

Til: Lars Størset
Fra: Seksjon for maskin, ingeniørgeologi og miljø - Norconsult
Dato/Rev: 06.11.2015

Mulighetsutredning for bruk av boblegardin mot trykkbølger ved Strandanes i Suldalsvatnet

Følgende notat har til hensikt å utrede om det vil være mulig å etablere en effektiv boblegardin som kan beskytte fisk mot trykkbølger ved undervannssprenging på Strandanes samt om risikonivået forbundet med arbeidet tilsier at det er behov for et slikt tiltak. Viktige momenter for utredningen er:

- Fysiske forutsetninger på Strandanes
- Fysiske krav og begrensninger for en boblegardin
- Vurdering av reell/sannsynlig risiko og konsekvens
- Alternative sikringstiltak og restrisiko

Fylkesmannen forutsetter at følgende prinsipper anvendes under planlegging og utførelse av arbeidet:

- Bruk av best tilgjengelige teknikker (BAT)
- Miljøforsvarlige teknikker og driftsmetoder
- Vitenskapelig kunnskap eller «føre-var-prinsippet»

Utredning skal ivareta disse prinsippene og bygger på tidligere erfaringer, forhold i anlegget og litteraturgjennomgang.

INNLEDNING

Statnett har mottatt tillatelse fra Fylkesmannen til å fylle ut 90 000 m³ med sprengstein i/ved Suldalsvatnet på Strandanes i Suldal kommune¹. Flere vilkår skal imøtekommes i forbindelse med tillatelsen. Bl.a. er det stilt krav om etablering av en boblegardin. Boblegardinen skulle ha flere positive innvirkninger på miljøforhold. Disse oppsummeres som følge:

- Begrense partikkelspredning under sprenging og øvrige utfyllingsarbeider
- Begrense trykkbølger som følge av sprenging

For å imøtekomme dette kravet har Statnett henvendt seg til Norconsult for å få prosjekteringsbistand. Norconsult fikk i oppdrag å designe en boblegardin som skulle tilfredsstille kravet. Ivaretagelse av fiskehelse ble identifisert som den primære funksjonen som boblegardinen skulle oppfylle.

BAKGRUNN

I utgangspunktet var bruk av en boblegardin blant tre tiltakstyper som ble beskrevet og vurdert av Norconsult² i forbindelse med håndtering av forurensede sedimenter. Vurderingen ble utført på tidlig stadiet hvor hovedhensikten var å identifisere mulige avbøtende tiltak for å ivareta faremomenter som med

¹ Tillatelse til utfylling ved Strandanes, Suldalsvatnet, Suldal kommune, 25.09.2015. Ref. 2014/7093

² Norconsult, 2014. Tiltak i sediment Suldalsvatnet.

rimelighet kunne forventes ved sprengning under vann. Fokuset for arbeidet var det vesentlige knyttet til risikovurdering rundt partikkelspredning.

Mens risikoen forbundet med forventet forurensningsforhold har blitt avklart ved supplerende prøvetaking, gjenstår spørsmål om effekten av trykkbølgen på fiskehelse. I den rapporten³ står følgende:

«Sprengningsarbeider under vann kan føre til ødeleggelser på fisk og dyreliv. Skadeomfang er avhengig av størrelsen på ladningene, og avstanden fra sprengningsstedet og om sprengningen foregår i vannmassene eller i grunnen, eller på en annen måte var tildekket.»

Fordi disse kritiske forutsetningene ikke var avklart på daværende tidspunkt ble den teoretiske risikoen håndtert på bakgrunn av «føre-var-prinsippet» i kombinasjon med tilgjengelig litteratur på generelle vilkår.

I utgangspunktet søker man til å velge tiltak som egner seg i anlegget blant de anbefalte tiltak⁴ fra innledende studier, eller endre anleggsutforming for å redusere risiko til et akseptabelt nivå.

KORT OM TILTAKSLOKALITET

- Det skal tippes fra land
- Fyllingen etableres over et lag med 1-4 m bløte løsmasser
- Fyllingsfoten skal ligge på ca. 25 m under vannflaten
- Siltskjørt skal ligge foran fyllingsfoten der vannet har en dybde på mellom 20 og 50 m. I tillegg skråner det stadig ned mot enda større dyp.
- Bungeometrien i bassenget er bratt og utfyllingsområdet består av to basseng som er delt av en undervannsfjellrygg.
- En svært kupert bunnprofil må derfor hensyntas ved evt. anlegging av boblegardinen i samme trasé som siltskjørtet
- Lengden på traseen er omtrent 350 m og er kun landfast i endene
- Arealer bak siltskjørt vil være i overkant av 12 000 m²

Utfyllingsteknikk

På grunn av de geotekniske forutsetninger på utfyllingsplassen vil det ikke være mulig å lage sjeté og så fylle bak denne. Utfylling fra lekter ble vurdert opp mot tipping fra land. Gitt den stedlige bunntopografien med bløte bunnsedimenter vil det være behov for å sprengne i massene for å oppnå nødvendig stabilitet både ved utfylling fra lekter og ved utfylling fra land. Utfylling fra lekter gir dårligere kontroll på oppbygging av arealet og det risikeres at massene ikke strekker til for å komplettere fyllingen. I tillegg vil utfylling fra lekter gi økt omrøring og mer blakking av vannet. Med bakgrunn i dette er det besluttet å fylle ut fra land (tippkant). Dette er en bedre anleggsteknisk løsning i dette prosjektet.

KORT OM BOBLEGARDIN

Boblegardiner er i prinsippet et perforert luftførende rør lagt under vann i horisontalt plan. De lages med forskjellig utforming og dimensjonering til en rekke formål fra å holde båthavner isfri til å dempe trykkbølger under sprengning. Boblegardiner fungerer ved å *forstyrre horisontal strømming i vann ved å påføre en sterkere vertikal strømming med bruk av en sky av luftbobler*. Krav til styrken på vertikal strømming og dermed utforming og dimensjonering av boblegardinen er derfor avhengig av *effekten som skal oppnås*. Det finnes dokumentasjon på at boblegardiner under optimale forhold kan være effektive for å redusere trykkbølger⁵ og

³ Norconsult, 2014. Tiltak i sediment Suldalsvatnet.

⁴ Eller tilsvarende tiltak som entreprenøren har god erfaringer med.

⁵ Fauske, A. 2007. Undervannsprengning i nærheten av oppdrettsanlegg – begrensninger og krav til gjennomføring. Orica Mining Services. Fjellsprengningsteknikk Bergmekanikk/Geoteknikk 2007.

partikkelspredning⁶. Det er derimot ikke beskrevet noen standardløsninger for boblegardiner (luftvolum, trykk, dybdebegrensninger, tetthet for plassering av hull osv). Man kan derfor ikke støtte seg til NS eller annen «best praksis» dokumentasjon. Man kan ikke gå inn på en tabell, velge «trykkbølgereduksjon=90 %» og få ut dimensjonerende krav, eller på andre måter beregne dette med rimelig sikkerhet. Reelt vil demping fra en boblegardin kunne variere fra 0% til (kanskje) 90%. Og det er viktig å presisere at det ikke er mulig å garantere en gitt effekt av et slikt tiltak – (det er svært mange og usikre variabler). Videre er området som skal beskyttes med boblegardinen et svært omfattende areal. Langt større enn det Norconsult kjenner fra andre prosjektsammenhenger.

OM TRYKKBØLGER VED SPRENGNING

Fri detonasjon i åpent farvann

Når en sprengladning detonerer under vann vil det dannes trykkbølger som sprer seg ut på en kuleflate fra kilden. Vann er et stivt og inkompressibelt medium, og derfor vil energien i sjokkbølgen dempes svært lite sammenlignet med tilsvarende trykkbølger i luft. Men ettersom energien vil fordeles over et stadig økende areal på kuleflaten vil energien allikevel avta etterhvert som avstanden til kilden øker – forutsatt at vannvolumet tillater spredning av energien i alle retninger. Når trykkbølgene treffer sjøbunnen eller overflaten av vannet, vil en del av energien imidlertid reflekteres tilbake. Sfærisk demping av energien er dermed begrenset av vanddyppet og eventuelt andre overflater.

Trykkbølger fra sprengning under vann vil bære med seg mye energi som kan være skadelig for konstruksjoner og installasjoner under vann, båter, samt for liv i sjøen som fisk, krepsdyr, sjøpattedyr og selvsagt også mennesker som svømmer eller dykker.

Resulterende trykk fra undervannsdetonasjoner kan beregnes forholdsvis nøyaktig, og eksperimenter har vist at slike beregninger stemmer forholdsvis bra med virkeligheten. Det vil imidlertid være en del usikkerhet knyttet til muligheter for refleksjoner fra vannspeilet og fra sjøbunnen.

Detonasjon i stemmede borehull i berg

Hvis en ladning plasseres i et borehull, og stemmes med egnet masse i hullåpningen – noe som er den vanlige bruken av sprengstoff under vann – vil det meste av energien fra sprengingen bli absorbert av bergmassen omkring borehullet og bare en liten del av energien vil gå med til å etablere en hydrodynamisk sjokkbølge i vannet.

Studier og eksperimenter fra Canada og fra Norsk hydroteknisk laboratorium har vist at når en ladning er plassert i et behørig stemmet borehull i berg, vil den resulterende sjokkbølgen ligge i størrelsesorden 10 – 20 % sammenlignet med detonasjon med ladning fritt opphengt i vann. Det forventes at dempingeffekten vil være like effektivt ved detonering av ladning i stålrør i tippmassen.

Dødelighet for fisk

Studier har vist at skadelig virkning på fisk er tydelig mer utbredt på fisk med svømmeblære i forhold til fisk uten svømmeblære. Det har også vist seg at krabbe, kreps, hummer, reker etc. er betydelig mindre følsomme for trykkbølger fra sprengingen. Noen av fiskebestandene i Suldalsvatnet har svømmeblære og disse vil være dimensjonerende for tiltaket etter føre-var-prinsippet.

⁶ Pilotprosjektet i Trondheim havn, utført i 2006 (Skanska, Rambøll og DNV samarbeid)

Det er utviklet beregningsmetoder for å anslå sikkerhetssoner for fisk (med svømmeblære) ved undervannssprengning. Praktiske forsøk har vist at slike beregninger stemmer rimelig godt overens med observert fiskedødelighet.

For sprengning under vann vil påvirkningen på fisk være en funksjon av størrelse på sprengningen (mengde sprengstoff pr. tennernummer) og avstand fra sprengningsstedet.

Det er også av stor betydning hvordan sprengladningen er plassert – studiene er basert på sprengstoff som er fritt opphengt (i en tråd) midt i vannmassen – et tilfelle som ikke vil være relevant for noen anleggsteknisk anvendelse.

Videre vil det være flere andre faktorer som virker inn, slik som vanddyb, undervannstopografi og andre geometriske forhold, samt forhold ved vannoverflaten og material på sjøbunnen som har betydning for refleksjoner av trykkbølgene.

Det er i denne omgang ikke utført en detaljert studie av sikkerhetsavstander, men et overslag antyder at sikkerhetssone for fisk, ved den type sprengning som vil være aktuelt i dette prosjektet, vil kunne ligge i størrelsesorden 50 – 200 m, avhengig av plassering av sprengstoff og størrelse på hver detonasjon.

Mulige tiltak for å redusere effekten av sprengning under vann

Ulike metoder har vært utprøvd for å beskytte omgivelsene fra de potensielt skadelige trykkbølgene fra sprengning under vann. Med hensyn til liv under vann har det i noen sammenhenger vært benyttet kjemiske eller akustiske metoder for å midlertidig skremme fisk og sjøpattedyr bort fra området rett i forkant av sprengningen. Slike metoder kan eksempelvis innebære sleping av kabel og avfiring av akustiske signaler med en luftkanon, i en økende radius fra sprengningsstedet, eventuelt kun å avsette mindre ladninger før selve hovedsprengningen.

I noen tilfeller er det etablert fysiske barrierer som absorberer deler av energien i trykkbølgene, hovedsakelig med hensikt å beskytte følsomme konstruksjoner/installasjoner eller båter – eksempelvis luker, ved sprengning nær dammer eller inntak til vannkraftverk. Virkemåten til slike barrierer er å tilføre et kompressibelt medium i vannet, som trykkbølgene fra sprengningen må passere gjennom, for dermed å absorbere noe av energien fra trykkbølgene. Anvendelse av slike metoder er normalt betinget av geometriske forutsetninger som gjør det mulig å skjerme et begrenset område. På bakgrunn av tiltakets fysiske forutsetninger, herunder tiltakets areal, kupert bunngeometri og tiltaksdyb, er disse tiltakstypene vurdert som ikke aktuelt og/eller ikke gjennomførbare på Strandanes.

I dette prosjektet har det vært diskutert mulighet for å benytte boblegardin som et tiltak for å begrense skadepotensialet på fisk nær prosjektområdet. Det har vært nevnt at man ved bruk av et slikt tiltak kan oppnå opptil 90% reduksjon av effekten fra sprengningen. Etter Norconsult sitt syn vil en slik effekt kun være relevant i et ideelt tilfelle der forholdene ligger svært godt til rette for å benytte et slikt virkemiddel.

Litteraturstudie bekrefter dette synet og nevner konkret at ved beregninger bør en være vesentlig mer konservativ og ikke påregne mer enn maksimalt rundt 40% effekt ved et slikt tiltak. I tillegg til dette ser Norconsult det som praktisk vanskelig å dekke det relevante området med en effektiv luftgardin i dette prosjektet, ettersom dimensjonen for en effektiv luftgardin vil måtte være svært mye større enn den normale anvendelsen av slike. Felles for de anlegg der det er gode erfaringer med boblegardin er:

- Enklere bunngeometri (flat bunn)
- Mindre arealmessig utstrekning (boblegardiner har som regel en lengde på eksempelvis 10-30 m)
- Mindre vanddyb (gode resultater er dokumentert der boblegardin liker langs bunnen, på 4-6 m vanddyb).

Det er med bakgrunn i dette at boblegardinen vurderes som et uegnet tiltak for å redusere trykkbølger ved Strandanes.

VURDERINGER AV ULIKE SPRENGNINGSTEKNIKKER UNDER VANN

Hovedformålet med sprengning under vann er å få komprimert og fortrengt løsmassene på sjøbunnen. Når salvene skytes vil masser fra innsjøbunnen kunne flytte på seg sammen med sprengstein i horisontalplanet ut fra fyllingsfoten.

Vanlige metoder som benyttes ved stabilisering av fyllinger er:

- Påleggsladninger som senkes ned på fyllingsskråningen. Disse tildekkes ikke.
- Sprengning i plastrør på fyllingsfront og ut over bunnsedimentene.
- Sprengning i stålrør som presses ned i fyllingen 3-5 m fra fyllingsskråningen

De to første metodene vil gi de kraftigste trykkløgene i vannet. Ved bruk av den tredje metoden vil det meste av sjokket fra salva bli dempet av steinmassene som ligger mellom ladningen og vannet. Dette fordi mesteparten av energien i sprengladningen går med til å flytte massene i stedet for å generere sjokkløger ut i vannet.

Massene som skal fylles ut i vannet kommer hovedsakelig fra kabeltunnelen som skal drives i dette prosjektet. Denne tunnelen har et tverrsnitt på 26 m², noe som medfører at steinstørrelsen blir mindre enn f.eks. fra veitunneler på 65-85 m². Dette er gunstig for metoden med nedpressing av stålrør.

Forslag til tiltak

Norconsult foreslår at Statnett pålegger entreprenøren å benytte sprengningsteknikken som gir minst trykkløger i vannet (se over) samt begrense salvestørrelse. Man vil kunne sette krav til maks ladning pr tennernummer og til samlet ladning pr salve.

Dersom det mot formodning skulle vise seg at sprengningene forårsaker omfattende skader på fisk, anbefaler vi at Statnett vurderer å sette av en liten ladning⁷ i vannet kort tid før hovedladningen sprenges. Dette vil skremme bort fisk uten å skade den, og forebygge skade fra påfølgende sprengning. Metoden er nevnt i Statens vegvesen sin håndbok i grunnforsterkning, fyllinger og skrånninger.

⁷ Merk at en ladning på 0,5 kg detonert fritt i vann fort kan ende opp med å ha den samme skadepotensialet som 3-4 kg i et borehull eller nedgravd i stein/løsmasser. Størrelse på ladning som eventuelt skal brukes til å «skremme» fisken må derfor være tilpasset formålet.

KONKLUSJON

Etter et gjennomgang med våre fagmiljøer på ingeniørgeologi og maskin har Norconsult kommet frem til at det er lite sannsynlig at en hensiktsmessig boblegardin kan anlegges på tiltaksområdet på Strandanes gitt dens fysiske beskaffenhet og anleggstekniske forutsetninger. Norconsult kan ikke anbefale bruk av teknologien. I tillegg til de anleggstekniske utfordringene kan ikke effekten beregnes eller estimeres med tilstrekkelig sikkerhet. I tillegg forventes betydelige kostnader⁸ for etablering og drift av et slikt anlegg. Fordi de nødvendige tekniske forutsetninger ikke ligger til grunn må andre tiltak vurderes.

Hensikten som vilkår i tillatelsen søker å ivareta gjennom krav om bruk av boblegardin er følgende;

- Begrense partikkelspredning under sprengning
- Begrense trykkbølger som følge av sprengning

Tiltakshaver ønsker å imøtekomme kravet ved bruk av andre tiltak grunnet økonomiske og tekniske utfordringer knyttet til anlegging av boblegardinen, belyst i dokumentet over.

- Partikkelspredning begrenses ved bruk av et siltskjørt, som beskrevet tidligere. Effekten måles gjennom overvåkingsprogrammet. Ved overskridelser av akseptkriteriet stanses anleggsarbeid inntil FTU/NTU har stabilisert seg på et akseptabel nivå slik dette defineres i overvåkingsprogram.
- Begrensninger på sprengningsarbeid skal overholdes. Det skal ikke sprenges i periodene 15. august til 1. oktober, og 20. april til 10. juni.

Med hensyn til størrelse på risiko som forbindes med partikkelspredning fra sprengstein og sprengning i disse viser vi til tidligere omtalt rapport⁹. Her oppsummeres risikoen på følgende måte:

«Partikler som holdes i suspensjon i vannet vil både fortynnes betydelig før de når Suldalsosen og antakelig vil også mye av de fineste partiklene sedimentere før de når dette området. Risikoen for spredning av vann med høye partikkelkonsentrasjoner nedover i vassdraget er derfor vurdert som svært liten.»

- Trykkbølger reduseres ved tilpasset sprengning i stålør med små salver (5-10 kg) som presses ned i fyllingen 3-5 m fra fyllingsskråningen. Salvene utløses i serie med forsinkelse mellom ladingene for å unngå forsterkninger av trykkbølgen.
- Fiskehelse ivaretas ved overholdelse av tidsbegrensninger for sprengningsarbeid omtalt over og ved observasjoner av fiskedød skal bruk av forvarsel (minilading) vurderes for å skremme fisk bort.

Med hensyn til størrelse på risiko som forbindes med sprengningsarbeid viser vi til avsnittet over som omhandler dødelighet for fisk. Her er influensområdet estimert med bakgrunn i data og erfaring fra tilsvarende oppdrag. Negative påvirkninger må påregnes inntil 200 m fra sprengningsfronten. Dette er et meget begrenset influensområde. Derfor betegnes risikonivået som lavt.

Med bakgrunn i disse supplerende opplysninger anbefaler vi at kravet om boblegardin for å beskytte fisk mot trykkbølger i vann revurderes.

Bergen, 2015-11-06

Utarbeidet:

Thomas Mathiesen
Edana Fedje

Fagkontroll:

Johann Örn
Endre Læg Reid

Godkjent:

Endre Læg Reid

⁸ Tiltaket er ikke kostnadsestimert på detaljnivå fordi spesifikasjonene for boblegardiner av den størrelsen finnes ikke. Flere forhold vil være fordyrende ved etablering og drifting av sårbart infrastruktur i Suldalsvatnet og det er med bakgrunn i dette at man antar at kostnadene vil være betydelige.

⁹ Norconsult, 2014. Tiltak i sediment Suldalsvatnet.

