstrekkelig til å holde hele risten våt og sikre at løv, greiner samt fiske føres sikkert over risten. Risten må likeså være tilstrekkelig vinklet fra horisontalt nivå for å hindre opphopning av greiner og løv samt stranding av fisk på skjermen.»* [11]

Leverandører

Det finnes et fåtall leverandører av coanda-rister i Storbritannia. En av de større leverandører er Dulas, som har utviklet og standardisert Coanda-rister under navnet Aquashear [3]. Høyden på disse varierer fra 45 cm opp til 190 cm og kan installeres enkeltvis eller flere samlet avhengig av bredde. Med en lysåpning på 1 mm, er maksimum inntakskapasitet 140 l/s per breddemeter.

Dulas har selv tilbake i 2001 studert og testet effekt, miljøforhold samt kost-nytte av Aquashear Coanda-skjermene i publikasjonen «*Coanda hydro intake screen testing and evaluation»* fra Harwell Laboratory, Energy Technology Support Unit [4]

Vedlikehold

Redusert behov for vedlikehold nevnes hyppig som en av fordelene, men dette avhenger av flere forhold. Vanlige vedlikeholdsaktiviteter for coanda-rister omfatter tidvis børsting. Særlig på høsten økes behovet, spesielt hvis det er mye vegetasjon i nedbørsfeltet, ettersom blader og annet nedfall samles ved inntaket.

En egen løsning for vask/rens av inntaksristen er utviklet og lansert i 2018. Den består av en fastmontert børste som automatisk føres bortover risten. Det har vært en gjentakende utfordring at flere Coanda-inntak tettes «kontinuerlig» og kraftselskap har sett seg nødt til å investere i automatisk renskeutstyr. Denne løsningen kan blant annet sees på *Rumbling Bridge Community Hydro Scheme* samt på flere små anlegg både i Canada og Storbritannia og er beskrevet i [15] og [16].

Det er visse variasjoner i blant annet klima og lokale nedbørsfelt fra anleggene i Canada og Skottland til norske småkraftverk. Men det er også mange likheter. De to småkraftverkene i Hallingdalen, Nybuelvi og Tverråni, har for eksempel opplevet omfattende utfordringer med alger med driftsstanser og produksjonstap etter tre år i drift.

Erfaringer fra en operatørs perspektiv

SIMEC Green Highland Renewables er utvikler og operatør av småskala vannkraftverk i Skottland med en portefølje på 41 prosjekter. Av de 41 vannkraftprosjektene er 39 i elveløp uten oppdemming, og 31 av dem har Coanda-inntak. Colin Gilmour, prosjektleder i SIMEC Green Highland Renewables, ble kontaktet som en del av denne studien for å si sin mening om bruken av Coanda-skjermer. Han tar opp følgende betraktninger om installasjonen:

- «Valget av Coanda-rister er ofte drevet av krav fra Scottish Environment Protection Agency (SEPA) for å beskytte fisken i vassdragene. Det er et standardisert produkt, og derfor er designet ikke stedspesifikt. De er relativt enkle å installere forutsatt at betongstrukturen er bygget med akseptable toleranser og med gode forskalingsfester.»

Når det gjelder driften ba vi Colin om å si sin mening og å belyse problemene han møter:

- «Coanda-skjermene er IKKE selvrensende. Vi har problemer med algevekst på skjermoverflaten samt at vannbårne alger blir avsatt på skjermen i sommerhalvåret. Dette krever regelmessig rengjøring, det vil si daglig på noen tider av året. Annet finstoff som plankton vil også feste seg til ristoverflaten, spesielt i lavlandet og når nedbørsfeltet har mye skog. Noen typer dødt gress og blader vil også legge seg på skjermen.»
- «En annet fenomen vi har opplevd på noen anlegg er såkalt «skihopping». Dette er et hydraulisk problem som bare opptrer ved høyere vannføringer og som består i at Coanda-effekten ikke virker, slik at vannet skyter utover skjermoverflaten og vi mister vannet. Vi har delvis ordnet dette ved å bore hull i endeveggene til skjermunderstrukturen for å prøve å utjevne lufttrykket. Men det er fortsatt mer arbeid å gjøre på dette for noen av anleggene våre».
- «Hvis vi kunne ha overbevist myndighetene (SEPA) om at det ikke er noe fisk i vassdragene, ville vi ha installert mindre Coanda og mer av de andre typene inntaksskjermer».

Og til slutt, med hensyn til ekstreme værforhold:

- "Coanda-skjermer akkumulerer is om vinteren, og det kreves jevnlige besøk for å bryte isen og rense skjermen. Noen har montert «boulder bars» på oversiden for å styrke skjermen, men vi

anbefaler ikke denne løsningen, fordi de forårsaker vanskeligheter med den nødvendige rengjøring av skjermene.»

Figur 6-1 Småkraftverk med Coanda-inntak i Skottland (foto med tillatelse av SIMEC Green Highland Renewables).

7 Diskusjon og øvrige observasjoner

Rapportens og undersøkelsens tema er sammensatt og inneholder en rekke naturlige, menneskelige, tekniske og økonomiske forutsetninger. Det gir en naturlig usikkerhet i det bildet som konstrueres gjennom evaluering og analyse av tilbakemeldingene i en spørreundersøkelse.

Mange av svarene har gitt et strukturert bilde av aktuelle utfordringer, og det har i noen grad vært mulig å identifisere årsaker og sammenhenger med en viss sikkerhet. Datagrunnlaget består av tilbakemeldinger fra anlegg med relativt kort driftstid og dette begrenser erfaringsgrunnlaget.

Undersøkelsen og derav rapporten har fokus på utfordringer rundt drift og vedlikehold. En del temaer som er relevant for valget av inntak, herunder effekt på ferskvannsøkologi og blant annet fiskevandring, har ikke vært mulige å evaluere ut ifra datagrunnlaget. Det samme gjelder vann- og produksjonstap. Slik grunnlagsdata og informasjon tilegnes trolig ikke best eller med tilstrekkelig detaljgrad ved menneskelig observasjon. Andre metoder må derfor benyttes for eventuelt å utvide grunnlaget for vurdering av Coanda-inntak, og evt. sammenlikninger, innen alle relevante parametere. Menneskelige observasjoner er subjektive og i stor grad relatert til egne erfaringer – enten denne er bred eller snever. Samtidig skal en ikke undervurdere betydningen av ekstern påvirkning fra eksempelvis leverandørers superlativer rundt eget produkt.

7.1 Coanda-inntak og utvikling?

Samtlige av ristene i undersøkelsen er av samme produsent og leverandør. Noen aspekter ved denne type rist er patentert i USA under handelsmerket «Aqua Shear». Ristene er laget av rustfritt stål. Det finnes andre leverandører av denne type rister, men disse er ikke benyttet i Norge for konsesjonsgitte småkraftverk så vidt vi kjenner til. Variasjonene på representerte rister går dermed ikke på produsent, men snarere på typeløsning, spalteåpning, antall lengdemeter rister, fall over rist, kapasitet over risten og bruk av såkalte «boulder bars». Det bemerkes at bygningsmessige installasjoner for inntaksdam for øvrig har en rekke ulike arrangementer, størrelser samt løsninger for minstevannføring.

Ut ifra tema for studentoppgaver og øvrig produsert dokumentasjon rundt inntak i norske småkraftverk de siste ti årene, har utvikling av inntak for småkraftverk hatt et stort fokus på Coanda-inntak. Det kan være ønskelig for bransjen å overveie utgangspunktet for utvikling av inntak generelt, samt være oppmerksom på behovet for utvikling gjennom hvilke utfordringer som kan løses gjennom denne utviklingen. Her kan grunnlaget forbedres.

7.2 Motivasjon for bruk av Coanda-inntak

Fra Skottland har myndighetene lagt føringer som har favorisert valg av Coanda-inntak, også i vassdrag der kriteriene ikke bør ha vært utslagsgivende. Teknologien er generelt oppfattet som vedlikeholdsfri og miljøvennlig; noe som i begge tilfeller betinger en rekke forhold.

Undersøkelsen viser at det klare flertall av respondentenes motivasjon for bruk av Coanda-inntak relateres til forventningen om et selvrensende og problemfritt inntak med minimalt av vedlikehold. Dette begrunnes blant annet i den begrensede tilgjengeligheten (veiløst for noen) og at anlegget kan være nedsnødd vinterstid. Med unntak av at inntaket fungerer meget bra hva angår normal kvist og løv, er det ikke anledning til å konkludere med at Coanda-inntak medfører lite vedlikehold, i takt med forventningene til respondentene i undersøkelsen.

Selv om observasjonstiden generelt er kort (man kan eksempelvis ikke si noe om levetid), og eierne har hatt et begrenset tilsyn til inntakene sine over året (som nettopp var hovedmotivasjonen for inntakstypen), er det likevel rapportert om et antall utfordringer.

Det er grunn til å tro at graden av tilsyn varierer stort mellom eierne, og derfor også observasjoner og opplevelser av utfordringer. Både på grunn av den korte observasjonstiden og antall tilsyn og manglende monitorering, kan man fastslå at antallet hendelser er underrepresentert.

To respondenter melder at løsningen er bra for fisken og to respondenter svarer at dette er bra for miljøet generelt. Her bemerkes at 24 av 30 inntak ikke har vannspeil direkte nedenfor samlekanal og at dette hverken er visuelt positivt eller til fordel for fisk eller akvatisk miljø. Å tørrlegge en del av strekningen nedstrøms inntaket er uheldig av flere hensyn. Det visuelle aspektet med tørrlagt elvestrekning er i seg selv ikke naturlig og fremhever dessuten det menneskelige inngrep. Elven og elvekantens vegetasjon og biologisk mangfold vil også sterkt berøres. Vannspeil er mulig å få til for de fleste inntak – at dette handler vel så mye om kostnader, velvilje og miljøperspektiv. Den manglende standardisering av arrangement for oppvandring av fisk kan skyldes det faktum at andelen coanda-inntak i Norge (og utenlands) som krever reelle fiskehensyn eller fiskerelaterte konsesjonskrav er overraskende liten.

Fra kostnadsgrunnlaget til NVE (inntakskonstruksjoner) omtales Coanda-inntaket blant annet som kostnadsbesparende. To respondenter mener det gir en ekstra sikkerhet for turbin.

At man må velge Coanda-inntak for å hindre tetninger i turbinens spalter/dyser kan virke tvilsomt. Dette er snarere å vurdere som en bonus etter allerede valgt beslutning om Coanda-inntak. Fra et par av anleggene i Norge samt flere av anleggene i Skottland, opplever man utfordringer rundt luftinnslipp ved visse vannføringer. Her kan det ligge produkt- eller konseptforbedringer som lar seg overkomme, men flere faktorer tilsier at kontrollen på inngående vann kan være begrenset. Uten betydelig instrumentering er det vanskelig for operatøren til enhver tid å vite om han faktisk mister vann på et tidspunkt det ikke skal være «overskuddsvann» og dermed tap av produksjon og inntekter. En sammenlikning til denne tenkte instrumentering på coanda-inntak vil for tradisjonelle dykkede varegrinder av en viss størrelse være behovet for å måle trykktapet over varegrinda som følge av tilstopping. Man får da signal til operatør med hensikt om at rensning av grind må foretas. En slik instrumentering med formål av måling av eventuelt overskuddsvann ved coanda-inntak vil selvsagt være i konflikt med prinsippet om et enkelt og nær sagt instrumentløst inntak. Dette behovet understøttes også noe av funnene som angår ristkapasitet og sikkerhetsfaktor (og dessuten slitasje på lamellene som begrenser kapasiteten) i forhold til slukeevne. Det er likevel viktig å påpeke at vi ikke sitter med tester eller erfaringer som underbygger denne bekymring.

Erfart levetid for ristene er ikke belyst som følge av begrenset driftsstid på de relevante anleggene. I tradisjonell vannkraftssammenheng bygges som regel vannvei for å holde mange tiår før utskifting. Robusthet og sikkerhet i materialtykkelser reflekterer denne tankegangen. Det er interessant å sammenlikne vedlikeholdsmanualen fra coanda-produsenten som proklamerer at det «generelt tar fra 10 til 15 år før kapasiteten gjennom risten reduseres til under garantert kapasitet» [3](slitasje på lamellene gir dårligere kapasitet ifølge produsenten) til våre funn på sikkerhetsfaktor med referanse til Figur 3-12. Med tanke på at gjennomsnittlig sikkerhetsfaktor ligger på 1,08 hva angår overkapasitet i ristene, - betyr dette i praksis at majoriteten av coanda-inntakene i undersøkelsen vil oppleve et kapasitetsproblem etter 10 – 15 års drift (noen før og noen etter)? Dette er avhengig av slitestoffer i vannet, samt fjerning av is og annet eventuelt vedlikehold (børsting av alger) som er stedsspesifikt.

Likeså vil de spinkle lamellene skulle utsettes for storflom med tilhørende stein og trær av ulik størrelse. Manuell fjerning av fastfrossen is på vinterstid må også utgjøre en påkjenning på konstruksjonen. Sannsynligheten for skader og nødvendig utskifting vurderes høyere enn for tradisjonelle inntak med varegrinder av normalt mer robust utforming.

7.3 Sammenlikning med konvensjonelle inntak for småkraft

For beslutningstakere og planleggere av inntaksløsninger er det ikke tilstrekkelig å analysere Coanda-inntak isolert sett. For småkraftverk eksisterer en rekke andre mer eller mindre konvensjonelle inntaksløsninger å vurdere. Noen arrangement er mer vellykkede enn andre. Noen krever mye tilsyn mens andre nesten ikke krever tilsyn i det hele tatt, helt avhengig av aktuelle utfordringer til anlegget.

Det er ikke identifisert gode undersøkelser av driftserfaringer med tilsyn, driftsstans/pålitelighet eller produksjonsbegrensninger fra «tradisjonelle» inntak tilsvarende som undersøkelsen som nå er utført for Coanda-inntak. Et slikt underlag vil forsterke grunnlaget for sammenlikning og kriterievalg. Inntakshåndboken til NVE [5] beskriver hydraulisk utforming av inntak og har også vedlagt driftserfaringer fra Mini- og mikrokraftverk. Dette er likevel ikke en type underlag som direkte er ment for å sammenligne omfanget av de ulike utfordringer ved inntakene til småkraftverk.

Derimot finnes et samlet arbeid hva angår kostnader for tradisjonelle inntak og småkraftverk gjennom NVE sitt kostnadsgrunnlag [11]. Kostnadsgrunnlaget for de tradisjonelle inntakene kan være nyttig for å kunne sammenligne og vurdere et eventuelt tilbud på en «Coanda-dam». Et slikt kostnadsgrunnlag må jo likefullt behandles som et estimat – hvor betydelig usikkerhet ofte vil ligge til grunn. Verdien og vurderingen av inntaket henger naturligvis også nettopp på utgifter knyttet til det som skjer etter innvesteringen; Eventuelle produksjonstap, vedlikehold, tilsynsbehov og driftsstans ved inntaket for dets levetid.

Et inntak vil alltid kreve prosjektspesifikk tilpasning til klima, tilgjengelighet, miljøhensyn, stedlige masser, sedimenter, borehull/rørgate, driftssikkerhet og/eller eierens egne preferanser og ressurstilgang.

7.4 Anbefalte temaer til videre undersøkelser av erfaringer og virkning av Coanda-inntak

I forbindelse med utarbeidelsen av rapporten er det identifisert en rekke temaer som med fordel kan belyses for å forbedre grunnlaget for å kunne forutsi fordeler og ulemper med ulike typer inntak underlagt ulike forhold og forutsetninger. Disse tema er listet opp her som forslag til supplerende studier:

- Kvantifisering av vanntap (produksjonstap) fra Coanda-inntak ved ulike vannføringer
- Utfordringer og årsaker til luftinnsug
- Virkning av Coanda-inntak (og supplerende løsninger) på fiskevandring
- Sikkerhetsfaktor for ristkapasitet. Hvilke kriterier ligger til grunn fra leverandøren? Under hvilke forhold?
- Årsaker til isdannelse i samlekanal og reguleringskammer - Instrumentering og overvåking
- Potensielle deformasjoner på inntaksrist som følge av isdannelse
- Skille mellom komplett nytt inntak versus tilpassing av eksisterende anlegg
- Kost-nytte analyse som også tar for seg produksjonsinntekter og vedlikeholdskostnader - LCC.
- Minstevannføringsarrangementer i forbindelse med Coanda-inntak og økologisk tilpasning.
- Hvor reelt er kravet til svært små spalteåpninger i rist som Coanda-inntakene representerer med tanke på turbindrift for turbiner i størrelsen 1 til 10 MW?
- Levetidsbetraktninger (videre arbeid) for rist
    - Slitasje sedimenter og annet

    - Hyppighet på utskiftinger
    - Deformasjoner som følge av is og flom
    - Korrosjon
    - Byggekvalitet på rister
    - Enkelt å skifte ut?
- Internasjonale erfaringer i form av utdypende intervjus eller spørreskjemaundersøkelser

8 Konklusjon

Det finnes en rekke ulike Coanda arrangementer for småkraftverk. Felles for alle konsesjonsgitte småkraftverk (1 – 10 MW) i Norge er at de alle har installert rister fra samme produsent. Følgelig ser vi at ristløsninger og samlekanal er relativt standardisert i utforming. Når det kommer til minstevannføring, vannspeil nedstrøms og utforming/plassering av reguleringskammer/ventilhus finnes det derimot en rekke varianter. De fleste inntak har ikke vannspeil umiddelbart nedstrøms.

Resultatene av undersøkelsen viser at en anselig andel av Coanda-inntakene har flere spesifikke utfordringer. Særlige utfordringer knytter seg til isdannelse og alger på Coanda-risten. Kvist og løv er derimot uproblematisk ifølge respondentene i undersøkelsen. Et par anlegg har utfordring med luftinnsug og et siste anlegg med sedimenter.

Halvparten av inntakene som har erfaring med vinterdrift har utfordring med is med en eller flere driftsstanser til følge per år. For omtrent halvparten av gruppen med utfordringer vinterstid, er omfanget av en slik art at man har satt inn tiltak. Isproblematikken øker med kaldere lokalklima, her avgjort av høyde over havet samt større avstand til kysten.

12 av 30 inntak har erfart algevekst – men dette er ikke av et slikt omfang at det har ledet til driftssststans – kun temporær produksjonsbegrensning. Det er ikke grunnlag for å konkludere at næringstilførsel fra landbruk eller bygninger i nedbørsfeltet medfører økt algevekst.

På tross av utfordringene nevnt over, er eierne i høy grad tilfredse og ville ikke ha endret inntaksløsning om de var forespeilet en ny utbyggingsmulighet. To respondenter er imidlertid misfornøyde. Disse har omfattende algevekst om sommeren og isutfordringer om vinteren.

Ut fra Coanda-inntakets konstruksjon og prinsipp kan vanntap (produksjonstap) være større enn antatt, enten som følge av delvis tilstopping av rist, slitasje av lameller, luftutfordringer eller hydrodynamiske forhold ved ulike vannføringer. Det er tilsynelatende liten eller ingen instrumentering for registrering av inngående vannmengde(tilsig) korrelert med slukeevne. Heller ingen instrumentering hva angår eventuelt overskuddsvann (vann forbi rist ved dellast på aggregat) er registrert – hverken som testforsøk eller fast del av overvåkningsinstrumentering på ett anlegg. Analogien til tradisjonelle dykkede inntaksrister vil være signal på trykktapet over risten som følge av tilstopping.

Levetid på Coanda-ristene og konsekvenser av slitasje fra manuell is-rensk m.m. er ikke behandlet i rapporten eller undersøkelsen.

I Skottland er erfaringene med Coanda-inntak basert på lengre drift enn i Norge. Konklusjonene fra en operatør av 31 anlegg med Coanda-inntak i Skottland er at Coanda-inntak ikke er selvrensende eller vedlikeholdsfri, og at antallet av Coanda-inntak ville vært redusert dersom valget skulle gjøres om. I Canada har et eget firma sett et marked for automatiserte coanda-renskere. Slike er installert på flere anlegg både i Skottland og Canada, der man har utfordringer med betydelig algevekst og tilstopping.

Is, algevekst og andre potensielle utfordringer kan forsøkes kartlagt i planleggingsfasen, likesom andre parametere kan gi føringer for riktig valg. På bakgrunn av erfaringene som er sammenstillet i denne rapporten, anses Coanda-inntak som et nisje-produkt snarere enn et foretrukket inntak for høytrykks småkraft. For noen eiere vil et potensialt tap av vann ha mindre betydning enn nødvendigheten av å fysisk måtte møte opp for å renske en rist. Mange vil derfor finne at Coanda er et riktig valg av inntak.

Coanda-inntaket kan legge godt til rette for fiskevandring, dersom dette er et aktuelt behov. Det vil da naturlig kreve supplerende løsninger for oppvandring samt, ikke minst, vannspeil direkte oppstrøms og nedstrøms dam.

9 Referanser

[1] Aal E. 2017. Testing av vinterforhold for modifiserte Coandainntak, Masteroppgave v/NTNU 2017

[2] Brødrene Dahl Vasskraft, 2014. Fossekallen - Det miljøvennlege Inntaket, Bergen 2014.

[3] DULAS, 2012. Design, Specification, Installation & Maintenance for Single Coanda Screen Installations (Types B, D and E), Issue B, February 2012 © Dulas Ltd

[4] Howarth, J. 2001. Coanda hydro intake screen testing and evaluation. Harwell Laboratory, Energy Technology Support Unit, United Kingdom, 2001

[5] Jenssen, Lars et al. (2006). Inntakshåndboken. NVEs hustrykkeri.

[6] Nøvik, H. og Lia, L. 2015. Erfaringer Coanda-inntak i Norge per 2015, Multiconsult, 128376-RiVass-RAP-01, Oppdragsgiver; NTNU/NVE (ikke publisert)

[7] Nøvik, H., Opaker, H. og Lia, L. 2014, Performance of a Coanda-Effect Intake Screen in a Cold Climate, In review: Journal of Cold Regions Engineering. ASCE

[8] Nøvik, H. 2014. Intake hydraulics for small hydropower plants, Doctoral thesis, Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Water and Environmental Engineering, Trondheim, April 2014

[9] Opaker, H. 2012. Funksjon til Coandainntaksrister – Erfaring fra Dyrkorn kraftverk, Masteroppgave v/NTNU 2012

[10] Palmer, M. 2004. The Coanda effect - Retrofitting Coanda screens to hydro power scheme intakes, Water, Power & Dam Construction 2004. https://www.waterpowermagazine.com/features/featurethe-coanda-effect/

[11] SEPA 2015. Guidance for developers of run-of-river hydropower schemes, Version 2.3, November 2015. https://www.sepa.org.uk/media/383805/guidance_for_developers_of_run_of_river_hydropower_schemes.pdf

[12] Stensby, K. E. 2016. Kostnadsgrunnlag for små vannkraftanlegg 40/2016

[13] Turnpenny and Horsfield 2014. International Fish Screening Techniques, Turnpenny Horsfield Associates, UK 2014.

[14] Turnpenny and O'Keeffe, 2005. Screening for Intake and Outfalls: a best practice guide, Environment Agency Science Report SC030231, February 2005 https://www.therrc.co.uk/MOT/References/EA_Screening_Intake_Outfalls.pdf

[15] Wallace, H. 2018. Glendevon Energy – The Automated Coanda Screen Cleaner P. Zell (SSES), presentation for British Hydropower Association, 2018 http://www.british-hydro.org/wp-content/uploads/2018/11/7.3-Zell-P.pdf

[16] Wallace, H. 2019. Glendevon Energy - SSES Coanda Screen Cleaner, presentation for British Hydropower Association, 2019 http://www.british-hydro.org/wp-content/uploads/2019/11/6.4-Hugh-Wallace.pdf

[17] Wahl, T. 2003. Design Guidance for Coanda-Effect Screen, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver Colorado 2003.

[18] Wahl, T. L. 2013. New Testing of Coanda-Effect Screen Capacities. Paper prepared for poster presentation at HydroVision International 2013, July 23-26, 2013 -- Denver, CO. https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/hydraulics_lab/pubs/PAP/PAP-1097.pdf

[19] Wahl, T. L. 2017. Improving Coanda-Effect Screen Technology Research and Development Office, Science and Technology Program, Final Report ST-2017-6295-01, Hydraulic Laboratory Report HL-2017-08, https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/hydraulics_lab/pubs/HL/HL-2017-08.pdf

Figurreferanser

[20] Figur hentet fra http://www.formula1-dictionary.net/

[21] Foto fra NVE

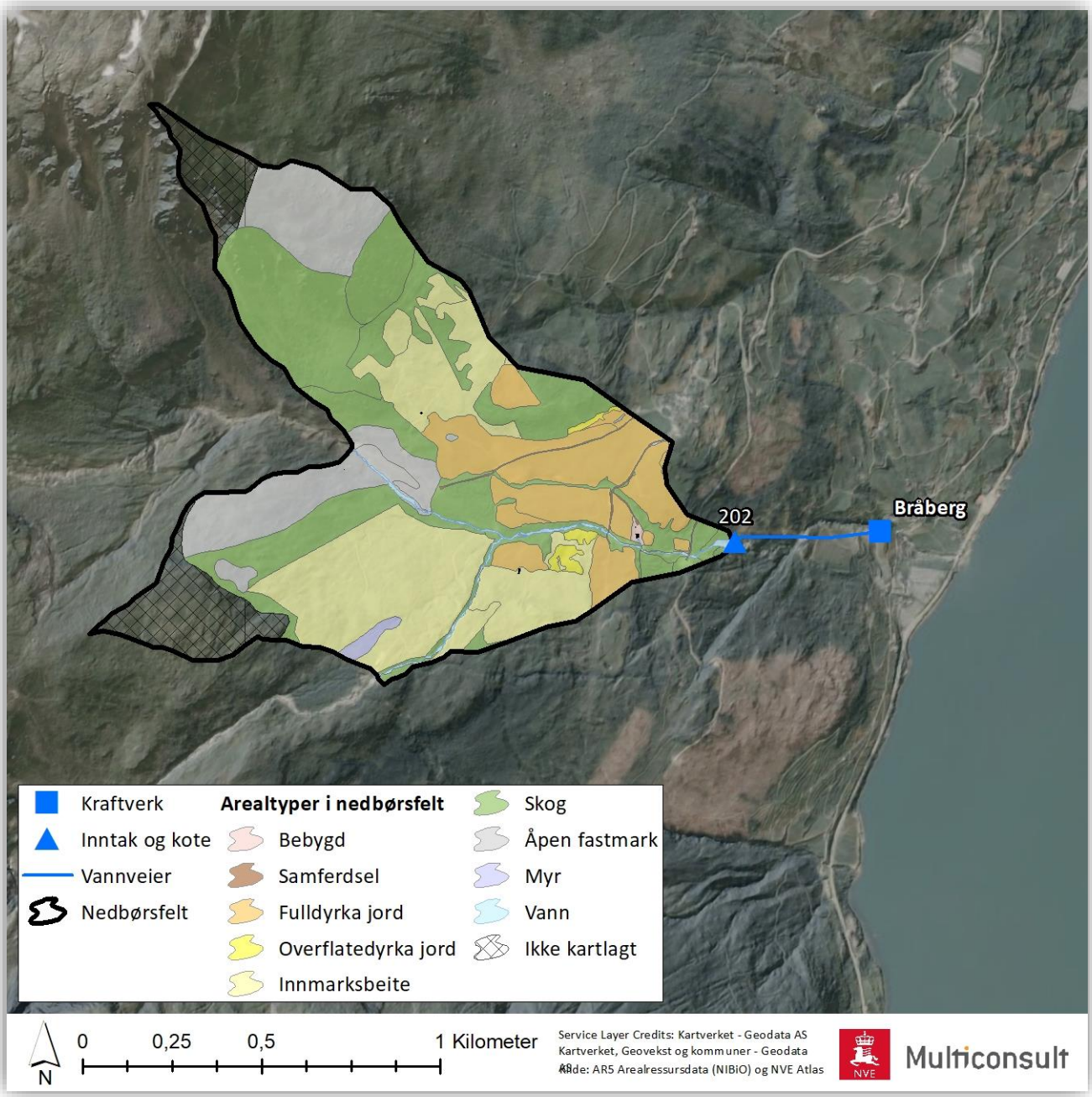
[22] Foto fra www.neromylos.com

[23] Foto av Hanne Nøvik

Appendix 1 Oversiktskart over anleggenes geografi

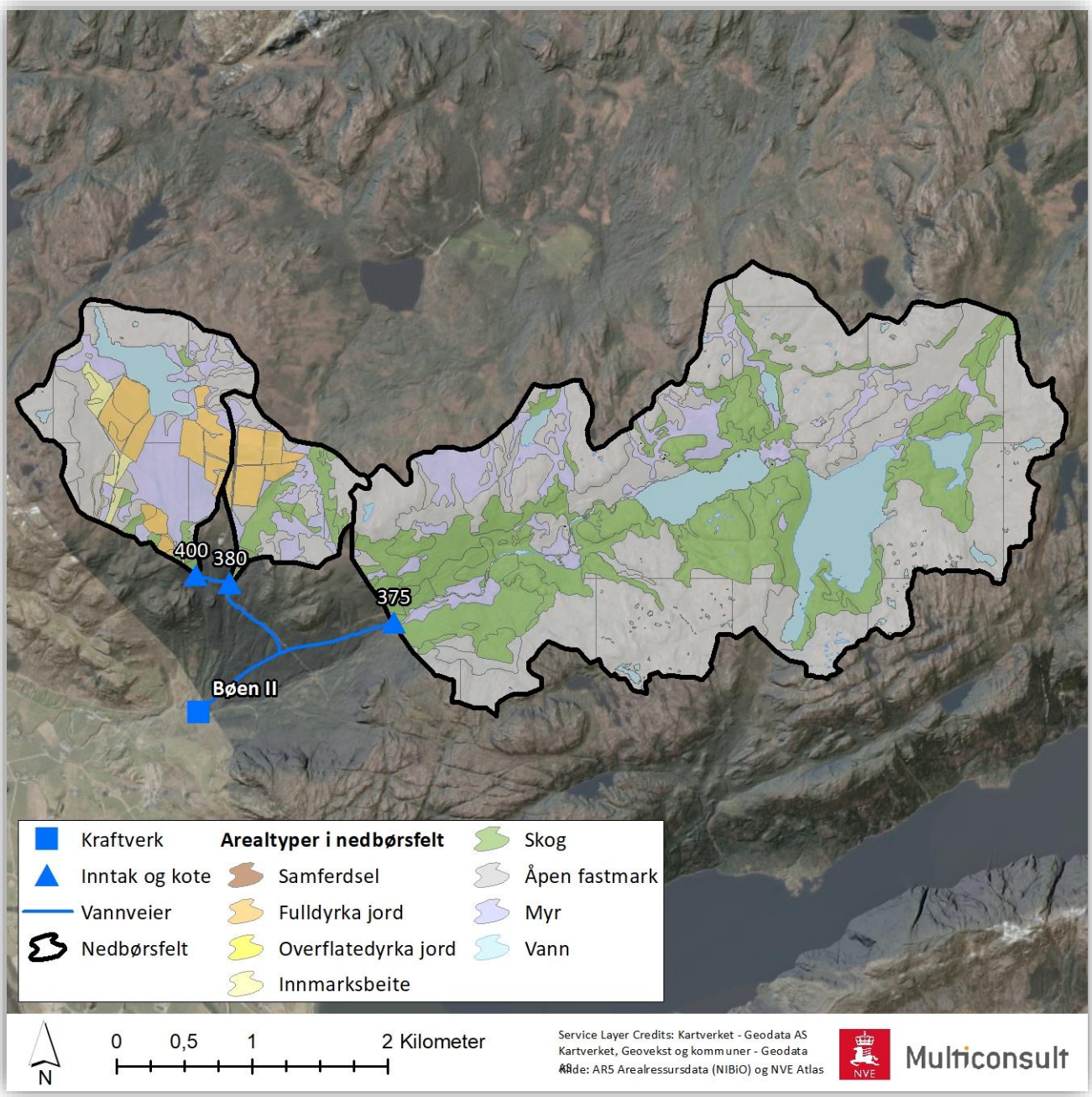
Bråberg Kraftverk 2
Byro Kraftverk 3
Bøen II Kraftverk 4
Dyrkorn kraftverk 5
Eldao Kraftverk (Eldeelvi kraftverk) 6
Espeelvi Kraftverk 7
Geitåni Kraftverk 8
Helgheim kraftverk 9
Hopland Kraft AS 10
Kupe Kraftverk 11
Kvemma kraftverk 12
Kvernåi 13
Middøla kraftverk 14
Myklebost 15
Nybuelvi kraftverk 16
Sesskraft AS 17
Skorga Kraftverk 18
Svardøla kraftverk 19
Timbra kraftverk 20
Trontveitåna kraftverk 21
Tverrelva kraftverk AS 22
Tverråni kraftverk 23
Vaka Kraftverk 24
Vaksvik kraftverk 25
Vossedalselvi Kraftverk 26

Bråberg Kraftverk

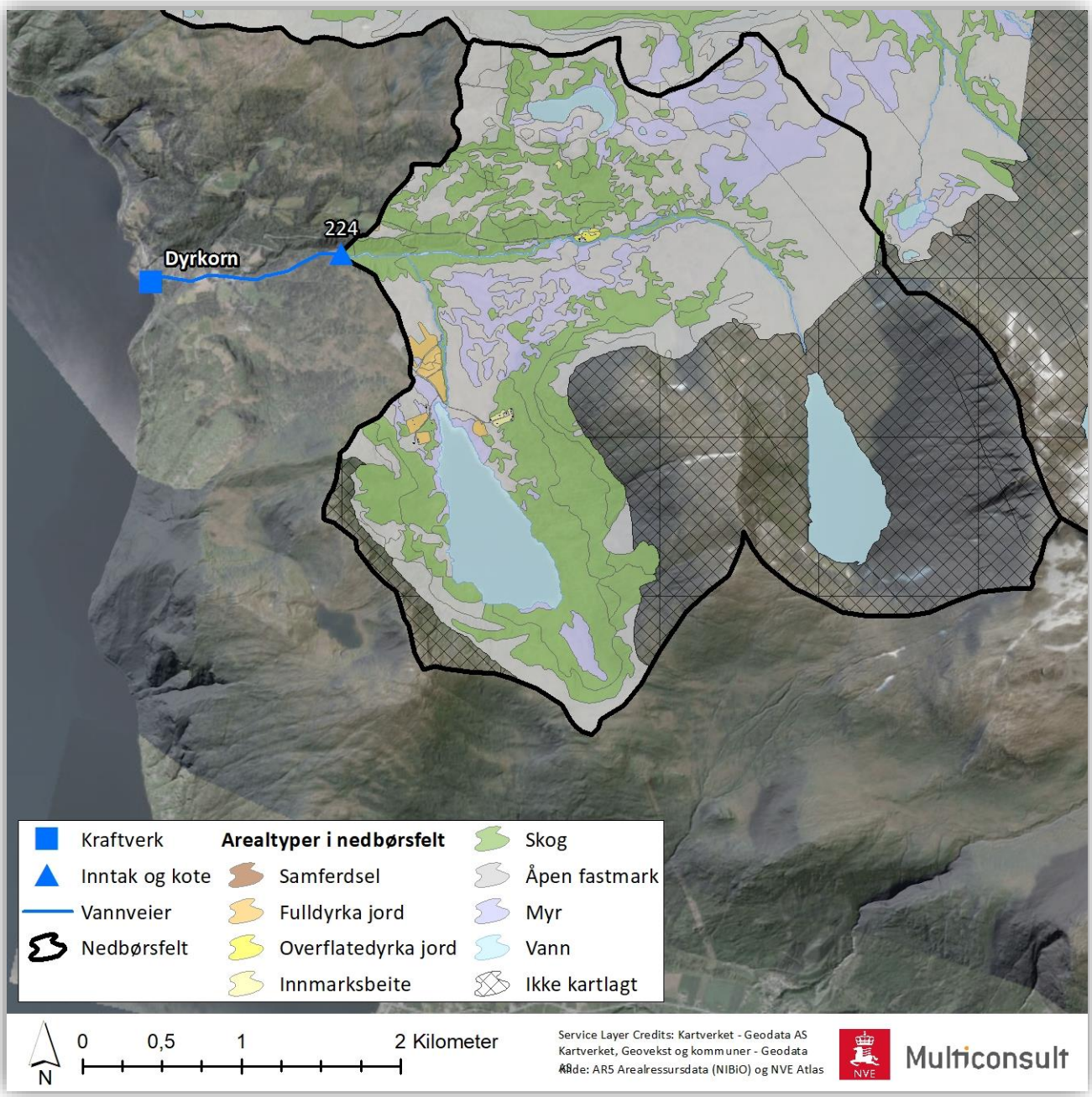


Byro Kraftverk

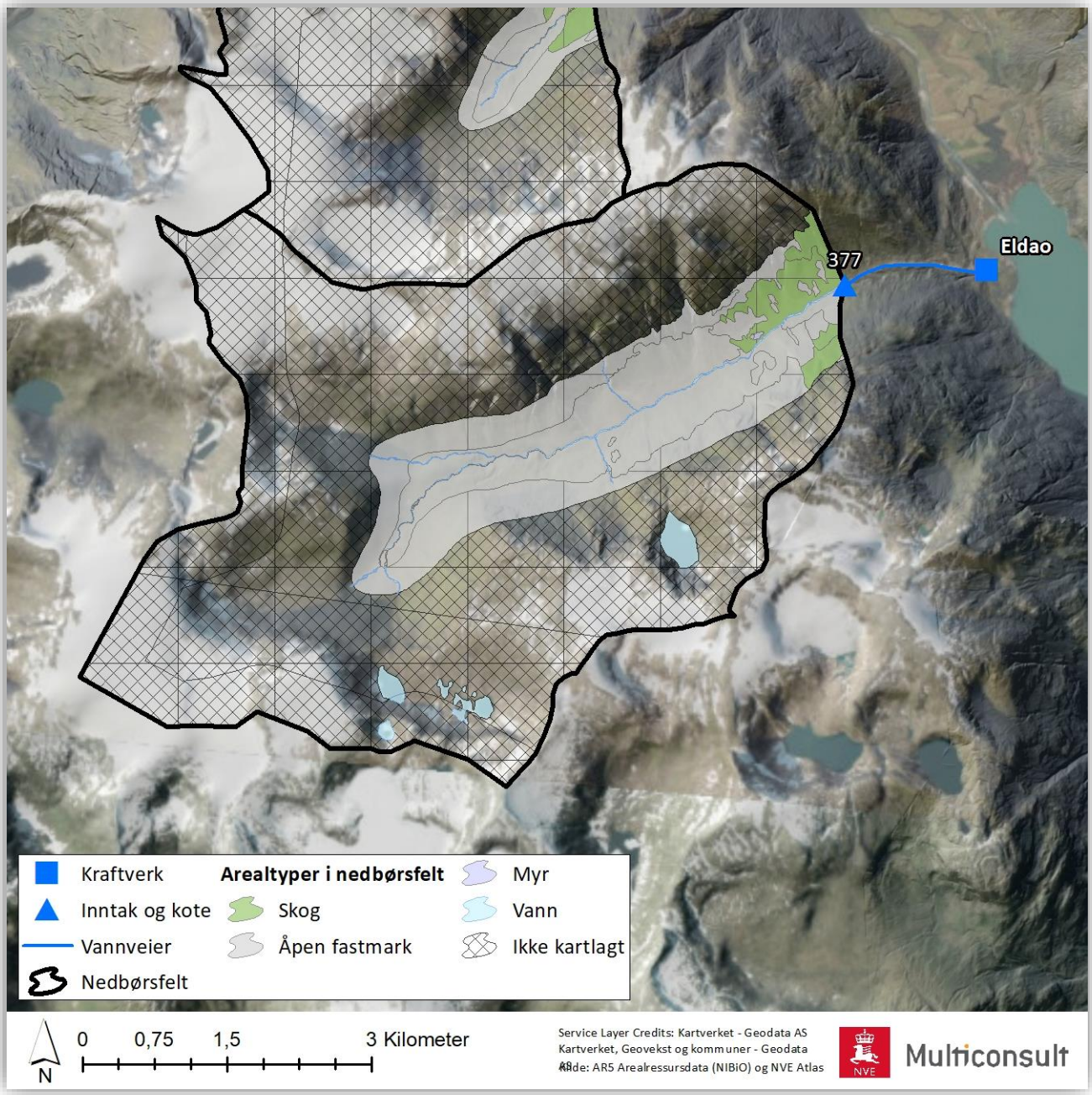
Bøen II Kraftverk



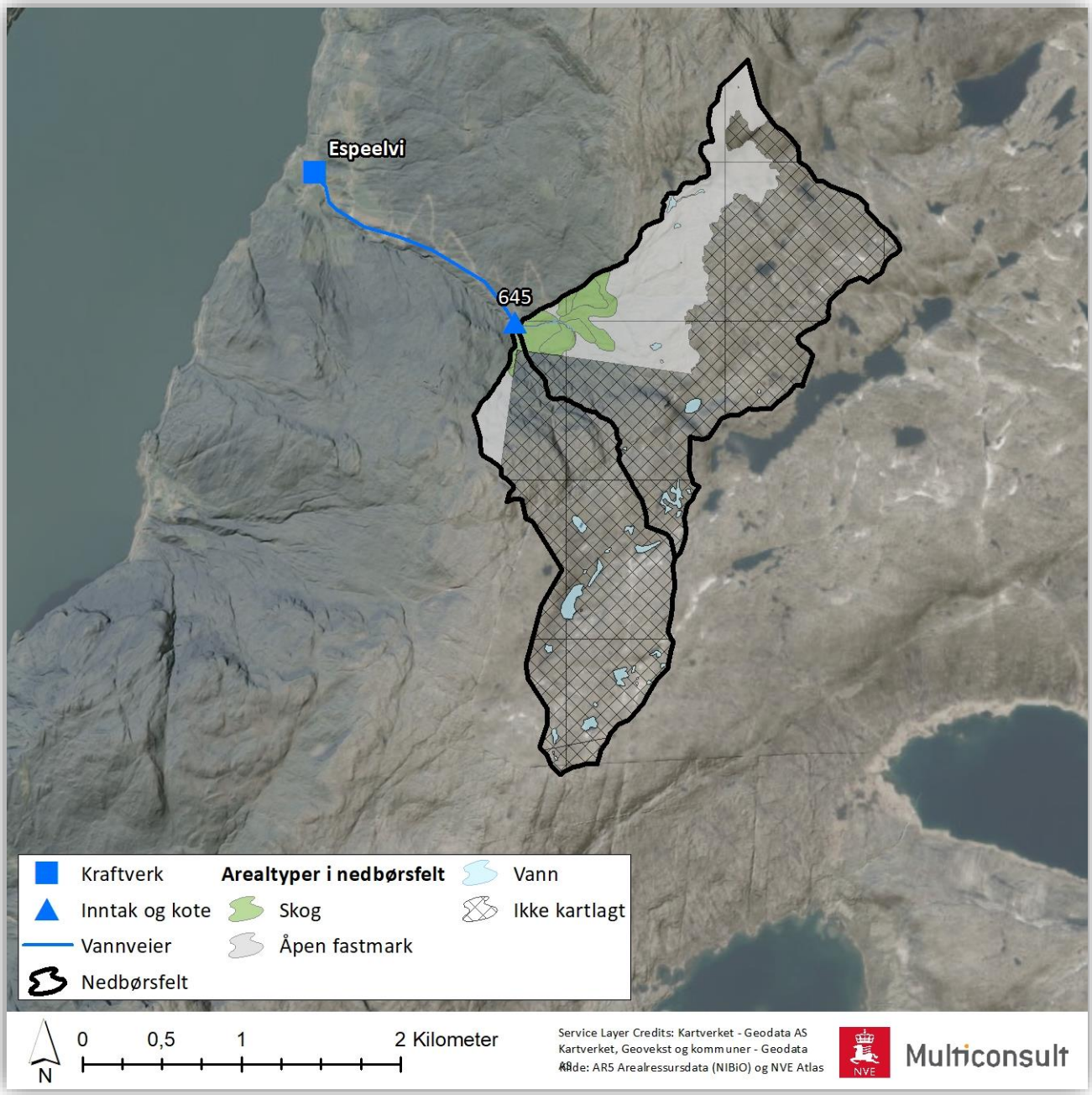
Dyrkorn kraftverk



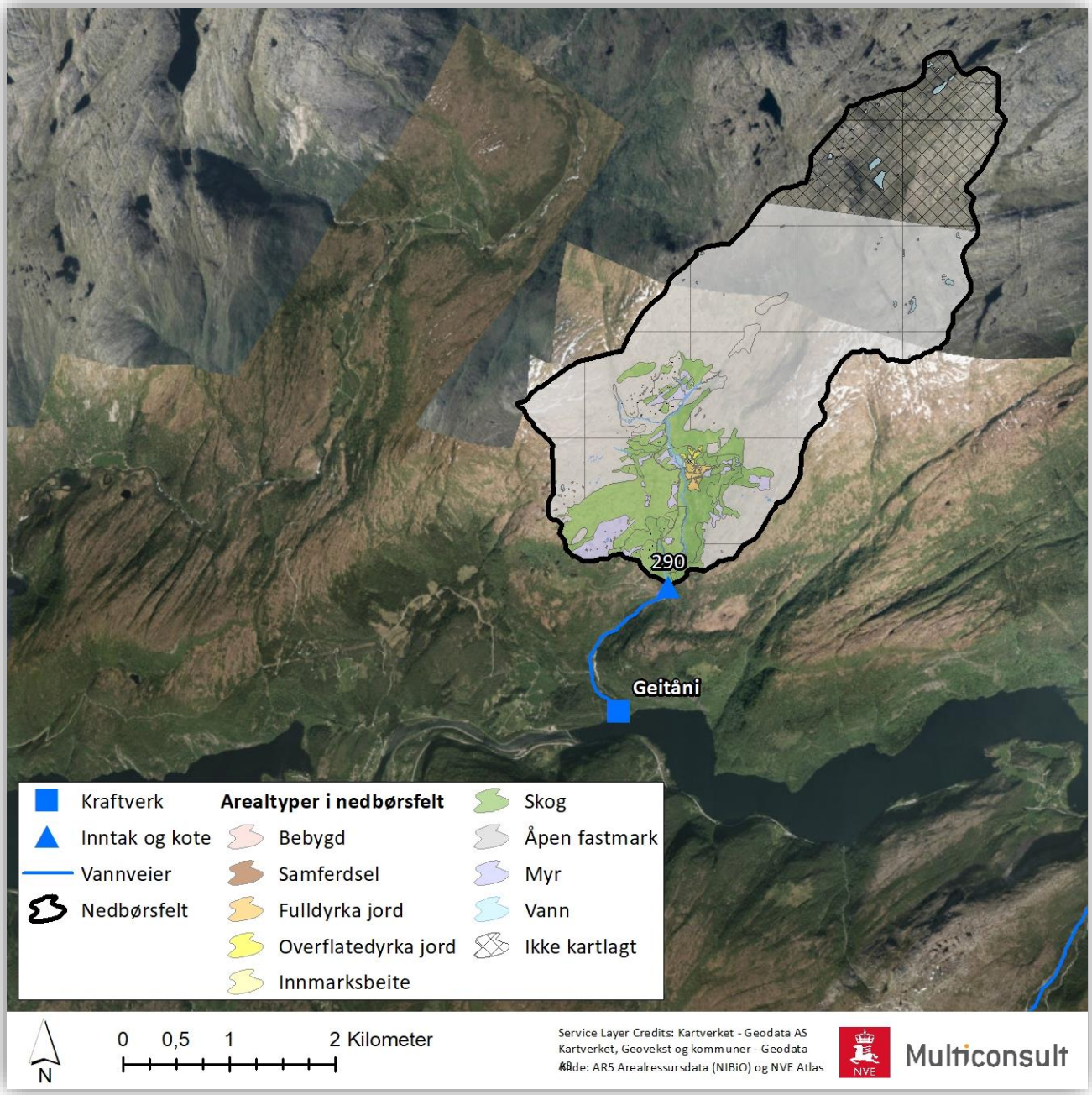
Eldao Kraftverk (Eldeelvi kraftverk)



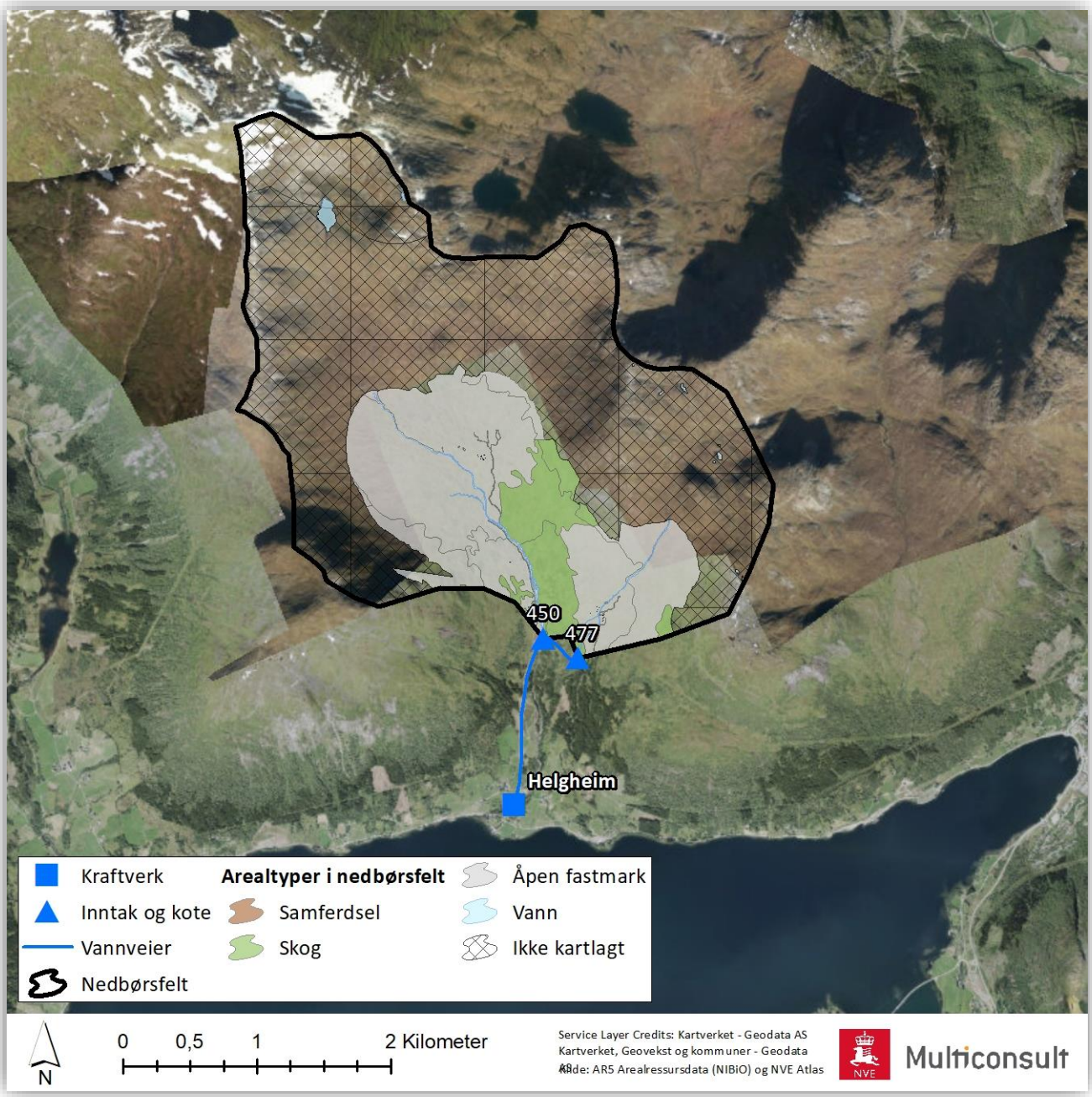
Espeelvi Kraftverk



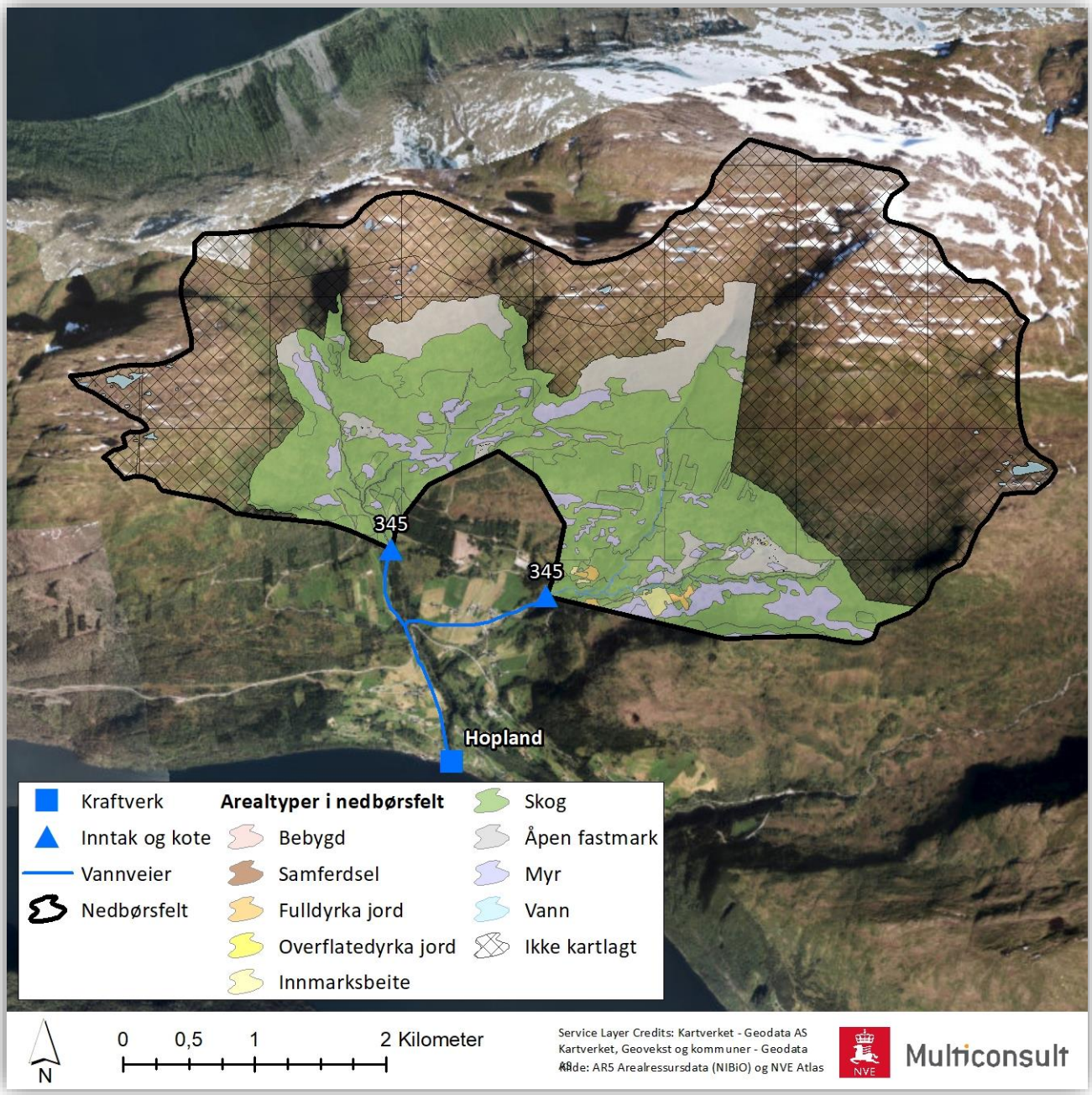
Geitåni Kraftverk



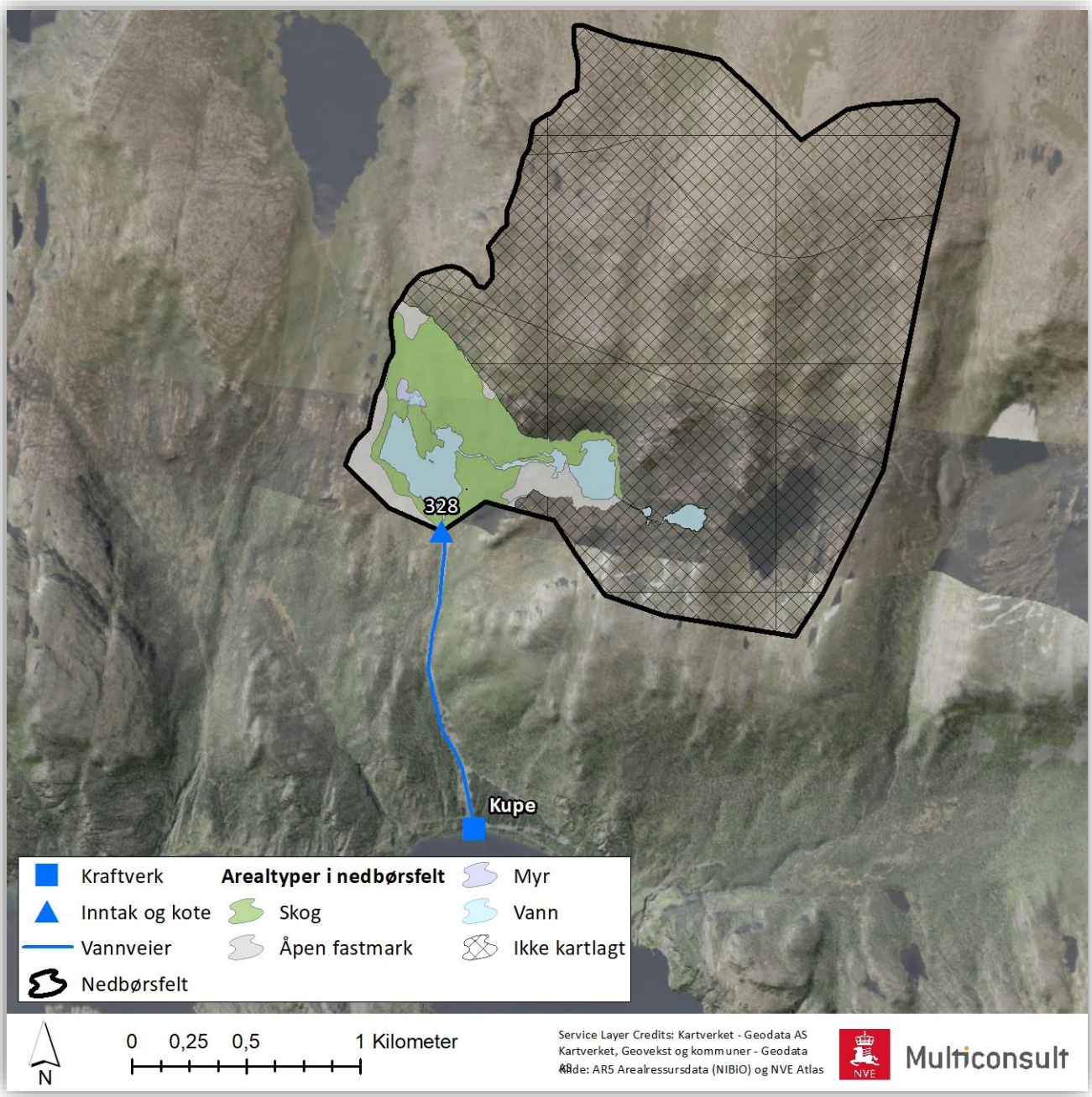
Helgheim kraftverk



Hopland Kraft AS

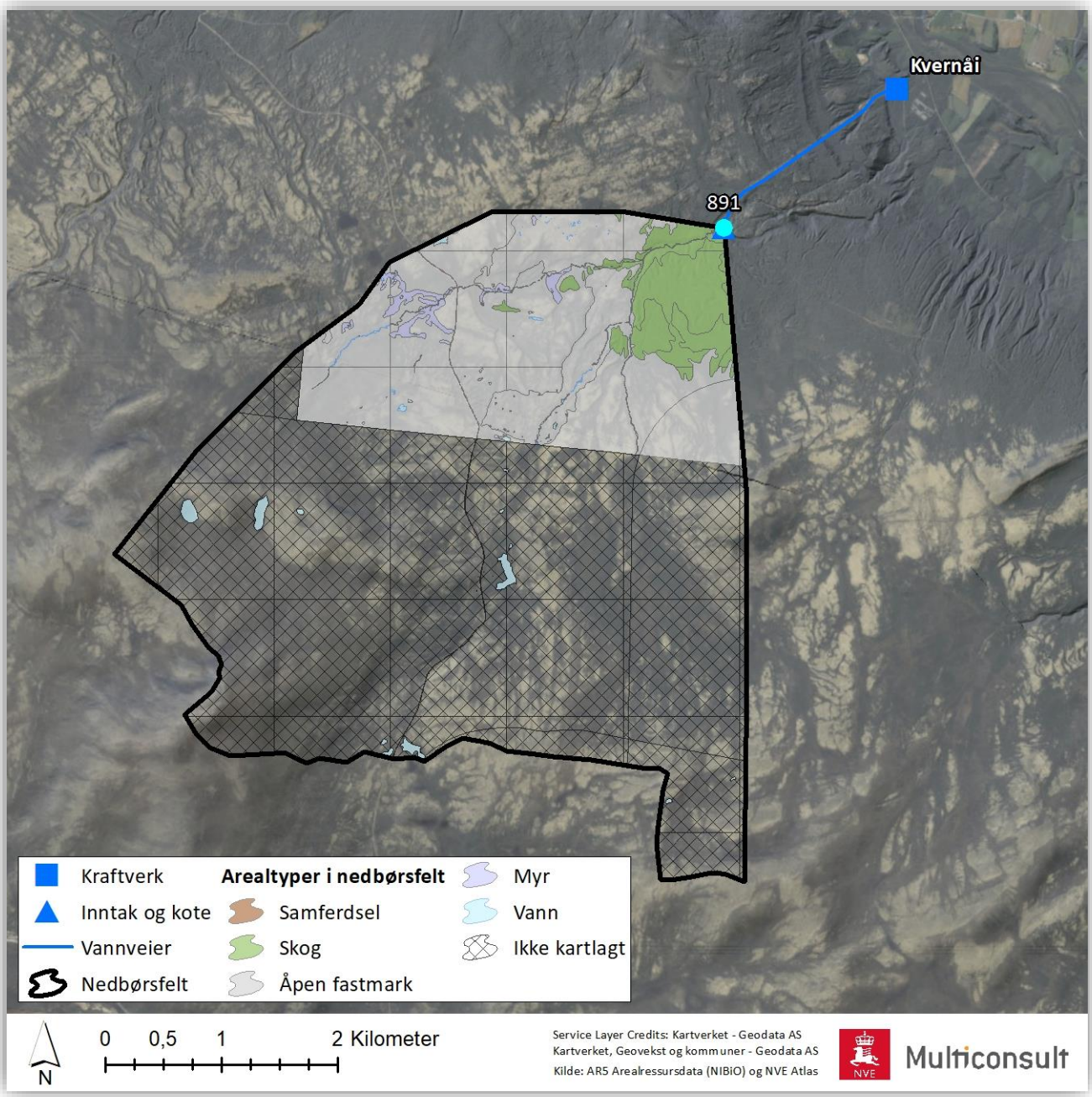


Kupe Kraftverk

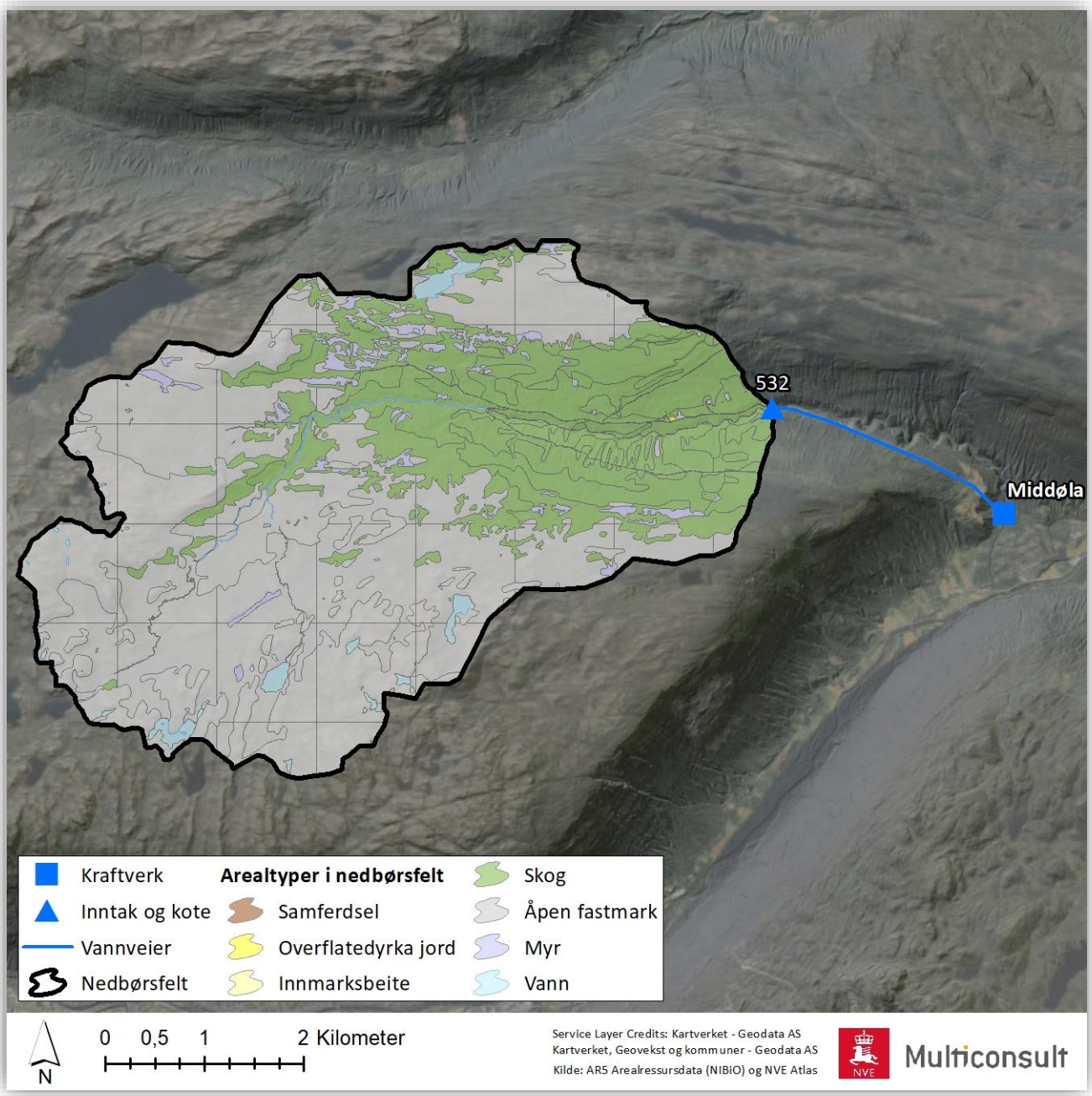


Kvemma kraftverk

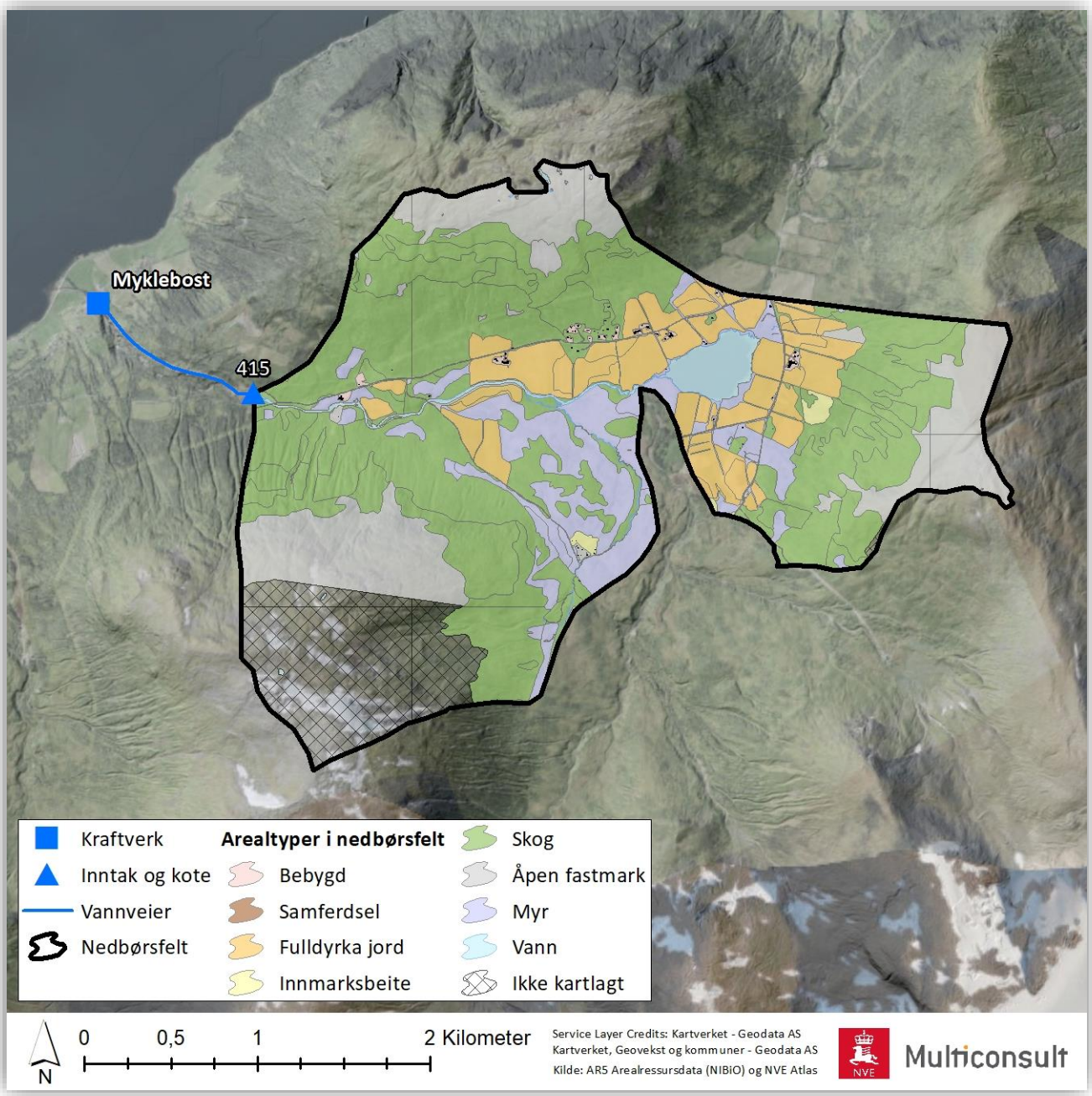
Kvernåi


Kvernåi
891
Kraftverk
Inntak og kote
Vannveier
Nedbørsfelt
Arealtyper i nedbørsfelt
Samferdsel
Skog
Åpen fastmark
Myr
Vann
Ikke kartlagt
N
0 0,5 1 2 Kilometer
Service Layer Credits: Kartverket - Geodata AS
Kartverket, Geovekst og kommuner - Geodata AS
Kilde: AR5 Arealressursdata (NIBiO) og NVE Atlas
NVE
Multiconsult

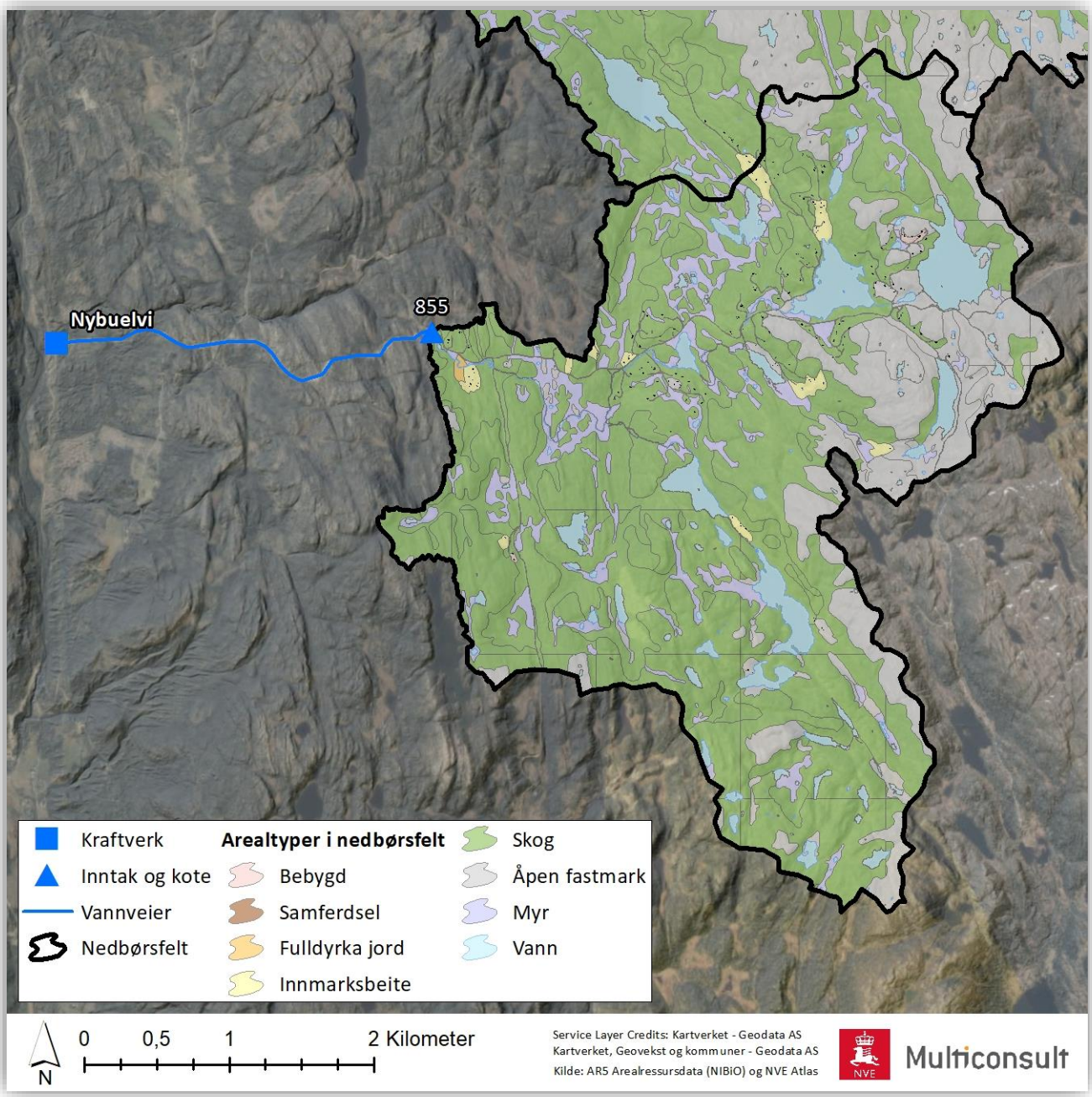
Middøla kraftverk



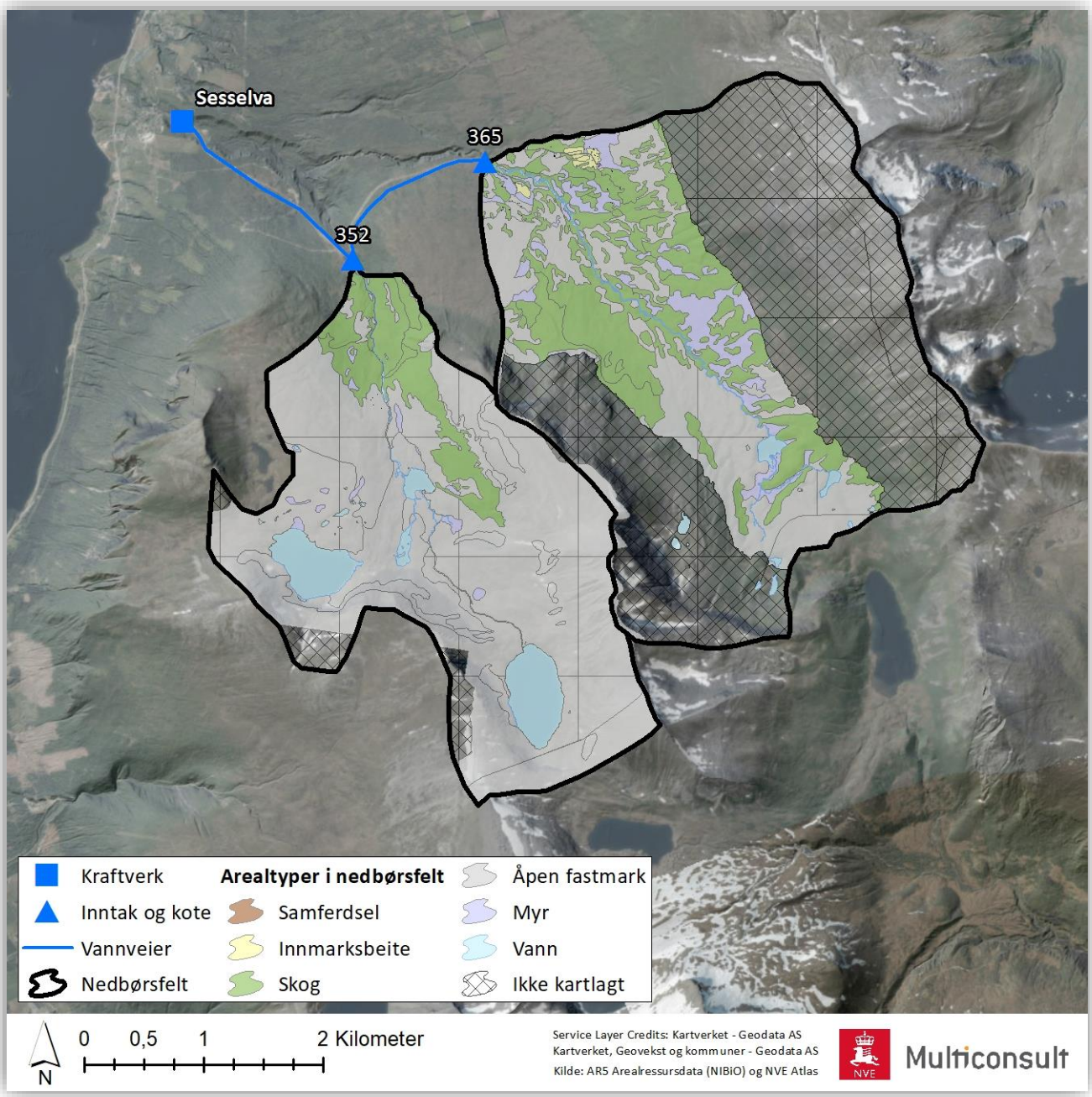
Myklebost


Myklebost
415
Kraftverk
Inntak og kote
Vannveier
Nedbørsfelt
Arealtyper i nedbørsfelt
Bebygd
Samferdsel
Fulldyrka jord
Innmarksbeite
Skog
Åpen fastmark
Myr
Vann
Ikke kartlagt
N
0
0,5
1
2 Kilometer
Service Layer Credits: Kartverket - Geodata AS
Kartverket, Geovekst og kommuner - Geodata AS
Kilde: AR5 Arealressursdata (NIBIO) og NVE Atlas
NVE
Multiconsult

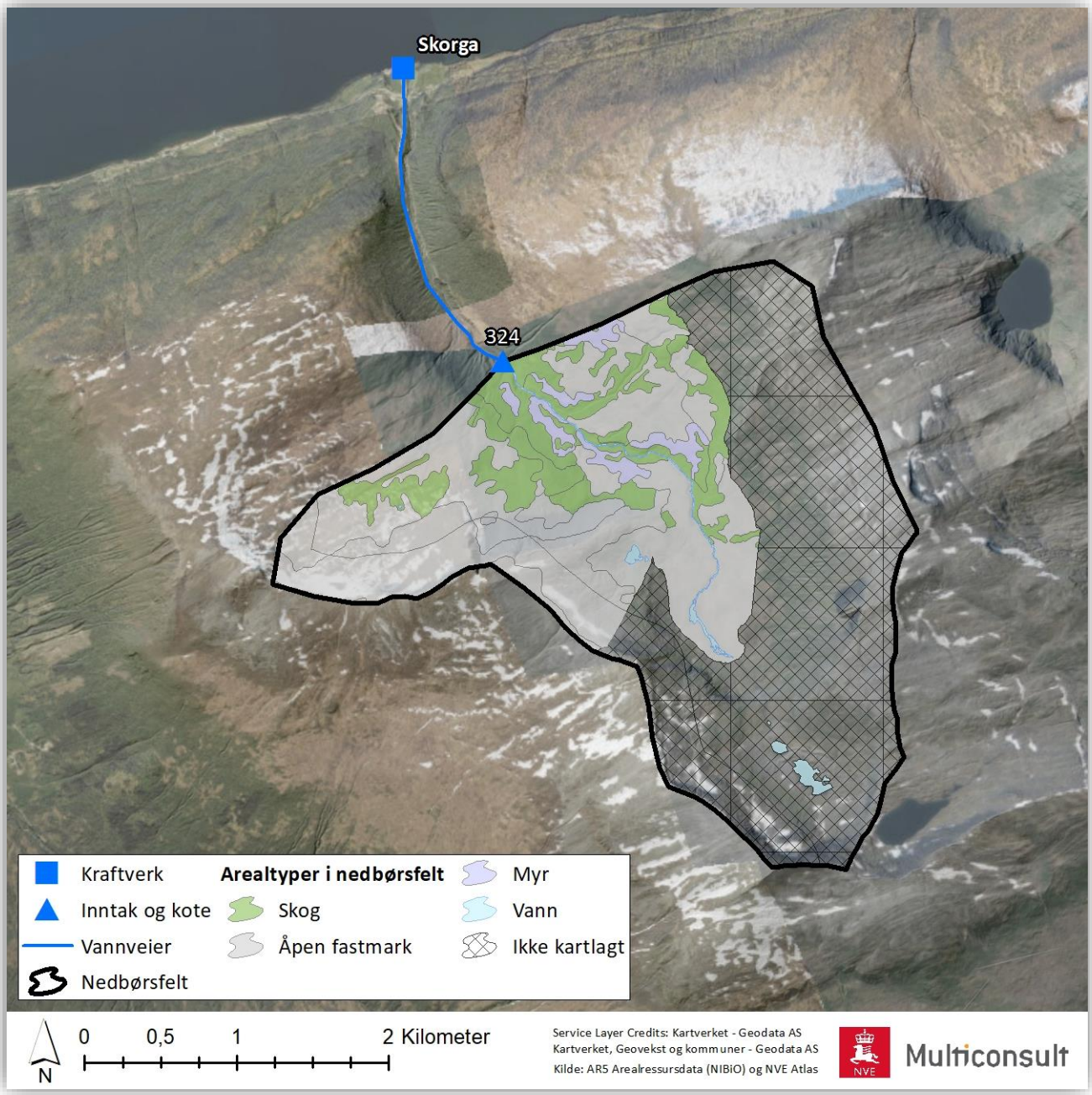
Nybuelvi kraftverk



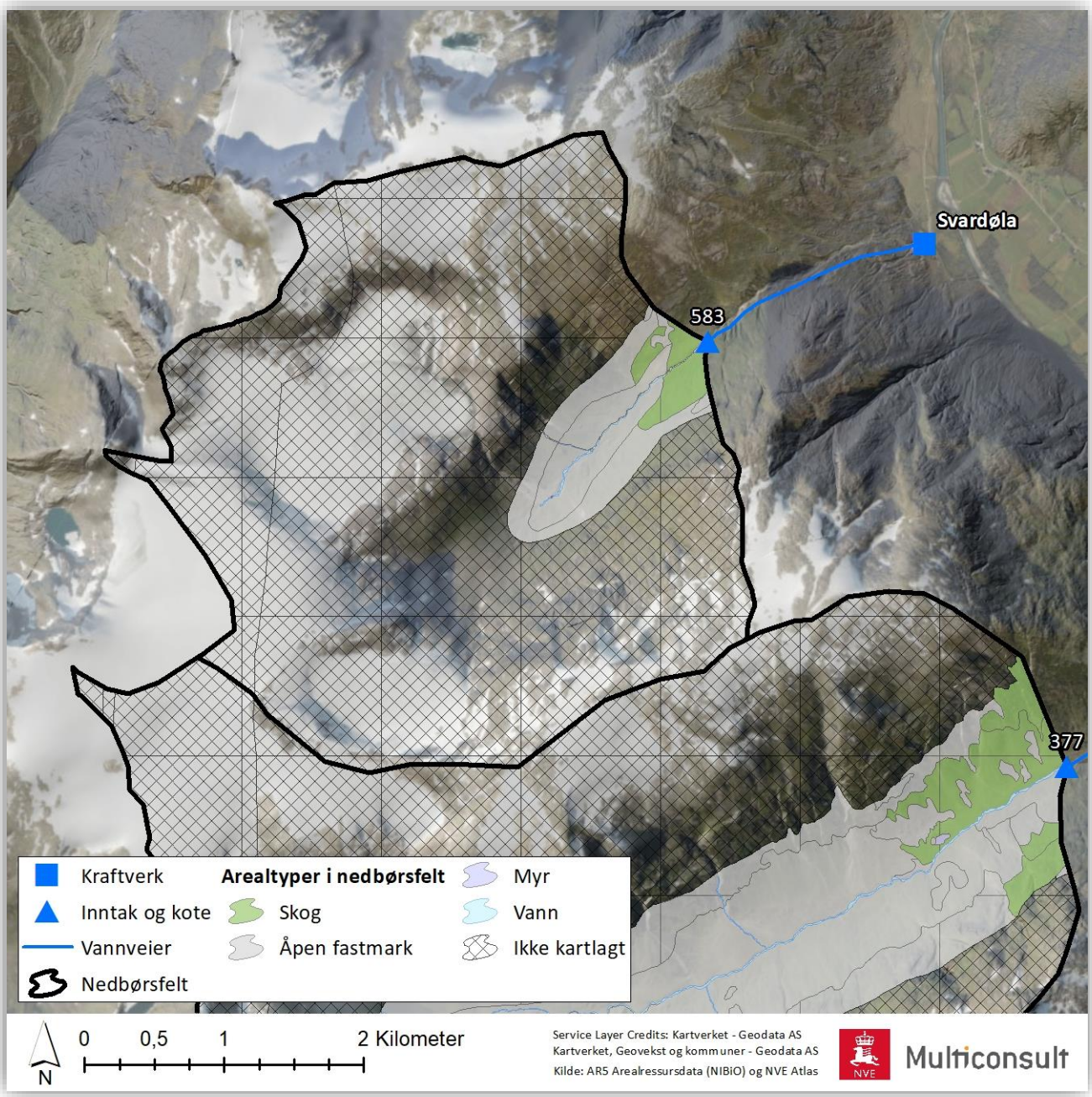
Sesskraft AS



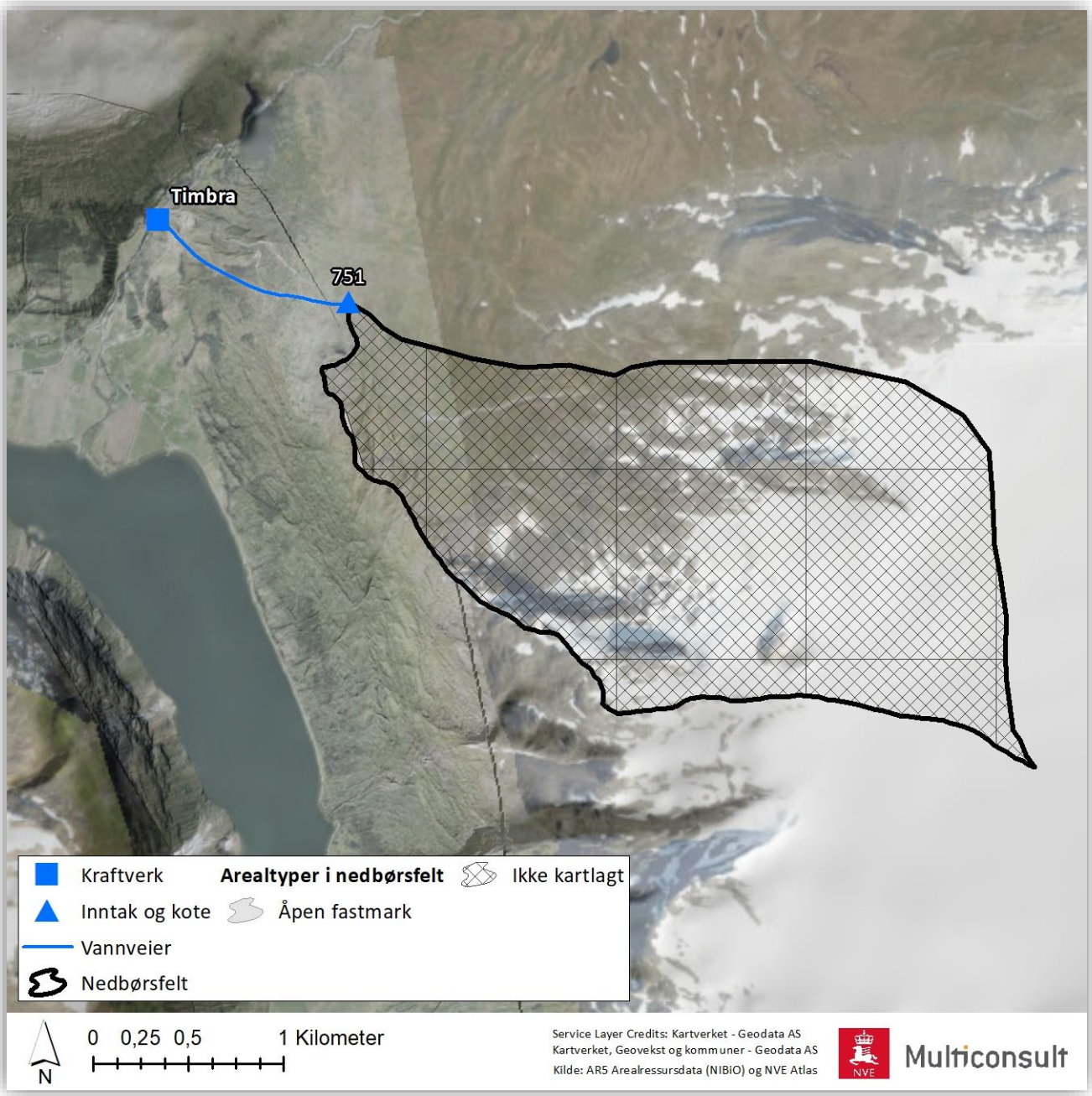
Skorga Kraftverk



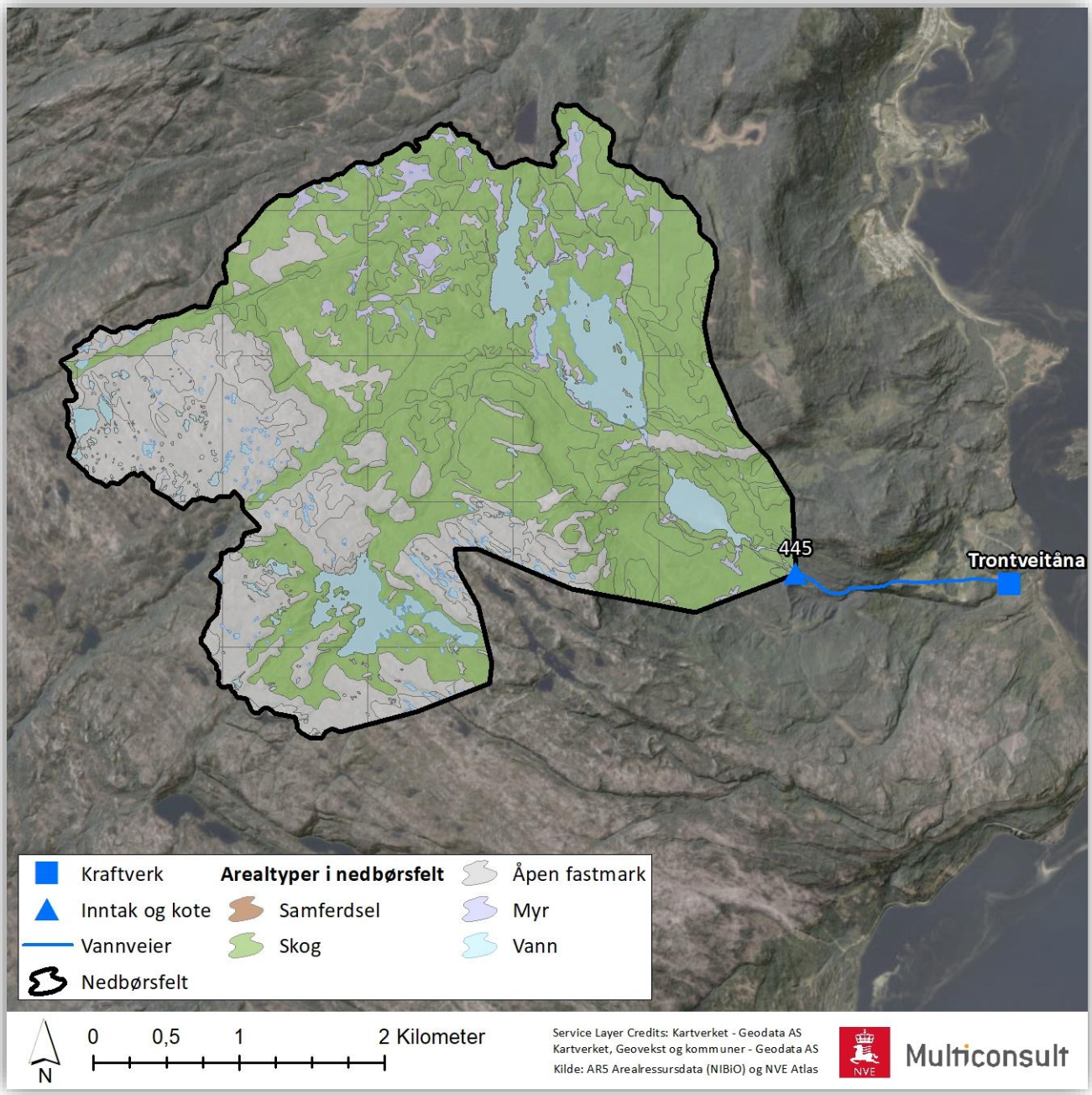
Svardøla kraftverk



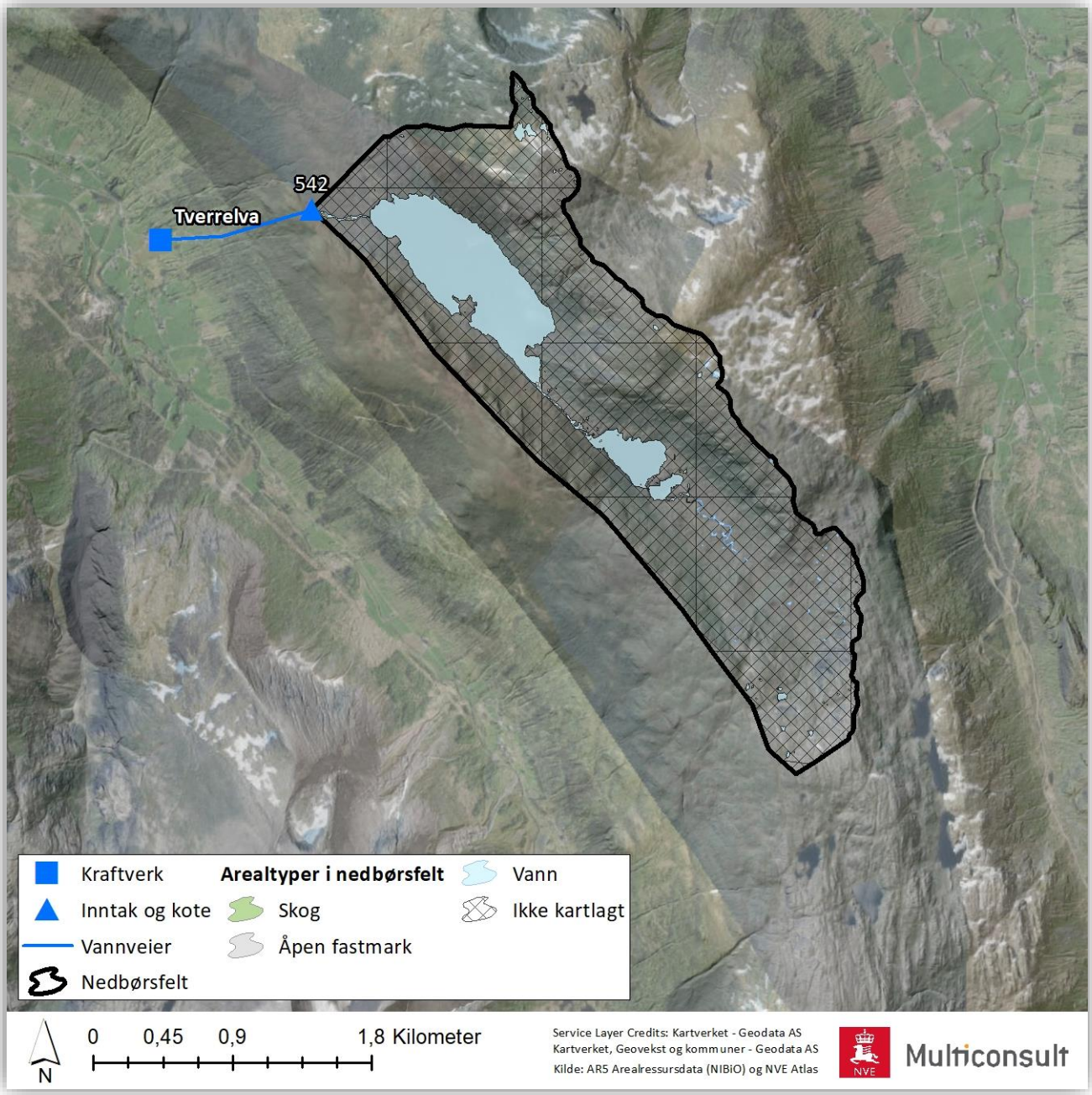
Timbra kraftverk



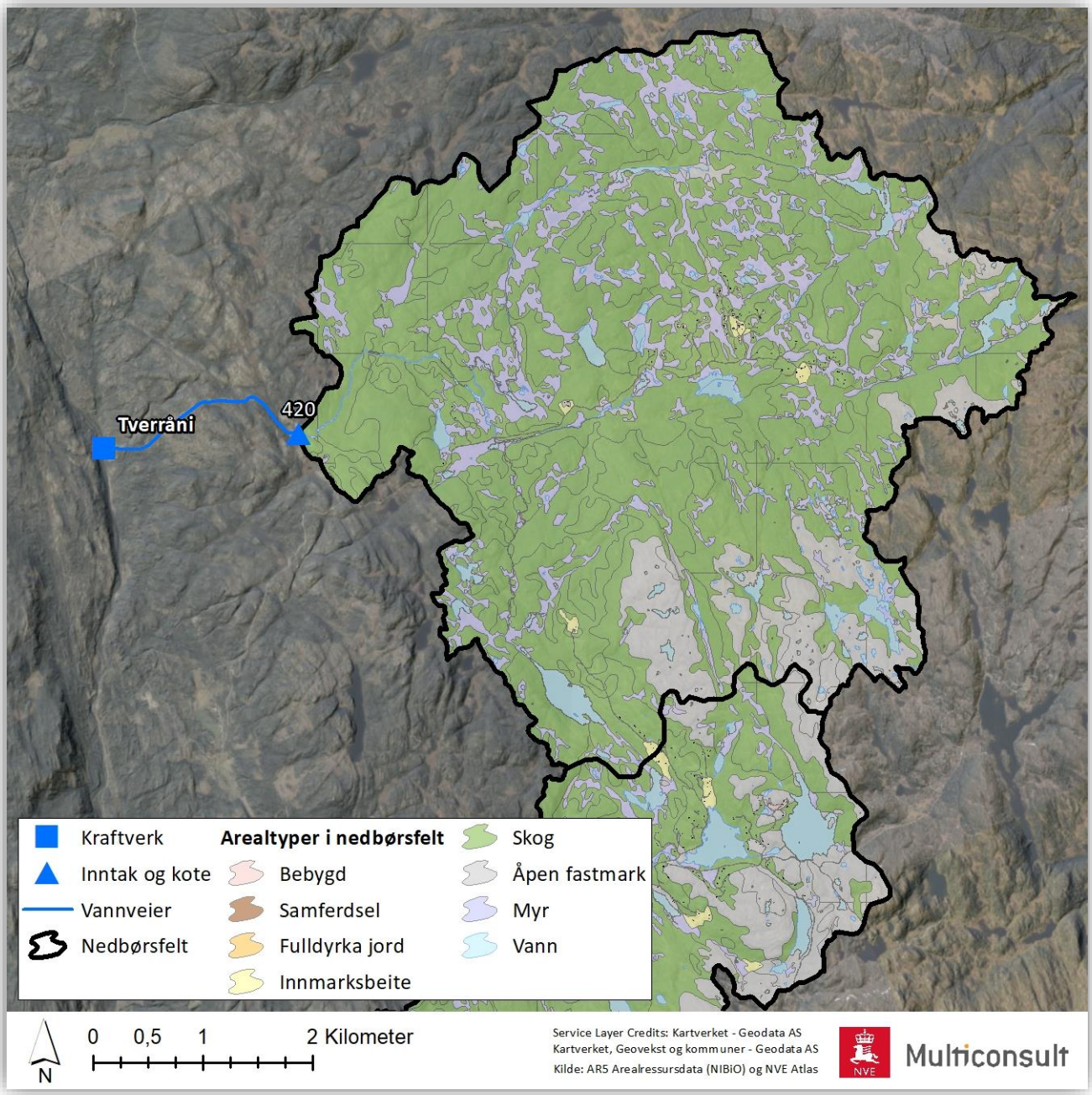
Trontveitåna kraftverk



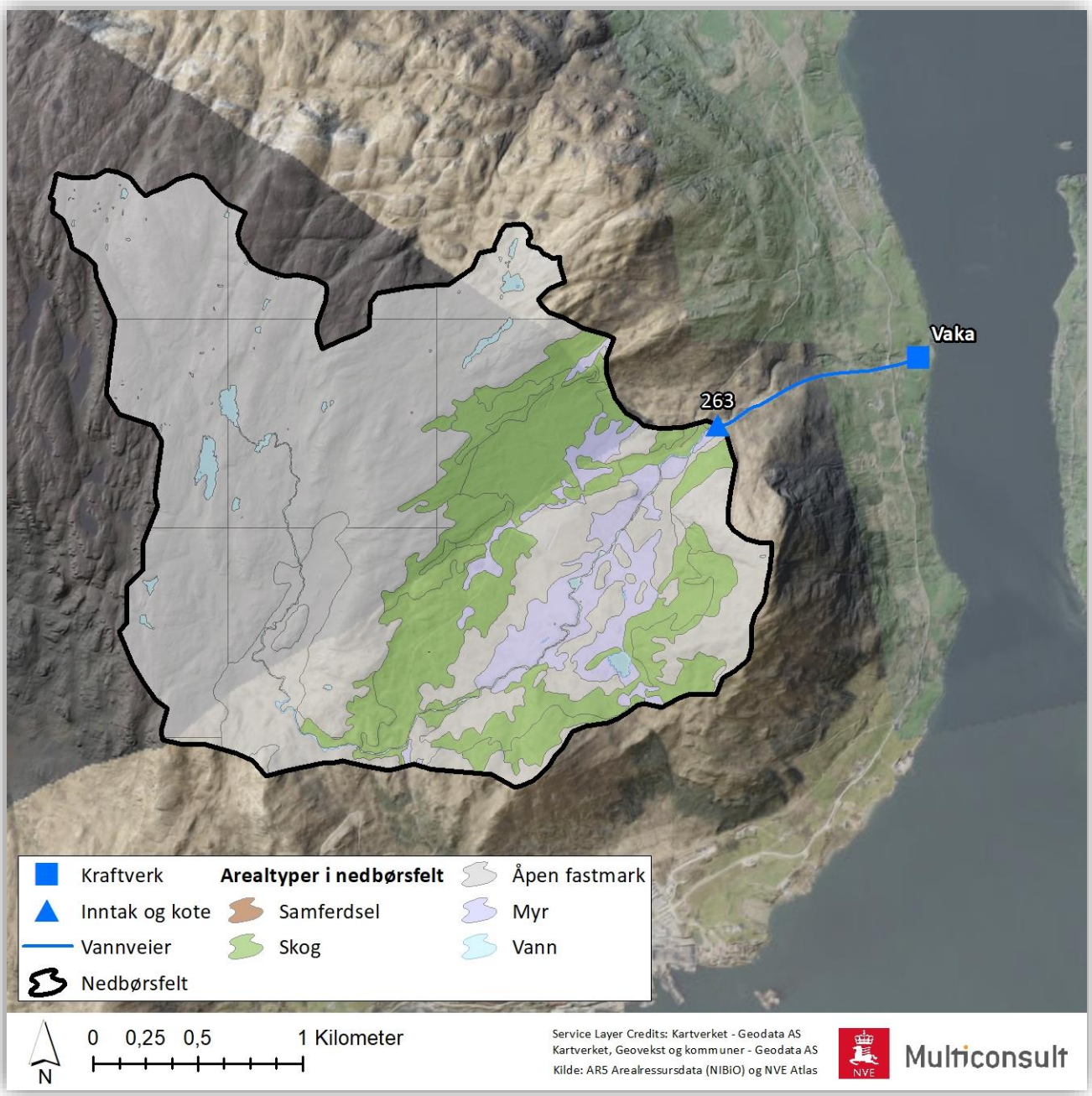
Tverrelva kraftverk AS



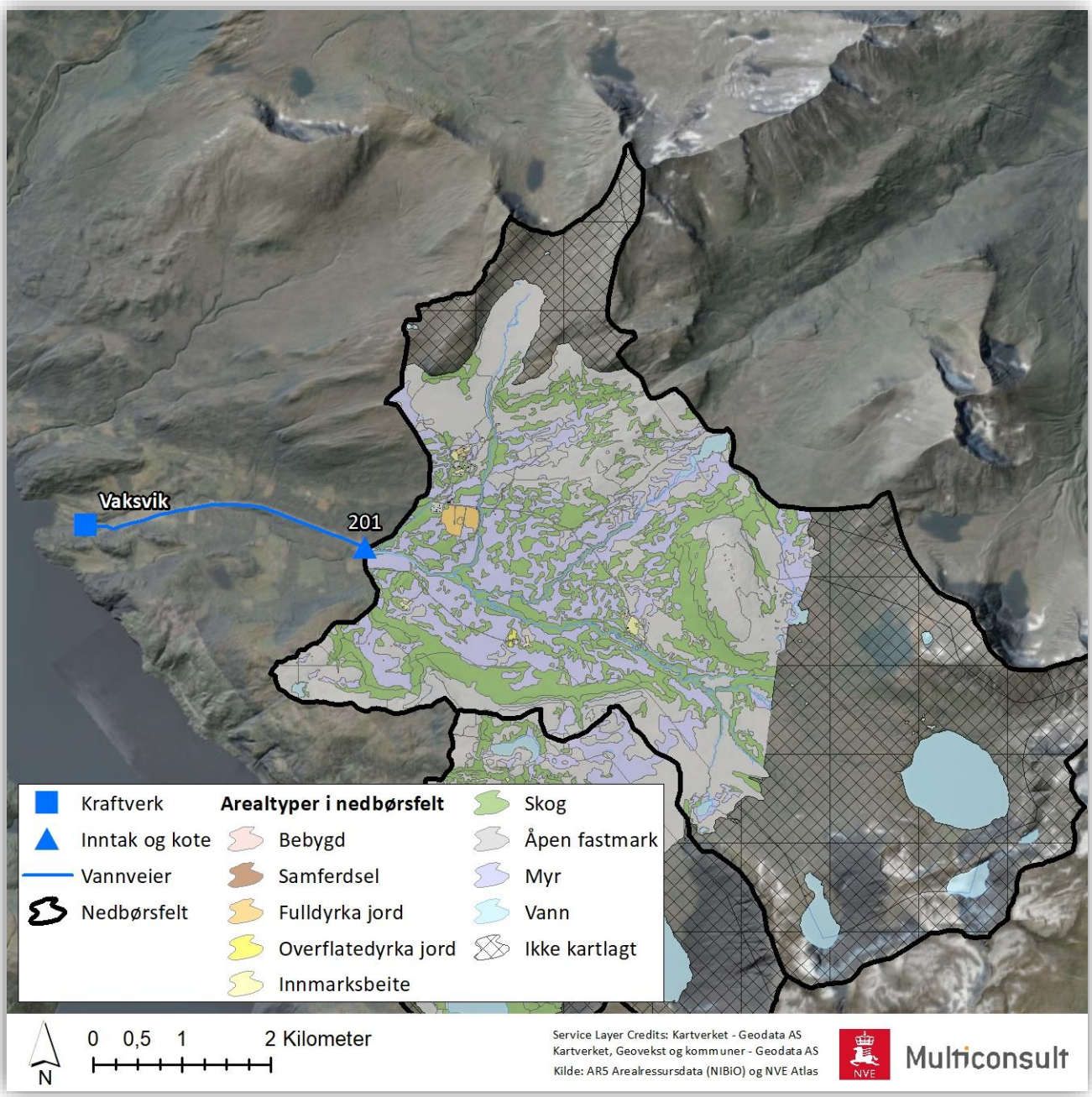
Tverråni kraftverk



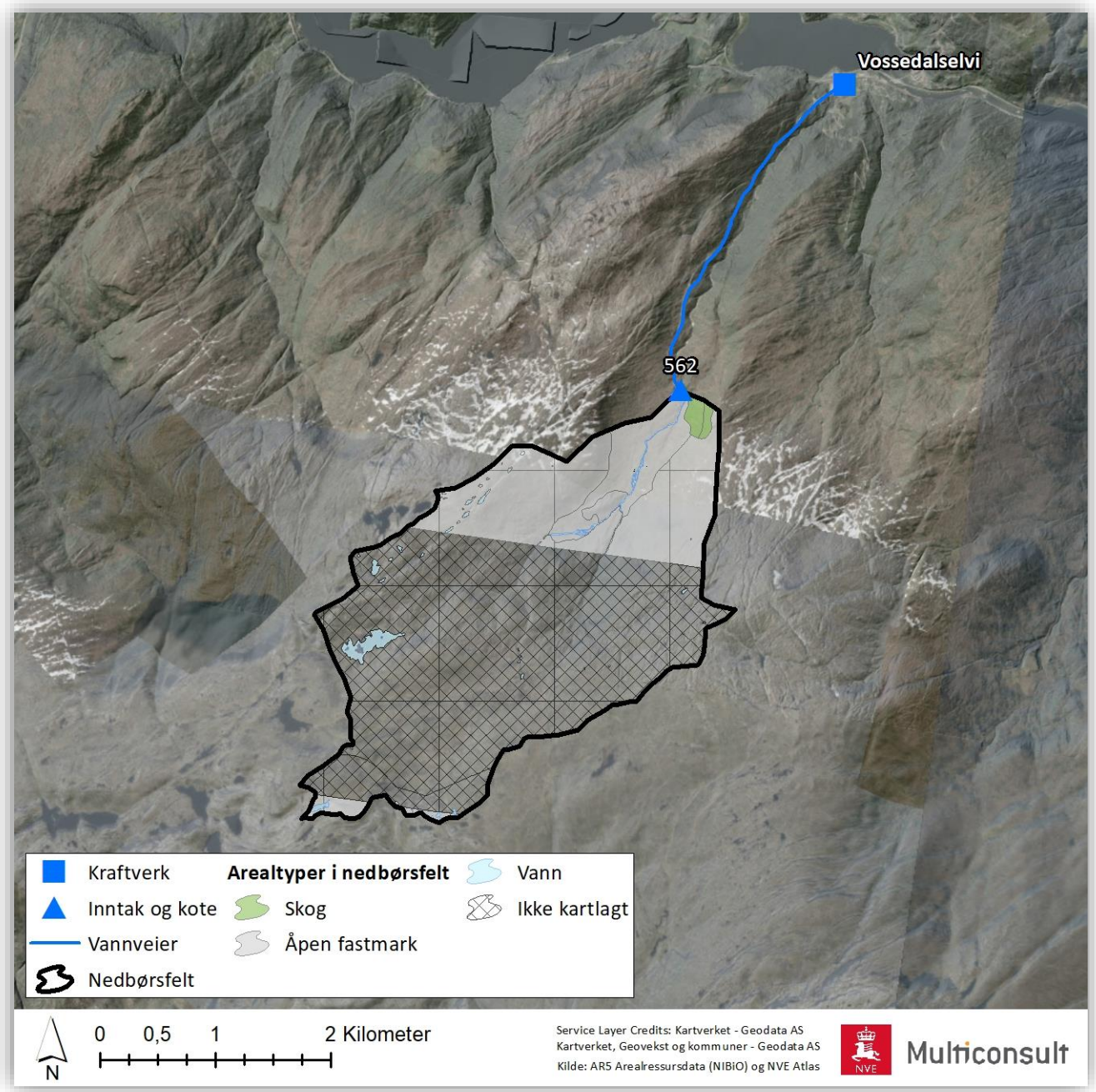
Vaka Kraftverk



Vaksvik kraftverk



Vossedalselvi Kraftverk



NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

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

www.nve.no