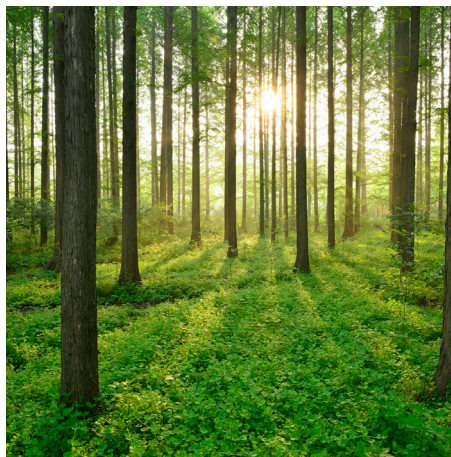
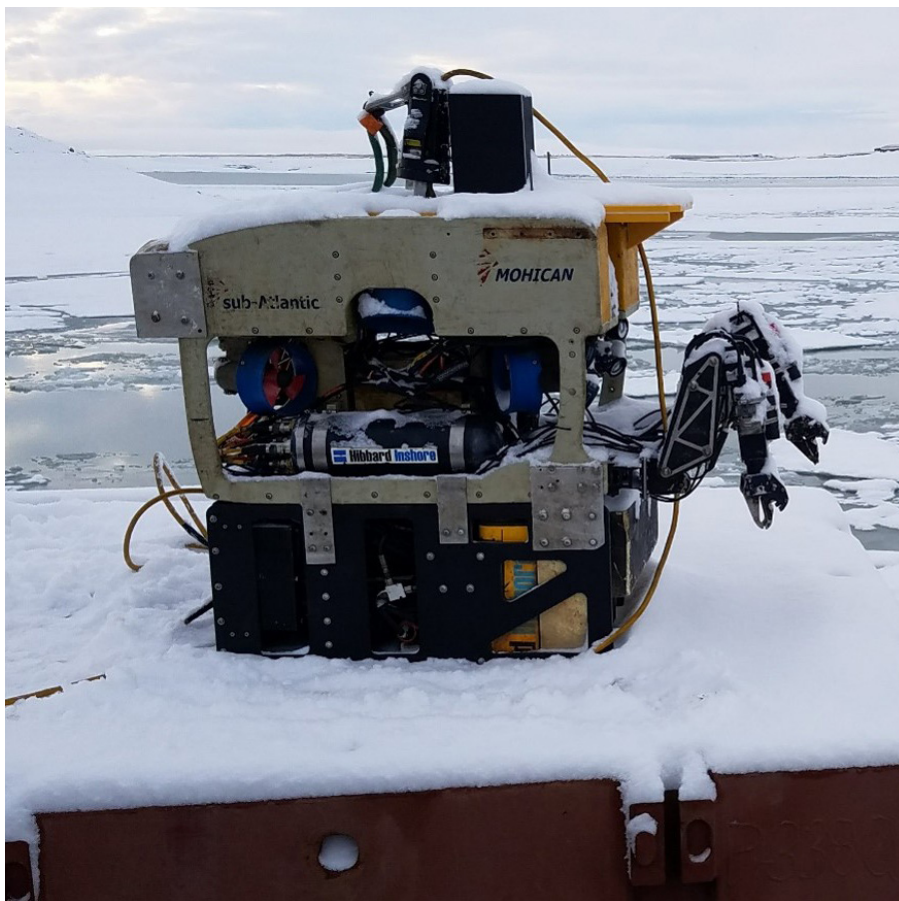


UNDERHÅLL AV VATTENFYLLDA BERGTUNNAR MED ROV

RAPPORT 2024:1020



VATTENKRAFTENS BERGFRÅGOR



Underhåll av vattenfyllda bergtunnlar med ROV

MIKAEL SUNDBERG

ISBN 978-91-89919-20-4 | © Energiforsk maj 2024

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Det finns ett stort antal vattenkraftverk med tillhörande berganläggningar som helt eller delvis vattenfyllda tunnlar i Sverige. Tidigare har dessa varit mycket svåra att inspektera, men numer finns det fjärrstyrda undervattensfarkoster som kan användas. Den här rapporten samlar exempel och erfarenheter från både befintliga och nya användningsområden av fjärrstyrda undervattensfarkoster, och syftar till att belysa de möjligheter som finns för att utnyttja dessa verktyg inom vattenkraftsbranschen.

Det här projektet, "Underhåll av vattenfyllda bergtunnlar med ROV", har genomförts inom Energiforsks program för vattenkraftens bergfrågor, som fokuserar på att stärka och bredda den forskning som finns om de bergtekniska frågor som är av intresse för vattenkraftsbranschen.

Projektet har utförts av AFRY, och författaren till rapporten är Mikael Sundberg. Referensgruppen till projektet bestod av Christian Bernstone, Niklas Widenberg och Mats Persson.

Bilden på framsidan tillhandahölls av Dave Malak på Hibbard Inshore.

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sammanfattning

Många av vattenkraftens bergtunnlar är helt eller delvis vattenfyllda och har aldrig tömts på vatten och har därmed varit mycket svåra att inspektera och underhålla på ett säkert sätt. Tekniken med undervattensfarkoster som fjärrstyrs, så kallad ROV och helt eller delvis autonoma farkoster, så kallade AUV, möjliggör snabba och säkra inspektioner och underhållsarbeten i vattenfyllda bergtunnlar. Dessa farkoster har utvecklats snabbt under det senaste årtiondet och nu finns det flera entreprenörer som utför tjänster med både ROV och AUV.

I november 2023 höll Energiforsk en workshop i Älvkarleby med temat "Användning av ROV för underhåll av bergförlagda vattenvägar" med bland annat erfarenheter från inspektioner utförda med ROV och AUV. Denna rapport består av en kortare litteraturstudie, en kort summering av presentationerna från workshopen samt en analys med några förslag på fortsatta utvecklingsaktiviteter.

Nyckelord

ROV, AUV, tunnlar, underhåll, undervattensarbeten, dykarbeten, datasäkerhet.

Summary

Many unlined rock-blasted hydro tunnels have never been drained and therefore been very difficult to inspect and maintained in a cost efficient and safe manner. The technology with Remotely Operated Vehicles (ROV) and Autonomous Underwater Vehicles (AUV) enables quick and safe inspections and makes maintenance possible in water filled rock-blasted tunnels.

These vehicles have developed rapidly during the last decade and there are several firms in Sweden performing services with ROV and AUV.

In November 2023, Energiforsk held a workshop in Älvkarleby with the topic “Using ROV for maintenance in Rock-Blasted tunnels” with invited people from the hydro industry with experience from works performed with ROV and AUV. This report contains a short literature study, a short summary of the presentations from the workshop and an analysis with some suggestions on further R&D activities and recommendations.

Innehåll

1	Inledning	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Omfattning och mål	8
1.3	Avgränsningar	8
1.4	Förkortningar	9
2	Verktyg och redskap för undervattens-farkoster	10
2.1	ROV	10
2.1.1	Verktyg och redskap för ROV	13
2.2	AUV	15
2.3	Kommunikation, interaktion och styrning	16
3	Underhåll och andra arbeten i bergtunnlar med ROV och AUV	17
3.1	Turbiditet	17
3.2	Underhåll som kan utföras med ROV	17
3.2.1	Förstörande provning	19
3.2.2	Icke förstörande betongtester under vatten	19
3.2.3	Schaktning och muddring	20
3.2.4	Rengöring	21
3.3	Underhåll som kan utföras med AUV	21
4	Datahantering	22
4.1	Hantering av Data	22
4.2	Förändringsdetektering av punktmoln	22
4.2.1	Förberedelser av punktmolnen	22
4.2.2	Jämförelsemetoder	23
4.2.3	Analys och visualisering	24
4.3	Säkerhet och data för skyddsklassade objekt	25
4.3.1	Lagar och förordningar	25
4.3.2	Säkerhetsskyddsavtal	26
4.3.3	Samhällsviktiga verksamheter	26
4.3.4	Zero Trust-modellen	27
5	Workshop 2023	30
5.1	Sammanfattning från workshopen	30
6	Diskussion, slutsats och rekommendation	35
6.1	Diskussion och slutsats	35
6.2	Rekomendation på prioriterade utvecklingsaktiviteter	35
7	Referenslista	37

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

I Sverige finns ett stort antal vattenkraftverk med tillhörande bergstunnlar. Tunnlarna är tagna i drift sedan början av 1900-talet och många anläggningar har därför många driftår. De flesta tunnlar har drivits konventionellt det vill säga med borrhning, sprängning och utschaktning av berg. Den svenska berggrunden är vanligtvis av högkvalitet men förstärkningar har utförts vid sämre partier av berg. Förstärkningar kan exempelvis vara utförda med bergsbult, betonggjutningar eller förstärkning med sprutbetong.

De delarna av vattenvägarna som är nära turbinerna är ofta utformade så att luckor kan stänga av vattenvägarna. Det är därefter möjligt, även om det kan vara komplicerat och tidskrävande, att tömma stora volymer vatten och inspektera de stora ytorna i vattenvägarna. Detta samordnas i så fall med annat arbete i kraftstationen för att minimera tid då turbinerna står stilla.

För den stora mängden sprängd tunnel, som har varit i drift i många år, har inspektion aldrig utförts. Det anses vara en stor risk att hastigt vattentömma bergstunnlar som varit utsatta för ett högt vattentryck under många år. Berg riskerar att rasa in och skada tunneln och manuell inspektion föregås vanligen av skrotning- och förstärkningsarbeten för att uppnå god arbetsmiljö. Allt detta är kostsamt, tidskrävande och förenat med risker. Inspektioner har därför inte blivit utförda om det inte funnits skäl att tro att tunnlar har problem.

De sista årtiondena har dock obemannade undervattensfarkoster, så kallade ROV, utvecklats och specialdesignats för att gå in i tunnlar och inspektera utan att vattenvägarna/tunnlarna töms på vatten. Dessa inspektioner är vanligen visuella och/eller med skanningstekniker (sonartekniker).

Under åren 2019 och 2020 genomfördes inom Energiforsk program för vattenkraftens bergfrågor en studie om förutsättningar för att genomföra undervattensbaserade inspektioner av bergstunnlar¹. Sedan dess har en mängd inspektioner utförts och nya frågeställningar blivit aktuella.

De vanliga resultaten från en inspektion med ROV är att man får en videofilm av intressanta delar av tunnelväggarna och man kan få en skanningsbild av tunneln och se om det finns rasmassor från tunnelns tak eller väggar. Någon riktig status på förstärkningarna, som håller sämre bergmassor innanför fås vanligen inte. För detta kan provkroppar behöva tas ut eller utföra ickeförstörande provning på plats. Tekniker för detta är till viss del under utveckling.

Från skanning fås vanligen mycket stora datamängder som har krav på avancerad datasäkerhet. Detta ställer höga krav på de inblandade som ska hantera datamängderna. Det finns också frågor på hur bra datafilerna kan användas som referenser för kommande inspektioner. Frågorna kan handla om säkerhet, lagring av stora datamängder, filformat med mera.

¹ Hansson (2020)

Uppdraget ligger inom Energiforsk Bergprogram Vattenkraft och uppdraget har utförts av Marta Flieger, Mikael Sundberg, Daniel Gustafsson, Pontus Gustavsson och Martin Hansson.

1.2 OMFATTNING OCH MÅL

Denna rapport omfattar:

- Uppdaterad tekniksammanställning (state-of-the-art) för ROV-baserade verktyg som kan tillföra nytta.
- Rutiner för operatörer av ROV-inspektioner och andra typer av ROV-baserade operationer i vattenvägar. Dessa rutiner skall beakta att vattenvägarna kan vara en del av anläggningar som utgör skyddsobjekt. Detta innebär att den data som genereras kan ha ett betydande skyddsvärde i alla dess aspekter. Detta går att ta del av i kapitel 4.
- Rekommendationer på hur jämförelser mellan återkommande inspektioner kan genomföras och automatiseras. Detta skall ges i form utav rekommendationer på konkreta, användbara och väldefinierade metoder och modeller. Kring detta följer att insamlad data behöver sparas tillsammans med en hög precision på positionering och att de filformat som används behöver vara väl framtidssäkrade. Detta går att ta del av i kapitel 4.
- Beskrivning om turbiditet och dess inverkan på inspekterbarhet. Detta går att ta del av i kapitel 3.
- Sammanfattning från Workshopen som hölls i Älvkarleby, november 2023. Detta går att ta del av i kapitel 5.

Målsättningen med rapporten är förutom att sammanfatta presentationerna, diskussionerna och resultatet från workshopen i Älvkarleby att få en uppfattning av vad som kan utföras med ROV-tekniken vid inspektioner och underhåll av en vattenfyllda bergtunnlar med dagens teknik samt lämna rekommendationer för utförare och identifiera fortsatta FoU områden.

1.3 AVGRÄNSNINGAR

Rapporten presenterar inga djupgående analyser av workshopen utan sammanfattar det som diskuterades under workshopen.

Litteraturstudien skall inte ses som heltäckande utan en övergripande genomgång av nuläget inom området.

1.4 FÖRKORTNINGAR

AI	= Artificiell intelligens
AUV	= Autonomous Underwater Vehicle
BYOD	= Bring your own device
DMZ	= DeMilitarized Zone, "demilitariserad zon" (inom nätverk)
DOF	= Degrees Of Freedom
MFA	= Multifaktorautentisering
OBSROV	= Observational Class Remote Operated Vehicle
ROV	= Remote Operated Vehicle
WROV	= Work Class Remote Operated Vehicle

2 Verktyg och redskap för undervattensfarkoster

Med undervattensfarkoster utförs idag vanligen inspektioner med videofilmning och för större farkoster även sonarskanning. Vartefter behoven uppstått har det även tagits fram verktyg och redskap. Större farkoster kan vanligen ha större och kraftigare hjälpmedel men även mindre farkoster kan utrustas med till exempel en gripklo för enklare uppgifter. Nedan kommer exempel på olika typer av ROVer och verktyg och redskap som hittats i litteraturen. Generellt är autonoma farkoster mindre vanliga och är inte lika utförligt beskrivna i litteraturen. Verktyg och redskap kan anpassas även för dessa på samma sätt som för ROVer men är mer komplext att få det att fungera då farkosten måste ta alla beslut och vägval själv för att utföra uppgiften. I det sista avsnittet i detta kapitel beskrivs hur styrningen av ROV kan påverkas av fördröjning av kommunikationen mellan operatören och farkosten.

2.1 ROV

En ROV (Remotely Operated Vehicle) är en fjärrstyrd undervattensfarkost som är sammankopplad via en kabel till en operatör ovan vattenytan på land eller till exempel i en båt. Operatören för en ROV benämns som pilot.

På marknaden finns det flertalet olika typer av ROV i olika storlekar, vikter och utförande som är avsedda för olika ändamål. Beroende på vilket ändamål ROV ska användas till så finns det olika hjälpmedel och verktyg som ROV kan utrustas med.

Det finns mindre och lättare ROV som kan utrustas med enklare hjälpmedel som tex. kameror, lättare mätutrustning och provtagningsutrustning. Dessa maskiner har oftast ett begränsat arbetsområde både i djup och avståndsmässigt samt kortare drifttid. Dessa ROV-maskiner brukar benämnas som Observational Class ROV (OBSROV).

Lämpliga användningsområden för denna typ av maskin kan vara enklare inspektioner där man inte behöver lång räckvidd eller drifttid, där vikt och tillgänglighet prioriteras.

Tillverkare i denna kategori är bland annat Chasing-Innovation, se Figur 2-1.



Figur 2-1 Mindre typ av ROV för enklare arbetsuppgifter (OBSROV)²

Nästa kategori av ROV är större och således tyngre som inte är lika lättillgängliga men har både större arbetsområde både i djup och avståndsmässigt. Dessa benämns som Work Class ROV (WROV)

Dessa maskiner kan utrustas med kraftigare utrustning som avancerade kamera- och mätutrustning, provtagningsutrustning samt manipulatorer och end-effectors dvs robotarmar med olika verktyg för att utföra en viss typ av uppgift.

Lämpliga användningsområden för denna typ av maskin är avancerade inspektioner och lättare underhållsarbeten i vatten.

Tillverkare i denna kategori är bland annat Videoray, se Figur 2-2.

² Chasing (2023)



Figur 2-2 Mellanstorlek på ROV (WROV)³

Sista kategorien är stora ROV som benämns ibland på engelska Heavy Work Class ROV men ingår i kategorin WROV och som används uteslutande att utföra tyngre specifika arbetsuppgifter i vatten för tex. underhållsarbeten och då inte är lämpliga för enklare inspektioner och lättare underhåll som de två kategorierna nämnda ovan.

Tillverkare i denna kategori är bland annat Oceaneering, se Figur 2-3.



Figur 2-3 En stor modell av WROV, Oceaneering Magnus Plus⁴

³ Videoray (2023)

⁴ Oceaneering (2023)

I Sverige finns det i dagsläget flertal leverantörer som erbjuder tjänster inom ROV i olika storlekar samt med och utan manipulatorer.

Vissa anläggningsägare har själva investerat i egna mindre ROV.

2.1.1 Verktyg och redskap för ROV

För att kunna utföra arbetsuppgifter under vattnet så behöver man olika typer av verktyg eller redskap som kopplas på ROV-maskinen. Dessa redskap kallas för manipulatorer och sluteffektorer, se Figur 2-4. Manipulator är själva armen och redskapet som är kopplat på kallas för sluteffektor.



Figur 2-4 Manipulator med gripklo⁵

⁵ Schilling (2023)

Det finns beskrivet i litteraturen olika uppgifter som är utförda med redskap kopplade till ROV-maskiner till exempel⁶:

- Rör- och ledningsinspektion
- Lägga ut och laga ledningar
- Minröjning
- Rengöring av olika ytor
- Öppna och stänga ventiler
- Borring
- Klippa av rep
- Drivgodsrengöring
- Rengöra nät
- Ta ut geologiska och biologiska prover
- Arkeologiskt arbete

Manipulatorer kan se mycket olika ut men majoriteten av dem är så kallade fysiskt antropomorfiska det vill säga att de liknar/ påminner om en mänsklig arm.

Generellt är Work-Class ROV utrustade med två manipulatorer, en kraftfullare som håller fast ROV nära konstruktionen och den andra utför själva arbetsuppgiften.

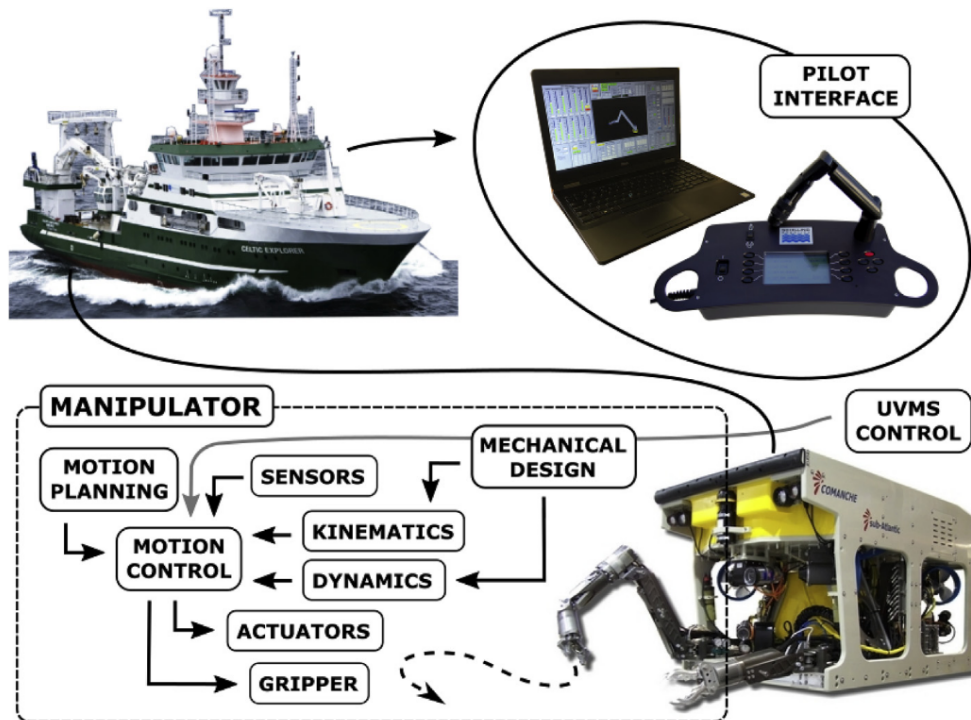
Manipulatorerna har olika specifikationer och de viktigaste är:

- Antalet frihetsgrader (DOF) vanligtvis är en manipulator utformad med 3-6 DOF. En frihetsgrad är en oberoende led som kan ge manipulatorens rörelsefrihet, antingen i en roterande- eller linjärrörelse.
- Manipulatorns vikt (i luft) som är mellan 5 och 150 kg, deras vikt i vatten är dock viktigare, eftersom den bestämmer den flytkraft som behövs på undervattensfarkosten för att kompensera för manipulatorens vikt, placering och storlek är mycket viktiga faktorer och kan därmed påverka hela systemets prestanda.
- Räckvidden på manipulatorens dvs det arbetsområde som ROV kan operera i när den utför en arbetsuppgift som vanligtvis är 0,5 m upp till 2,4 m (längden på armen fullt utdragen).
- Maximal lyftkapacitet på en undervattensmanipulator ligger i intervallet 5-500 kg (vikt i vatten) och beror på i vilket läge manipulatorens befinner sig i.
- Typ av styrning, det finns hydrauliska manöverbara och elektriskt styrda manipulatorer och då har hydrauliska systemen ett högre effekt/vikt förhållande medan elektriskt styrda är mer exakt i rörelse och kontroll.

⁶ Sivčev et al (2018)

- Manipulatorns kraft är viktig faktor beroende på arbetsuppgift och ligger på mellan 8-250 Nm.

Faktorer som kan påverka manipulatorns prestanda illustreras i Figur 2-5.



Figur 2-5 Faktorer som påverkar manipulatorns prestanda⁷

2.2 AUV

En AUV (Autonomous Underwater Vehicle) är en undervattensfarkost som till skillnad från en ROV inte är sammankopplad med en kabel mellan AUV och operatören. En AUV kan antingen vara fjärrstyrd eller operera med ett förinställt program. Vanlig benämning i dagsläget är undervattensdrönare.

Antalet producenter av AUV har ökat mycket senaste årtiondena. Under 1990-talet byggdes ungefär 30 st i världen⁸. Försvarsmaterielproducenten L3Harris hävdar att de under de senaste 15 åren har levererat över 375 UAV-farkoster av typen Iver3.

För navigeringen under vatten och speciellt i tunnlar, är en utmaning då GPS-signalerna inte kan tas emot under vattenytan. Det finns dock utveckling av instrument som är mer exakta än de som finns tillgängliga idag.

En AUV till skillnad från ROV är anpassade till andra typer av uppdrag och då mer övervakning och inspektioner och i vissa fall upprepade inspektioner med förinställda intervall.

⁷ Sivčev et al (2018)

⁸ Yuh (2000)

Det finns också AUV som kan stationeras i vatten med dockningsstationer som förser AUV med kraft och kommunikation. Dessa är till för återkommande övervakning och inspektioner. Att utrusta AUV-farkoster med verktyg och redskap är möjligt men mer komplext.

2.3 KOMMUNIKATION, INTERAKTION OCH STYRNING

Interaktionen mellan undervattensfarkosten och piloten är mycket viktig speciellt i tunnlar då det vanligen är relativt trånga utrymmen.

För ROV så sker kommunikation via en kabel från operatören som är landbaserad och styrs via en styrenhet. Beroende på typ och modell av ROV så varierar styrenheternas utformning. För AUV så kan kommunikationen ske trådlöst via ljud- eller ljusbaserad kommunikation om det sker någon överföring alls.

Teleoperation för robotar handlar om att en mänsklig operatör instruerar och övervakar en robot på distans. Kommunikation kan ske på olika sätt tex via trådlös kommunikation eller en kabel. Idag kan kommunikationen även ske via internet. Roboten kan utföra order helt enligt operatörens instruktion eller har en varierad grad av artificiell intelligens (AI).

Fjärrnärvaro handlar även om att roboten kan förmedla tillbaka intryck till operatören. Det skulle kunna vara att en robot drar åt en mutter via ett kommando och då känner operatören att motståndet ökar vartefter muttern blir åtdragen eller att operatören har på sig VR-glasögon och ser det som roboten ser.

Vid teleoperation och fjärrnärvaro kan tidsfördröjningar ge upphov till problem redan vid så kort fördröjning som 10–20 millisekunder. Till exempel att köra en bil med teleoperation och fördröjningen är längre än 170 millisekunder leder till att kontrollen över bilen minskade drastiskt. För robotkontroll kan varierande tidsfördröjning vara ett större problem då det kan leda till upprepade kommandon som kan ge oönskade resultat. Motsvarigheten i dagligt liv är till exempel pekskärmar som inte direkt ger önskat resultat utan man fortsätter att trycka på samma bokstav eller knapp vilket leder till samma bokstav kommer flera gånger eller att man har tryckt OK i ytterligare ett par steg jämfört med vad man tänkt sig.

3 Underhåll och andra arbeten i bergtunnlar med ROV och AUV

3.1 TURBIDITET

För både användning av ROV och AUV är det nödvändigt att farkosten, eller den som styr farkosten, kan lokalisera och navigera. En faktor som kan ha stor påverkan av detta är vattnets turbiditet det vill säga grumlighet. Turbiditet är ett mått som beskriver hur mycket av det infallande ljuset som avviker från sin rätlinjiga bana, vilket i sin tur ger en indikation på partikelhalten i vattnet⁹. Turbiditet anges vanligen i enheten FNU (Formazine Nephelometric Unit) men även andra enheter förekommer¹⁰.

Det finns olika orsaker till turbiditet: mänskliga aktiviteter som jordbruk, gruvdrift och skogsavverkning; biologiska faktorer så som plankton, bakterier och andra mikroorganismer; samt naturliga processer som kraftiga regnfall¹¹.

När det kommer till inspektioner som utförs med ROV eller AUV utrustade med kameror, kan hög turbiditet försvåra möjligheten att få skarp foto- och videodokumentation. Detta kan i sin tur påverka förmågan att identifiera och bedöma strukturer och andra objekt av intresse. Till viss del kan detta kompenseras genom att gå närmre ytan som inspekteras. Tiden att utföra inspektionen förlängs dock. Följaktligen kan noggrannheten vid exempelvis en inspektion försämrast^{12 13}.

Med andra ord kan turbiditet skapa hinder för inspektioner som utförs med kamera. Sonar däremot, påverkas inte i samma utsträckning av den visuella synligheten i vatten. Genom att integrera sonar på ett effektivt sätt kan det observerbara utökas jämfört med vad en kamera kan uppfatta, vilket kan resultera i förbättrad navigering och till viss del inspekterbarhet¹⁴. Beroende på syftet med inspektionen så är sonar användbar tex för att få veta hur strukturen ser ut eller om det har fallit ut berg i en tunnel men att hitta mindre sprickor på betongytor är oftast inte möjligt.

3.2 UNDERHÅLL SOM KAN UTFÖRAS MED ROV

Med en ROV så kan inspektioner och underhållsarbeten utföras utan att behöva tömma vattenfyllda bergtunnlar och andra vattenfyllda utrymmen.

Exempel på inspektioner och underhåll som kan utföras med ROV och AUV för vattenfyllda utrymmen inom vattenkraft är bland annat:

⁹ Sveriges lantbruksuniversitet (2023)

¹⁰ SGU (2024)

¹¹ Acandia (2024)

¹² Hoosang Lee, Daehyeon Jeong, Hongje Yu, Jaha Ryu (2022)

¹³ Jiawei Zhang, Fenglei Han, Duanfeng Han, Jianfeng Yang, Wangyuan Zhao, Hansheng Li (2024)

¹⁴ Blueye (2022)

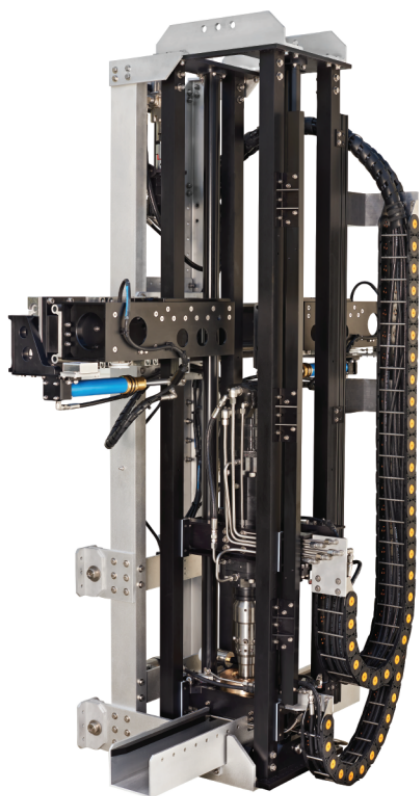
- Inspektion av tex. tunnlar, bergytor, betongkonstruktioner, dammkonstruktioner, galler och luckor.
- Provtagning och materialinsamling
- Schaktning och muddring
- Utföra arbetsuppgifter i vatten istället för dykare för att uppnå en säkrare arbetsmiljö eller där det är för farligt att skicka ner en dykare
- Rengöring

Några av inspektions- och underhållsarbeten beskrivs mer detaljerat nedan som kan vara relevanta inom vattenkraft.

3.2.1 Förstörande provning

På marknaden finns det ett antal producenter av borrhigar som kan monteras på en Work-Class ROV för att ta ut kärnborrprover på stora djup.

Exempelvis har Williams & Associates utvecklat en borrhigg som heter ROCS som kan borra 70-100 mm i håldiameter och upp till 1000 mm i längd, se Figur 3-1.



Figur 3-1 Borrhigg anpassad till användning på ROV¹⁵

3.2.2 Icke förstörande betongtester under vatten

Det gjordes ett försök att anpassa ROV och mätinstrument för att utföra icke förstörande betongtest med hjälp av en Schmidt hammare även kallad Rebound Hammer samt mätning av Ultrasonic Pulse Velocity¹⁶. Från försöket så kunde man konstatera att det inte är ett kommersiellt system pga. för stora avvikelser jämfört med tester utförda på land.

Det har också provats ett system med neutrongenerator/ alfapartikelteknik monterat på en ROV för att mäta täcksikt till armering, armeringsdiameter¹⁷. Genom kalibrering skulle det med tekniken även vara möjligt att mäta bland annat silikatinnehåll (från alkalireaktion). Mätningar kan utföras utan rengöring av ytan (i försöket var påväxten 4-6 cm tjock).

¹⁵ WASSOC (2023)

¹⁶ Venkatesh et al (2022)

¹⁷ Sudac et al (2013)

3.2.3 Schaktning och muddring

Grävning, muddring och masstransport kan utföras med hjälp av ROV-baserade grävmaskiner för att utföra arbeten i vatten.

Exempel på arbetsuppgifter som eventuellt kan vara aktuella för vattenkraftsanläggningar är bland annat:

- Avlägsna sediment
- Bortschaktning av stenblock och andra större föremål
- Schakt i vattenfyllda tunnar
- Flytta massor i vattenfyllda tunnar

Grävmaskiner för undervattensarbeten klarar inte så stora djup. Enligt en tillverkarens specifikation sätter max arbetsdjup till ca 20 m (utan förklaring till orsak). Dessa maskiner kan dessutom vara för stora för att kunna arbeta i de flesta av Sveriges vattenkraftstunnar. Andra schaktfria arbetsmetoder kan då vara mer lämpliga för exemplen ovan.

Till undervattensgrävmaskiner finns ett brett utbud av redskap som grävmaskinen kan utrustas med, förutom schakt och muddring finns även redskap för tex. Borrning, rengöring och rivning¹⁸.

Scanmachine är en tillverkare av ROV-baserade grävmaskiner, se Figur 3-1.



Figur 3-1 Undervattensgrävmaskin av typen Scanmachine 40Te¹⁹

¹⁸ Scanmuddring Equipment (2023)

¹⁹ Scanmuddring (2023)

3.2.4 Rengöring

Utrustning för rengöring finns till ROV med tex. Högtryckstvätt som kan vara användbart om en visuell inspektion ska utföras men ytan är täckt med sediment eller dylikt som skulle försvåra inspektionen²⁰.

3.3 UNDERHÅLL SOM KAN UTFÖRAS MED AUV

Underhåll som kan utföras med en AUV är, till skillnad från att använda en ROV, mer inriktade på inspektioner och lättare arbetsuppgifter än att utföra tyngre arbetsuppgifter som en WROV är mer lämplig att utföra.

En AUV kan arbeta med att utföra inspektioner, övervakning och inmätningar både med en operatör samt automatiserat och arbeta över ett större arbetsområde för att samla in data och sedan skicka data till operatören eller tanka av data vid en dockningsstation för att sedan föras över till landbaserade operatören.

En AUV kan vara stationerad i vatten vid en dockningsstation och utföra återkommande inspektioner/ övervakning av vattenfyllda tunnlar med ett förinställt intervall om man vill automatisera inspektioner av vattenfyllda tunnlar, se Figur 3-2.



Figur 3-2 En Saab Sabertooth Dubbel Hull AUV med dockningsstation²¹

²⁰ Stinger (2023)

²¹ Saab (2023)

4 Datahantering

4.1 HANTERING AV DATA

Datahantering omfattar alla de processer och principer som berör insamling, lagring, hantering, användning och skydd av data. Projekt som inbegriper inspektion eller underhåll med fjärrstyrda undervattensfordon (ROV) i vattenfyllda bergtunnlar innehåller flera element av datahantering som även omgärdas av flera utmaningar kring samverkan, användningen av insamlat data, lagkrav och datasäkerhet.

Detta kapitel kommer att beskriva tre specifika områden mer ingående. Inledningsvis, i avsnitt 4.2, undersöks hur spatiala mätdata, som punktmoln, kan användas för att analysera och identifiera förändringar i ett objekt över tid, exempelvis för att observera förändringar på ytan av en bergtunnel. I det andra avsnittet, 4.3, ligger fokus på relevanta lagar och regler samt samarbetsmetoder för hantering av skyddsvärda data genom avtal. Avslutningsvis presenteras i avsnitt 4.4 en översikt av en ny strategi inom cybersäkerhet, känd som Zero Trust. Diskussionen kommer att belysa varför denna strategi är av stor vikt för företag i dagens digitala landskap.

4.2 FÖRÄNDRINGSDETEKTERING AV PUNKTMOLN

Förändringsdetektering är en process för att upptäcka variationer mellan två tidsmässigt oberoende punktmoln. Denna analys används bland annat inom geologi, arkitektur, byggnadsverksamhet, miljöövervakning samt andra områden där förändringsdetektering är av betydelse.

Specialiserade programvaror såsom CloudCompare²², Autodesk Recap och Global Mapper används bland annat för att hantera och analysera förändringar mellan punktmoln. Arbetsflödet i dessa programvaror, som omfattar jämförelsen, innefattar förberedelser och rensning av punktmolnen, val av jämförelsemetoder samt slutligen analys och visualisering. Denna process kommer att granskas närmare för att ge en djupare förståelse för hur dessa steg bidrar till effektiv datahantering och analys.

4.2.1 Förberedelser av punktmolnen

Ordspråket "skräp in ger skräp ut" är en metafor som illustrerar vikten av att använda kvalitativa data eller information i alla processer som kräver databehandling eller analys. Uttrycket betonar att kvalitén på det slutliga resultatet direkt beror på kvalitén av de insatsdata som används, oavsett hur sofistikerade beräknings- eller analysmetoder som används. Noggrannhet och uppmärksamhet på detaljer vid insamling och förberedelse av data är avgörande för att uppnå tillförlitliga och användbara resultat. Detta gäller självfallet även för när två punktmoln ska jämföras.

²² Girardeau-Montaut, D. (2022)

Rensning av felaktiga punkter i ett punktmoln är ett viktigt förberedande steg inför analys och användning av punktmolnets data. Detta steg syftar till att förbättra datakvaliteten genom att avlägsna punkter som kan förvränga resultatet av den efterföljande analysen. Processen kan innefatta flera metoder och tekniker där man allt från rent manuellt arbetar med att redigera punktmolnet till mer avancerade datorstödda funktioner i programvarorna med varierande filtreringsalgoritmer som kan reducera brus och avvikande punkter och objekt. Målet med att rensa felaktiga punkter från ett punktmoln är att förbättra dess representation av det faktiska objektet eller området. Genom att avlägsna brus och oönskade datapunkter kan man säkerställa att punktmolnet mer exakt återspeglar den verkliga miljön. Detta är avgörande för att öka tillförlitligheten och noggrannheten i alla efterföljande analyser som baseras på punktmolnet.

Programvarorna hjälper även att normalisera ett punktmoln i förhållande till ett annat så de får samma skala och orientering. Detta så att de matchar varandra så nära som möjligt, vilket ofta görs genom en process som kallas för "point-set registration"²³. Det är en process inom datavetenskap och datorseende där man syftar till att hitta den bästa överensstämmelsen mellan två eller flera uppsättningar av bl.a. punktmoln. Processen innebär typiskt att man hittar den optimala kombinationen av rotationer, translationer (förskjutningar) och skalning, som bäst anpassar ett punktmoln till en annan. Målet är att minimera avståndet mellan motsvarande punkter i de två uppsättningarna innan jämförelserna mellan punktmoln från olika tidpunkter startar.

4.2.2 Jämförelsemetoder

När punktmoln jämförs används en rad olika metoder och algoritmer för att upptäcka och analysera skillnader mellan datamängderna. Dessa tekniker varierar i komplexitet och detaljrikedom, vilket ger användarna flexibilitet att anpassa analysen efter sina specifika krav och den noggrannhetsgrad de eftersträvar. Val av den rätta metoden gör det möjligt att effektivt upptäcka förändringar eller avvikelser inom punktmolnen. Specifikt, i situationer där det är nödvändigt att utvärdera ras eller erosionsskador i bergtunnlar, kan dessa jämförelsemetoder erbjuda ett kraftfullt verktyg. Genom att analysera spatiala mätdata insamlade över tid från ROV-inspektioner, kan användare inte bara identifiera var erosion har skett, utan även få insikt i hur omfattande skadorna är, vilket är avgörande för underhållsplanering och riskbedömning.

I de specialiserade programvaror för punktmolnshantering och -analys erbjuds vanligtvis ett urval av jämförelsemodeller. Här följer en kortfattad översikt över några av de vanligaste modellerna som används.

Cloud-to-Cloud, förkortat C2C²⁴, är en algoritm som jämför avståndet mellan motsvarande punkter i två olika punktmoln för att upptäcka förändringar eller skillnader. Genom att beräkna det närmaste avståndet mellan varje punkt i ett punktmoln till alla punkter i det andra molnet, ger C2C en detaljerad bild av de rumsliga skillnaderna mellan molnen.

²³ Zhu, Hao, Bin Guo (2019)

²⁴ Girardeau-Montaut, Daniel & Roux (2005)

Cloud-to-Model, förkortat C2M²⁵, involverar jämförelsen av punkter i ett punktmoln med en geometrisk modell eller mesh. Denna metod är användbar för att bedöma hur väl punktmolnet överensstämmer med en fördefinierad modell eller för att identifiera avvikelser från en förväntad struktur.

Digital Elevation Model (DEM) of Difference, förkortat DoD²⁶, inriktar sig på att kartlägga topografiska förändringar genom att dra av en digital höjdmodell (DEM) från en annan. En DEM representerar jordytans höjd, där element som vegetation och byggnader har tagits bort för att fokusera på den rena terrängen. Punktmolnet som används för att skapa DEM:en anpassas och projiceras på xy-planet. När två sådana DEM:er subtraheras från varandra framträder en DoD, som tydligt visar förändringar vertikalt längs z-axeln, en axel som representerar höjd över havet. Denna metod gör det möjligt att på ett effektivt sätt visualisera och kvantifiera hur terrängen har förändrats över tid, vilket är särskilt användbart inom områden som erosionstudier, miljöövervakning och geologiska undersökningar. Metoden är inte lämpad för att detektera förändringar i komplex miljö som t.ex. i tunnlar.

Multi-Scale Model to Modyl Cloud Comparison, förkortat M3C2²⁷, är en avancerad metod för att jämföra och analysera förändringar mellan två punktmoln. Denna teknik är utformad för att effektivt mäta skillnader mellan punktmoln genom att ta hänsyn till den lokala ytorienteringen och skalan vid jämförelsepunkterna. M3C2 fungerar genom att först välja ut kärnpunkter i referenspunktmolnet och sedan beräkna normalvektorer för dessa punkter baserat på deras omedelbara grannar. Med hjälp av dessa normalvektorer skapas sökcykler längs varje kärnpunkt, inom vilka ett genomsnittligt avstånd mellan de jämförda molnen beräknas.

M3C2 metoden är särskilt användbar för att analysera punktmoln från områden med komplex geometri som t.ex. tunnlar och där traditionella jämförelsemetoder kan ha svårt att ge en korrekt bild av förändringarna. M3C2 tillhandahåller detaljerade och tillförlitliga resultat som kan användas för en mängd olika tillämpningar, inklusive övervakning av erosion och ras i vattenfyllda bergtunnlar. Tack vare dess effektivitet och noggrannhet har M3C2 blivit en populär metod²⁸ inom områden där precision är avgörande för att förstå och dokumentera förändringar i den fysiska miljön.

4.2.3 Analys och visualisering

Efter att ha jämfört två punktmoln genomgår resultaten en process av statistisk analys och visualisering för att tydliggöra och kvantifiera de upptäckta förändringarna. Genom att beräkna genomsnittliga avstånd mellan motsvarande punkter i de två punktmolnen kan en övergripande bild av förändringarna framträda. Standardavvikelser ger insikt i variationen av dessa avstånd och hjälper till att identifiera områden med större eller mindre förändringar.

För visualiseringen används olika verktyg för att omvandla de statistiska resultaten till intuitiva och lättförståeliga visuella representationer. Kartor eller

²⁵ Angelosanti, Marco & Currà, Edoardo & Sabato, Alessandro. (2023)

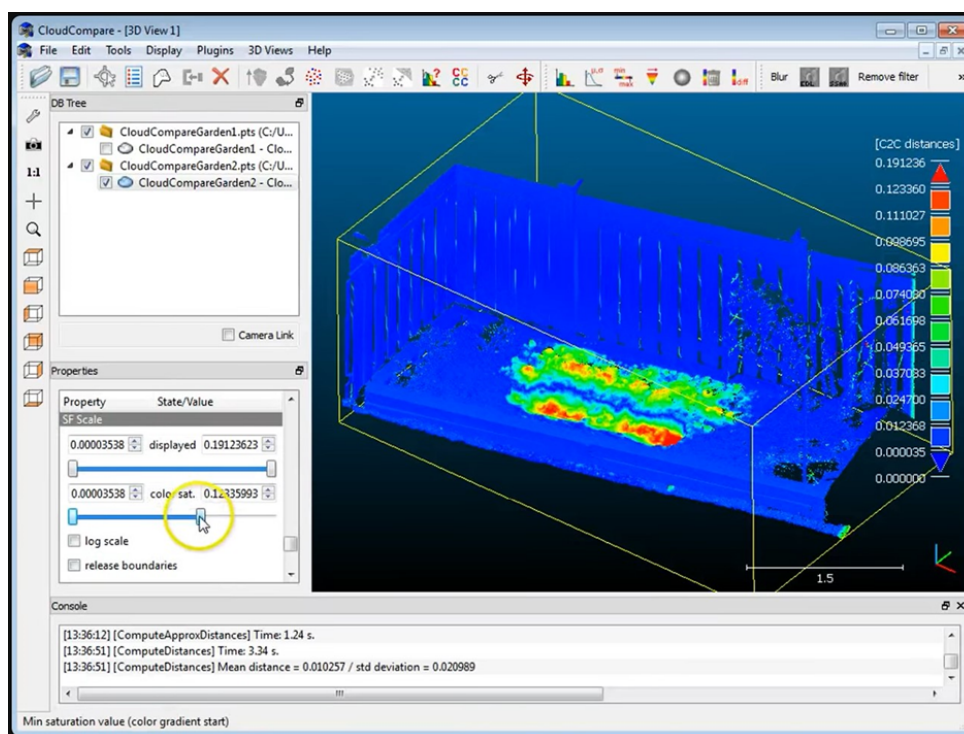
²⁶ Abellán, A. Jaboyedoff, M. Oppikofer, T. (2009)

²⁷ Lague, Dimitri & Brodu, Nicolas & Leroux, Jérôme. (2013)

²⁸ Diffrancesco, Paul-Mark & Bonneau, David & Hutchinson, D.. (2020)

tredimensionella modeller kan skapas för att illustrera var och hur förändringarna har ägt rum. Färgkodade punktmoln är ett effektivt sätt att visuellt skilja mellan olika nivåer av förändring, där varje färg representerar en specifik grad av skillnad mellan de jämförda punktmolnen. Dessa visualiseringar gör det möjligt för användare att snabbt identifiera fokusområden och förstå den rumsliga fördelningen av förändringar.

Genom kombinationen av statistisk analys och avancerad visualisering blir det möjligt att inte bara kvantifiera utan också visualisera förändringarna på ett sätt som är tillgängligt och begripligt för ett brett spektrum av användare, från tekniska experter till beslutsfattare.



Figur 4-1 Ett exempel på när M3C2-metoden används då den är fritt tillgänglig som ett tillägg inom den öppna källkodsprogramvaran CloudCompare. Bilden visar jämförelsen i ett trädgårdsland där man grävt upp landet en bit och skapat två före och efter punktmoln. Vi ser med färgkodningen vart de största förändringarna är²⁹.

4.3 SÄKERHET OCH DATA FÖR SKYDDSKLASSADE OBJEKT

4.3.1 Lagar och förordningar

Den nya säkerhetsskyddslagen (2018:585) i Sverige, som trädde i kraft den 1 januari 2019, ersätter den tidigare lagen från 1996. Denna uppdatering var en respons på det förändrade säkerhetsläget, både globalt och nationellt, och den snabba utvecklingen inom informationsteknik.

²⁹ 3D Forensics (2012)

Säkerhetsskyddslagen i Sverige handlar om att skydda viktig information och verksamhet som är av betydelse för Sveriges säkerhet. Denna lag täcker olika aspekter av säkerhet, som informationssäkerhet, fysisk säkerhet, bakgrundskontroller av personal och hantering av säkerhetsskyddade upphandlingar³⁰.

Säkerhetsskyddslagen syftar till att skydda mot spioneri, sabotage, terroristattacker och andra handlingar som kan hota landets säkerhet. Lagen ställer krav på myndigheter, försvarsindustrin, och vissa privata företag att vidta åtgärder för att skydda känslig information och kritisk infrastruktur.

Säkerhetsskyddsförordningen (2021:955)³¹ innehåller kompletterande bestämmelser till säkerhetsskyddslagen (2018:585). Förordningen förtydligar och preciserar det som står i lagen mer detaljerat.

4.3.2 Säkerhetsskyddsavtal

Säkerhetsskyddsavtal är avsedda att säkerställa att säkerhetsåtgärder upprätthålls på samma nivå hos andra aktörer som hos huvudverksamhetsutövaren. Dessa avtal är obligatoriska när en verksamhetsutövare genomför en upphandling, ingår avtal, eller inleder samverkan med en annan aktör som kommer att få tillgång till säkerhetsskyddsklassificerade uppgifter eller annan säkerhetskänslig verksamhet av betydelse för Sveriges säkerhet³². Detta inkluderar även situationer där underleverantörer anlitas. Bestämmelserna om säkerhetsskyddsavtal återfinns i säkerhetsskyddslagen (2018:585) 4 kap. 1–12 §§ och 6 kap. säkerhetsskyddsförordningen (2021:955), och Säkerhetspolisens föreskrifter om säkerhetsskydd³³. Blanketter och mallar för säkerhetsskyddsavtal finns på säkerhetspolisens hemsida³⁴.

Som hjälp för arbete med förfaranden som kräver säkerhetsskyddsavtal, har Säkerhetspolisen utvecklat en vägledning och mallar för dessa avtal. Dessa resurser är avsedda att underlätta processen och säkerställa att säkerhetsskyddsavtal uppfyller lagkraven. Dessutom erbjuder upphandlingsmyndigheten information och vägledning om säkerhetsskyddad upphandling på sin webbplats. Dessa resurser är viktiga för att säkerställa att upphandlingar och samarbeten genomförs på ett säkert sätt som är i linje med säkerhetsskyddslagens krav.

4.3.3 Samhällsviktiga verksamheter

Samhällsviktiga verksamheter³⁵ såsom försvarssektorn, statliga myndigheter, finansiella system, nödtjänster, sjukvård, livsmedelsförsörjning och samhällslig infrastruktur är alla i hög grad beroende av en stabil energiförsörjning. Tar man bort den energiförsörjande verksamhet som tillgång så försämras de övriga

³⁰ Säkerhetsskyddslag (2018:585)

³¹ Säkerhetsskyddsförordningen (2021:955)

³² Upphandlingsmyndigheten (2023)

³³ Säkerhetspolisens föreskrifter om säkerhetsskydd

³⁴ Säkerhetspolisens blanketter och mallar

³⁵ Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2023)

verksamheternas möjligheter att kunna upprätthålla god nationell säkerhet, ekonomisk stabilitet, samhällsfunktioner och ombesörja befolkningens välbefinnande. Detta gör verksamhet för energiförsörjning extra betydelsefull och kritisk för en välfungerande nation.

Detta belyser indirekt vikten av vattenfyllda bergtunnlar som en integrerad del av samhällsinfrastrukturen, särskilt när de är anslutna till vattenkraftverk. Dessa strukturer spelar en avgörande roll i energisektorn, vilket gör dem till en samhällsviktig verksamhet. I händelse av att tunneln tjänar en sådan kritisk funktion, bör eventuella spatiala mätdata över tunneln betraktas som skyddsvärda.

4.3.4 Zero Trust-modellen

Zero Trust-modellen är en säkerhetsstrategi och en filosofi inom datasäkerhet som antar att hot kan komma från var som helst, både inifrån och utanför nätverket, och att inga enheter eller användare kan betros automatiskt, oavsett deras plats i förhållande till företagets perimeternätverk.

Traditionell säkerhetsmodell med perimeternätverk, ofta kallat DeMilitarized Zone, "demilitariserad zon" (DMZ), är en fysisk eller logisk del av ett nätverk som är utformad för att fungera som en buffertzona (sub-/delnät) mellan det interna, betrodda nätverket av en organisation och det externa, icke-betrodda nätverket såsom internet. Syftet med perimeternätverk är att där placeras system och tjänster som är avsedda att vara tillgängliga för externa användare, såsom webbservrar, e-postservrar och DNS-servrar. Dessa tjänster isoleras från det interna nätverket, vilket minskar risken för att en extern angripare kan komma åt känsliga interna system om de skulle lyckas kompromettera en tjänst i DMZ:n. För att ytterligare stärka säkerheten används brandväggar för att kontrollera trafikflödet mellan det interna nätverket, perimeternätverket och det externa nätverket. Regler definieras i brandväggen för att endast tillåta specifik trafik genom nätverket, baserat på källa, destination och tjänsttyp.

Trots dess fördelar är perimeternätverksmodellen mindre effektiv i dagens säkerhetslandskap, där hoten kan komma inifrån nätverket och där användning av molntjänster, fjärrarbete och "bring your own device" (BYOD) vilket avser en policy där anställda tillåts använda sina egna personliga enheter såsom datorer, surfplattor och smartphones för att utföra arbetsuppgifter och få tillgång till företagets nätverk och data. Denna praxis kan öka flexibiliteten och produktiviteten, eftersom anställda kan arbeta från olika platser och med enheter de redan är bekanta och bekväma med. Dock medför detta utmaningar när det gäller datasäkerhet då gränserna suddas ut i förhållande till det traditionella perimeternätverket.

Detta har lett till det ökade intresse för Zero Trust-modellen, som inte antar att interna nätverk per automatik är säkra, utan istället verifierar varje förfrågan som om den kom från ett öppet nätverk.

Enligt Okta's "The State of Zero Trust 2023"³⁶ rapport har Zero Trust nu blivit den dominerande cybersäkerhetsstrategin bland företag. Nu har en majoritet av

³⁶ Okta (2023)

företagen antagit Zero Trust-strategin, vilket överstiger antalet företag som antingen är i planeringsstadiet eller saknar en strategi helt. Detta markerar en signifikant förändring i hur företag närmar sig cybersäkerhet, vilket indikerar en stark trend mot en mer dynamisk och anpassningsbar säkerhetsmodell.

NIST Special Publication 800-207³⁷, fokuserad på Zero Trust-arkitektur, presenterar en strukturerad metod för att integrera Zero Trust-principer i organisationers IT-säkerhetsstrategier. Ramverket berör följande punkter:

- Inget förhandsförtroende. Istället för att lita på användare eller system enbart baserat på deras nätverksplats, kräver Zero Trust kontinuerlig verifiering av alla användare och enheter, oavsett var de befinner sig.
- Minsta privilegium. Användare och enheter ges endast åtkomst till de resurser som är absolut nödvändiga för att utföra sina uppgifter. Detta begränsar räckvidden för eventuella säkerhetsincidenter.
- Mikrosegmentering. Detta är en säkerhetsmetod som delar upp ett nätverk i mindre segment och därmed begränsar åtkomsten och rörligheten för användare och enheter inom nätverket. Detta skapar flera små, säkra zoner, där varje segment endast har åtkomst till de resurser som är nödvändiga för dess funktion. Om en del av nätverket komprometteras, förhindrar mikrosegmentering att angripare enkelt kan röra sig till andra delar av nätverket.
- Multifaktorautentisering (MFA). Användningen av flera autentiseringsmetoder för att verifiera användaridentiteten. Dessa metoder kan innefatta något användaren vet (som ett lösenord) samt något användaren har (som en säkerhetstoken eller mobiltelefon) alternativt något som är unikt för användaren (fingeravtryck eller annan biometri). MFA är en effektiv metod för att öka säkerheten då det blir betydligt svårare för obehöriga då fler säkerhetsinder behöver övervinnas.
- Kontinuerlig övervakning och reaktion. Ständig övervakning av nätverksaktivitet och snabba svar på misstänkta aktiviteter. Genom att använda automatiserad övervakning och anpassning kan systemet snabbt svara på nya hot och ändrade användarmönster, vilket minimerar sårbarheter och skyddar kritiska tillgångar mer effektivt
- Automatiserade säkerhetspolicys. Det innebär att IT-säkerhetsregler är dynamiska och justeras automatiskt baserat på användarnas beteenden och förändringar i risknivåer. Denna flexibilitet säkerställer att säkerhetsåtgärderna är effektiva och relevanta i realtid, vilket ger ett mer robust skydd mot säkerhetshot. Risknivå i detta fall refererar till graden av potentiell skada eller förlust som kan uppstå till följd av specifika hot eller sårbarheter inom IT-säkerhet. Det är en bedömning som tar hänsyn till sannolikheten för att ett hot ska realiseras och den potentiella inverkan det skulle ha på organisationen.

³⁷ National Institute of Standards and Technology (2020)

Den tekniska implementeringen av Zero Trust-arkitekturen inom en organisation är en omfattande process som engagerar flera IT- och cybersäkerhetsprofessionella. Det inkluderar:

- Cybersäkerhetsanalytiker: Dessa individer ansvarar för att utvärdera säkerhetshot och sårbarheter samt rekommendera skyddsåtgärder.
- Nätverksingenjörer: De designar och underhåller nätverksinfrastrukturen och ser till att den uppfyller Zero Trust-principerna.
- Systemadministratörer: De implementerar och konfigurerar systemen och programvaran som krävs för att upprätthålla en Zero Trust-arkitektur.
- IT-säkerhetschefer: Dessa ledare övervakar säkerhetsstrategier och säkerställer att Zero Trust-arkitekturen integreras genom hela organisationen.
- Compliance Officer: De regelefterlevnadsansvariga som ser till att Zero Trust-implementeringen följer relevanta lagar, regler och standarder.

Dessa yrkesgrupper samverkar för att utvärdera hot, designa och underhålla nätverksinfrastruktur, implementera och konfigurerar nödvändiga system och programvara, samt övervaka säkerhetsstrategier. Det gemensamma mål är att skapa en säkerhetsmodell där inget förtroende antas och strikt verifiering krävs för all åtkomst till organisationens resurser.

Det var tydligt att deltagarna i workshopen som sammanfattas i kapitel 5 kände igen många av de ovan nämnda säkerhetsaspekterna som en del av en ökad säkerhetskultur på sina arbetsplatser, se kapitel 5.1 för deltagare. Det faktum att flera organisationer ser Zero Trust-modellen som en väg framåt för sitt datasäkerhetsarbete understryker denna modells växande betydelse. Detta framhävs även i facktidningen "Aktuell Säkerhet", som fokuserar på säkerhetsbranschen i Sverige, i artikeln "Rapport: Zero Trust är normen för företag"³⁸.

³⁸ Aktuell Säkerhet (2023)

5 Workshop 2023

5.1 SAMMANFATTNING FRÅN WORKSHOPEN

Den 28 november 2023 anordnades en workshop med temat "Användning av ROV för Underhåll av Bergförlagda Vattenvägar" i Vattenfalls lokaler i Älvkarleby. Arrangör var Energiforsks program 'Vattenkraftens bergfrågor' med Andreas Larsson som moderator, och Vattenfall R&D Älvkarleby agerade värd. Workshopen samlade totalt 10 deltagare, inklusive representanter från ägarföretag, entreprenörer och konsulter.

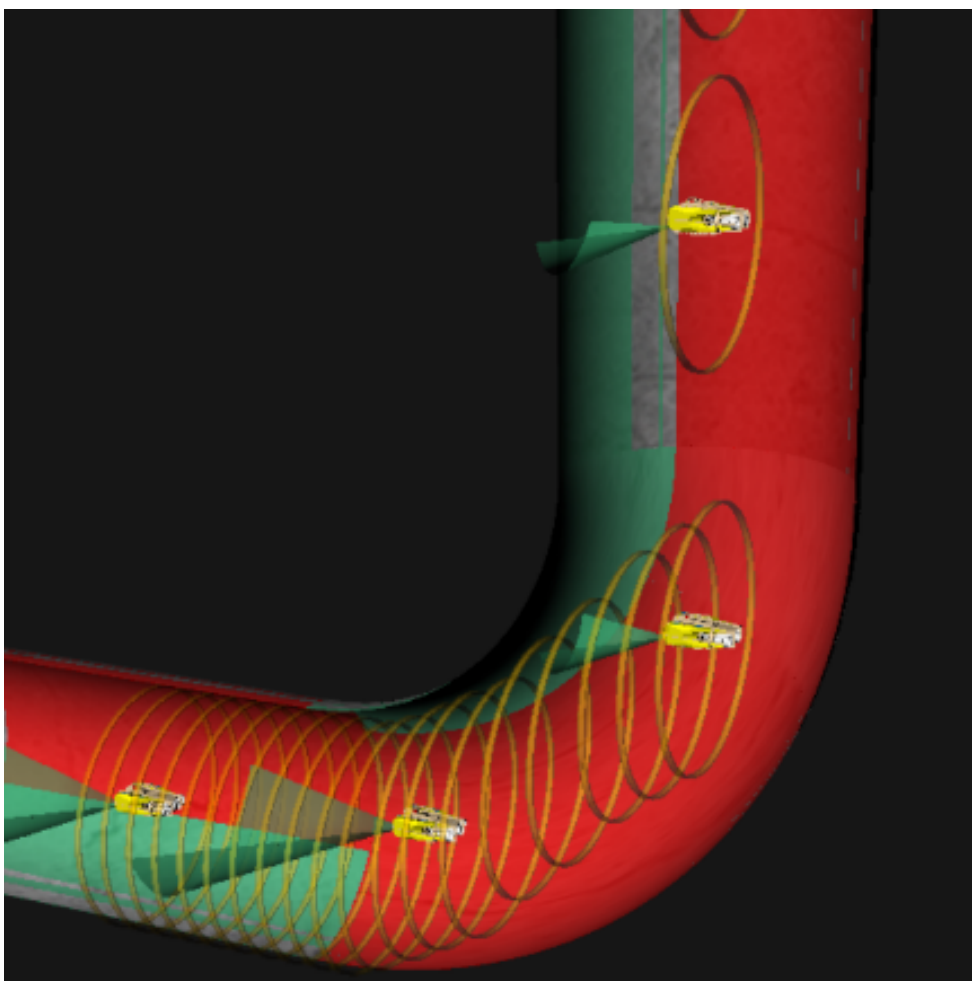
Presentatörer och presentationer under workshopen var:

- Theo Lindholm, Norconsult, Discovering the dark and unknown/Oppdager det mørke og ukjente
- Mikael Sundberg, AFRY, Workshop diskussion om datasäkerhet
- Mats Billstein, Vattenfall, Labbpresentation
- Lars Lundberg, SAAB Dynamics, Electric tooling for subsea intervention
- Jonas Bosell, Niklas Westman, UW-tech, Sugmuddring av vattenfyllda tunnlar / Bärgning av föremål i vattenfyllda tunnlar
- David Malak, Hibbard Inshore, ROV maintenance and repair projects using underwater tooling (via länk).

Varje presentation har inte sammanfattats för sig utan presentationerna har vävts samman för att ge en mer sammanfattande bild av vad som framkom under workshopen.

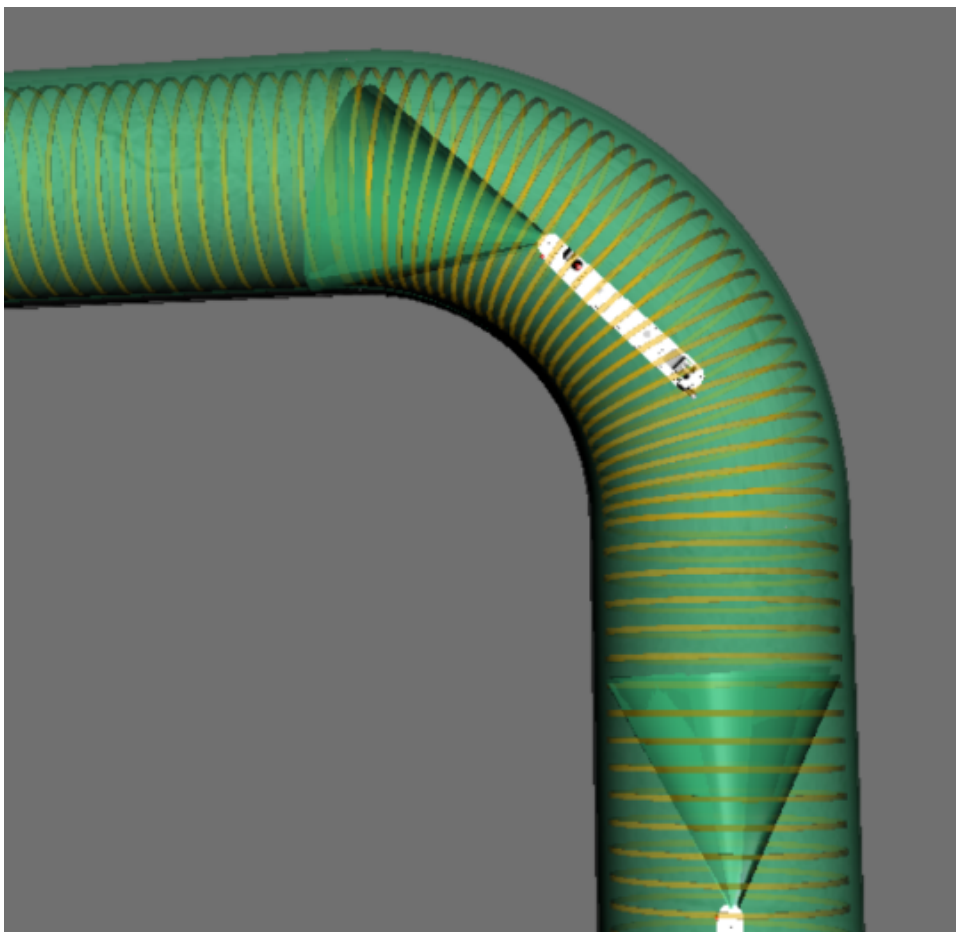
Det fanns exempel på utförda underhållsarbeten bland presentatörerna och erfarenheter från dessa. En stor del av tiden upptogs till att diskutera efterfrågan på olika underhållsjobb och om tekniken, erfarenheten och kunskapen finns för att kunna utföra dem. Representanterna från ägarföretagen har kunskapen om hur behoven för underhållsarbeten ser ut och Entreprenörerna från utförarsidan har kunskapen om det är tekniskt möjligt att kunna genomföra. Ett annat fokus under workshopen var utmaningarna kring data- och informationssäkerhet och hur man ska förhålla sig till dem.

Under workshopen diskuterades och presenterades en rad olika ROV- och AUV-maskiner med olika egenskaper. Till exempel visades Saabs "Sabertooth" som har en maximal räckvidd på 20 km och en förmåga att inspektera i stabilt läge i flöden upp till 1 m/s. Den har också möjligheten att kunna positionera sig efter önskad vinkel, vilket inte en mer traditionell ROV har. En vinkelförändring kan resultera i en noggrannare skanning, se Figur 5-1 och Figur 5-2.



Figur 5-1 Traditionell ROV, Hibbard Inshore (2023)³⁹

³⁹ David Malak (2023)



Figur 5-2 Saab Sabertooth AUV. Hibbard Inshore (2023)⁴⁰

UW-tech presenterade deras nya ROV som har larvfötter som enligt Jonas Bosell ska kunna utrustas med en rad olika tillägg och verktyg, efter önskemål från beställare.

Lars Lundberg presenterade skillnaderna mellan elektriska och hydrauliska utrustade ROV. De elektriska är i regel kompaktare och effektivare jämfört med hydrauliska, de är också lättare när det kommer till effekt-till-viktförhållande. Inom industrin sker det en omställning mer mot elektriskt utrustade ROV.

⁴⁰ David Malak (2023)

På workshopen presenterades och diskuterades följande underhållsarbeten av bergförlagda vattenvägar där man kan utan att behöva vattentömma bergförlagda vattenvägar och med hjälp av befintlig teknik och erfarenhet utföra:

- Sugmuddring, bortforsling av material.
- Läckagedetektering, övergripande med elektrisk sensor och sedan grundligt och noggrant med färg.
- Temporärt plugga igen delar av en vattenväg.
- Borring, i till exempel bergväggar och cementblock.
- Sågning, för att röja undan skräp, skadat material. Det går även att såga i rör och balkar.
- Betonggjutning, för lagning eller för att gjuta nya konstruktioner.
- Borstning, för rengöring.
- Högtrycksspolning, för rengöring.
- Lossning eller åtdragning av bult.

Diskussioner om data- och informationssäkerhet var framträdande under flera delar av workshopen, med Mikael Sundbergs avsnitt särskilt fokuserat på ämnet. Fokus var hur en verksamhetsutövare, som lyder under säkerhetsskyddslag, och som avser att genomföra en upphandling, ingå ett avtal eller inleda en samverkan med en annan aktör ska göra då säkerhetskänslig information ska delas. Scenariot kring diskussionen var att verksamhetsutövaren hade säkerhetskänslig information i form av spatiala mätdata, via 3D-scanningar och fotogrammetri, som visar rumsliga data som framställer en vattenkraftstation med tillhörande tunnelsystem och deras relationer i det tredimensionella rummet med avseende på geografisk position och förhållande till jordens yta. Samtliga deltagare var eniga om att den här typen av information som spatial mätdata (rumsliga data) var mycket värdefullt för förståelse, planering och projektering när det t.ex. handlar om planeringskedjan fram till underhållsåtgärder vid anläggningen. Denna typ av data är avgörande för att underlätta samarbete mellan anläggningsägare, konsulter och entreprenörer. Ämnet var klart något som engagerade workshopens deltagare och det är ett ämne som aktörerna jobbar med idag för att fastställa rutiner som lever upp till säkerhetsskyddslagens krav. Diskussionerna fördes kring många intressanta områden som sträckte sig från att skapa robust och säker datamiljö, att skydda från interna misstag till externa cyberattacker.

Åsikterna var delade angående hur mycket AI bör involveras i arbete med specifik skyddsklassning. Vissa var emot användningen av AI helt och hållet medan andra var öppna för att använda det beroende på de rådande omständigheterna. Till sist kom man fram till att det hänger på ägandet av AI och var servrarna är lokaliserade.

För att sammanfatta workshopsessionen så var ämnet om datasäkerhet mer generellt och syftet var att öka medvetenheten kring ämnet och utmaningarna kring säkerhetsskyddad information. För att efterleva säkerhetsskyddslagen behöver verksamhetsägare samarbeta med IT-säkerhetsexperten och sakkunniga för att utforma detaljerade säkerhetsstrategier. Dessa strategier ska inte bara möta säkerhetskrav utan även tillåta flexibilitet och samverkan med andra aktörer. Detta är viktigt för en effektiv operativ förståelse samt planering och genomförande av

uppdrag och projekt. En sådan strategi säkerställer att säkerheten är robust samtidigt som den stödjer dynamiska och samverkande arbetsmiljöer.

6 Diskussion, slutsats och rekommendation

6.1 DISKUSSION OCH SLUTSATS

Det finns flera fördelar att ha möjligheten att både inspektera och underhålla vattenfyllda tunnlar utan att behöva tömma tunnarna på vatten dels är det relaterat till stora kostnader att tömma och säkra upp innan inspektion och/eller underhåll kan påbörjas samt skador som kan uppstå i en bergtunnel som vattentöms.

Det finns idag många olika typer av ROV och AUV på marknaden samt diverse utrustning som dessa går att utrustas med. En del utrustning verkar fortfarande vara under utveckling och vissa områden där man ser ett behov men får ingen finansiering.

Ett exempel är handburna ultraljudsinstrument för mätning i betong, det finns flera olika kommersiella handburna ultraljudsinstrument för mätning i betong i luft på marknaden men ingen kommersiell eller experimentell utrustning för undervattensbruk som tagits fram.

Utvärdering av ultraljudsinstrument görs lämpligen ovan vatten till exempel på någon betongkonstruktion som ska rivas och utvärderas innan steget under vatten är lämpligt⁴¹. Enligt en utvecklare av instrument så har man ansökt om utvecklingspengar från EU för att göra ett undervattensinstrument men fått avslag⁴².

Workshopen erbjöd en plattform för olika intressenter inom området att utbyta kunskap och erfarenheter. Genom diskussioner och nätverkande möjliggjordes lösningar på aktuella utmaningar och efterfrågningar på lösningar på nya utmaningar. Genom att dela varandras insikter bidrog workshopen till spridningen av kunskap och främjade ett ömsesidigt engagemang för att möta framtidens behov och utmaningar.

6.2 REKOMENDATION PÅ PRIORITERADE UTVECKLINGSAKTIVITETER

Med diskussioner som bakgrund läggs följande rekommendationer:

- Efter diskussioner om vikten av säkerhet kan det vara fördelaktigt att ta fram en mer detaljerad rapport som fokuserar på säkerhetsaspekter, dataskydd och samverkan. Rapporten bör adressera de IT- och cybersäkerhetsprofessionellas insatser med exempel på de insatser som cybersäkerhetsanalytiker, nätverksingenjörer, systemadministratörer, IT-säkerhetschefer och compliance officers utför för att skydda data från externa hot och hur man genom mer praktiska exempel kan samarbeta effektivt samtidigt som man uppfyller kraven i säkerhetsskyddslagen.
- En djupgående analys för att identifiera de mest lämpliga och kostnadseffektiva tekniska lösningarna. Detta kan inkludera utveckling

⁴¹ Nilsson (2023)

⁴² Bulavinov (2023)

och utvärdering av olika verktyg och mätutrustningar som kan utrusta ROV:er för inspektion och underhåll. Utvecklingssamarbeten med entreprenörer kan också vara avgörande för att anpassa tekniken efter specifika behov och miljöer

- Att använda artificiell intelligens (AI) för att förbättra undervattensfarkoster som utför inspektioner och underhåll i bergförlagda tunnlar kan innebära att AI-systemen hjälper till med att tolka data, identifiera anomalier och föreslå underhållsåtgärder. AI kan effektivisera processen genom att snabbt analysera stora mängder insamlade data, förbättra noggrannheten i diagnostiken och minska behovet av mänsklig ingripande, vilket skulle kunna leda till kostnadseffektivare och mer pålitliga underhållsoperationer.

7 Referenslista

- Abellán, A.; Jaboyedoff, M.; Oppikofer, T.; Vilaplana, J.M. (2009) *Detection of Millimetric Deformation Using a Terrestrial Laser Scanner: Experiment and Application to a Rockfall Event*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2009, 9, 365–372.
- Acandia. Vad är turbiditet? En noggrann vetenskaplig granskning. <https://www.acandia.se/blog/post/vad-ar-turbiditet-en-noggrann-vetenskaplig-granskning>. (Hämtad 18 april 2024).
- Aktuell Säkerhet. Rapport: Zero Trust är normen för företag. (2023). <https://www.aktuellsakerhet.se/rapport-zero-trust-ar-normen-for-foretag/>
- Angelosanti, Marco & Currà, Edoardo & Sabato, Alessandro. (2023). *BIM oriented applications of structural health monitoring based on magnified digital image correlation point-clouds*. Automation in Construction. 148. 10.1016/j.autcon.2023.104754.
- Blueye. Improve ROV navigation and avoid obstacles underwater with sonars. (2022) <https://www.blueyerobotics.com/blog/improve-rov-navigation-and-avoid-obstacles-underwater-with-sonars> (Hämtad 18 april 2024).
- Bulavinov A. Mail-konversation. 2023. ACS-Solutions GmbH
- Chasing. *Chasing M2 PRO MAX*. 2023. <https://www.chasing.com/en/chasing-m2pro-max.html>
- Difrancesco, Paul-Mark & Bonneau, David & Hutchinson, D.. (2020). *The Implications of M3C2 Projection Diameter on 3D Semi-Automated Rockfall Extraction from Sequential Terrestrial Laser Scanning Point Clouds*. Remote Sensing. 12. 1885. 10.3390/rs12111885.
- Girardeau-Montaut, D. *CloudCompare*. (7/14/2022). <https://www.danielgm.net/cc/>
- Girardeau-Montaut, Daniel & Roux, Michel & Marc, Raphaël & Thibault, Guillaume. 2005. *Change detection on point cloud data acquired with a ground laser scanner*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 36.
- Hansson, Martin. Inspektion av vattenfyllda bergstunnlar. *Energiforsk*. 2020.
- Hoosang Lee, Daehyeon Jeong, Hongje Yu, Jeha Ryu. Autonomous Underwater Vehicle Control for Fishnet Inspection in Turbid Water Environments. *International Journal of Control, Automation and Systems*. Vol. 20, 2022
- Jiawei Zhang, Fenglei Han, Duanfeng Han, Jianfeng Yang, Wangyuan Zhao, Hansheng Li. Advanced Underwater Measurement System for ROVs: Integrating Sonar and Stereo Vision for Enhanced Subsea Infrastructure Maintenance. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2024
- Lague, Dimitri & Brodu, Nicolas & Leroux, Jérôme. 2013. *Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon*

(N-Z). ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 82. 10.1016/j.isprsjprs.2013.04.009.

Malak D. *ROV maintenance and repair projects using underwater tooling*. Workshop Användning av ROV för Underhåll av Bergförlagda Vattenvägar. Älvkarleby 2023-11-28.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. *Samhällsviktig verksamhet*. 2023. <https://www.msb.se/sv/amnesomraden/krisberedskap--civilt-forsvar/samhallsviktig-verksamhet/>

Nilsson M. Muntlig kommunikation. 2023-09-28. Teknisk geologi, Lunds tekniska högskola.

Oceaneering. *Oceaneering Magnum Plus*. 2023. <https://www.oceaneering.com/rov-services/rov-systems>

Okta. *The State of Zero Trust Security*. 2023. <https://www.okta.com/resources/whitepaper-the-state-of-zero-trust-security-2023/>

Saab. *Sabertooth Double Hull AUV*. 2023. <https://www.saab.com/products/sabertooth>

Scanmudring. *Excavators*. 2023. <https://scanmudring.no/equipment/#excavators>

Scanmudring Equipment. *ROV Dredges and Tools*. 2023. <https://scanmudring.no/equipment/#drilling>

Schilling. *Schilling Robotics ORION 7*. 2023. <https://www.technipfmc.com/en/what-we-do/subsea/robotics/manipulator-systems/>

SGU – Sveriges geologiska undersökning. Turbiditet. (2024). <https://www.sgu.se/anvandarstod-for-geologiska-fragor/bedomningsgrunder-for-grundvatten/grundvattnets-kvalitet--oorganiska-amnen/turbiditet/>

Sivčev, S. et al. *Underwater manipulators: A review*. Ocean Engineering, 163, pp. 431–450. 2018

SLU - Sveriges lantbruksuniversitet. Turbiditet. (2023). <https://www.slu.se/institutioner/vatten-miljo/laboratorier/vattenkemiska-laboratoriet/detaljerade-metodbeskrivningar/turbiditet/>. (Hämtad 18 april 2024).

Sudac, D. et al. *Monitoring of concrete structures by using the 14 MeV tagged neutron beams*. Radiation Measurements, 59, pp. 193–200. 2013

Stinger. *Underwater High-pressure cleaning*. 2023. <https://stinger.no/home.php/underwater-high-pressure-cleaning/>

Svenska kraftnät. *Dammar och Dammteknik*. 2019. https://www.svk.se/siteassets/3.sakerhet-och-beredskap/dammsakerhet/rapporter-och-yttranden/svk_dammar_dammteknik_2019.pdf

Säkerhetspolisen. *Blanketter och mallar*. 2023.

<https://sakerhetspolisen.se/verksamheten/sakerhetsskydd/blanketter-och-mallar.html>

Säkerhetspolisen. *Föreskrifter om säkerhetsskydd*. 2023. <https://sakerhetspolisen.se/verksamheten/sakerhetsskydd/vagledning-sakerhetsskydd.html>

Säkerhetsskyddsförordningen (2021:955), https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/sakerhetsskyddsforordning-2021955_sfs-2021-955/#K3

Säkerhetsskyddslagen (2018:585), https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/sakerhetsskyddslag-2018585_sfs-2018-585/

Upphandlingsmyndigheten. *Säkerhetsskyddad upphandling*. 2023

<https://www.upphandlingsmyndigheten.se/regler-och-lagstiftning/andra-regler-som-kan-bli-aktuella/sakerhetsskyddad-upphandling/>

Venkatesh, V. et al. *Assessment of Structural Integrity of Submerged Concrete Structures Using Quantitative Non-Destructive Techniques Deployed from Remotely Operated Underwater Vehicles (ROV)*. OCEANS 2022 – Chennai, pp. 1–6.

Videoray. *Videoray Defender*. 2023. <https://videoray.com/products/mission-specialist-defender/>

WASSOC. WASSOC ROCS. 2023 <https://www.wassoc.com/seafloor-drilling-systems/#rocs>

J Yuh. *Design and control of autonomous underwater robots: A survey*. University of Hawaii. 2000

National Institute of Standards and Technology. *Zero trust Architecture*. 2020. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-207.pdf>

Zhu, Hao, Bin Guo, Ke Zou, Yongfu Li, Ka-Veng Yuen, Lyudmila S. Mihaylova and Henry Leung. "A Review of Point Set Registration: From Pairwise Registration to Groupwise Registration." *Sensors* (Basel, Switzerland) 19 (2019)

3D Forensics. "Tutorial: Introductory Video on CloudCompare | 3D Forensics". 29 november 2012. Youtube-video 10:59.

<https://www.youtube.com/watch?v=MQiD4HjhpAU>

UNDERHÅLL AV VATTENFYLLDA BERGTUNNAR MED ROV

Det finns numera moderna verktyg som kan användas för att med olika typer av undervattensfarkoster utföra både inspektioner och underhållsarbeten i bergförlagda vattenvägar under vatten.

Vattenkraftindustrin har under senare år genomfört tester av ny teknik för att inspektera och underhålla bergtunnlar på ett säkert sätt. Samtidigt går utvecklingen mycket fort, vilket ger nya möjligheter för den tekniska förvaltningen av inre vattenvägar i berg.

Rapporten ger exempel på undervattensbaserade underhållsarbeten av inre vattenvägar i berg och på andra intressanta kritiska konstruktionsdelar. Den innehåller också information om hur data ska hanteras, säkerhet gällande informationshantering, påverkan och upphandling.

Ett nytt steg i energiforskningen

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på energiforsk.se.

