



VUDP PROJEKTRAPPORT

AUTOMATISERET UDSKIFTNING AF VANDRØR



AUTOMATISERET UDSKIFTNING AF VANDRØR

DATO: 18. november 2024

Projekt ID:

Automatiseret udskiftning af vandrør, 2023.43.

Udgiver:

VUDP-foreningen

Udarbejdet af:

RobSub, VandCenter Syd, HOFOR & Aarhus Vand

Finansiering:

Vejledningen er finansieret af
VUDP-Foreningen, Vandsektorens forening til forbedring af vandsektorens effektivitet og kvalitet

Samarbejdspartnere:

RobSub, VandCenter Syd, HOFOR & Aarhus Vand



Indholdsfortegnelse

Sammenfatning	3
English summary	4
Introduktion	5
Projektets betydning for vandbranchen	6
Marked og/eller anvendelsesmuligheder	7
Næste skridt	7
Formidlingsplan	8
Projektet	10
Formål	10
Output	10
Projektresultater	15
Konklusion	18
Litteraturliste	19

Sammenfatning

RobSub har i samarbejde med VandCenter Syd, HOFOR og Aarhus Vand udviklet en robotløsning, der kan udskifte vandstikslodninger under planlagte renoveringer med formål om at reducere mængden af opgravet, forurenede jord samt fremme arbejdsmiljøet for smede og montører i branchen, ved ikke længere at sende mennesker ned i udgravninger. I projektet har partnerne designet, udviklet, fremstillet og testet en række værktøjer, der kan sammenføre rør og påsætte en muffe nede i en udgravning. Hele robotløsningen blev i udgangen af Q2 2024 testet i et realmiljø, hvor robotten succesfuldt samlede en stikledning uden mennesker i udgravningen. Dette blev fremvist til en demonstrationsdag for udvalgte partnere. Udover udviklingen af værktøjerne er der udført en Livscyklusanalyse af planlagte vandrenoveringer, som viste en mulig årlig reduktion af udledninger på 759 Tons CO₂ på tværs af forsyningerne og de 9010 installationer/udgravninger, der laves. I LCA'en blev to alternative scenarier analyseret: Et grundscenarie, som rørudskiftninger bliver foretaget på nuværende tidspunkt, med en udgravningsstørrelse på 1,5m*2m*1,7m samt et alternativt scenarie med en 50% udgravningsreduktion på 0,75m*2m*1,7m. LCA'en påviste potentialet i en CO₂ eq reduktion som konsekvens af udgravningsreduktion.

English summary

RobSub, in collaboration with VandCenter Syd, HOFOR, and Aarhus Vand, has developed a robotic solution that can replace water service pipes during planned renovations. The goal is to reduce the amount of excavated, contaminated soil and improve the working environment for welders and installers in the industry by eliminating the need to send people into excavation trenches. In the project, the partners designed, developed, manufactured, and tested a series of tools that can join pipes and attach a coupling in an excavation trench. The entire robotic solution was tested in a real environment at the end of Q2 2024, where the robot successfully assembled a service pipe without human presence in the excavation. This was demonstrated to selected partners on a demonstration day. In addition to the development of the tools, a Life Cycle Assessment (LCA) of planned water renovations was conducted, showing a potential annual reduction of emissions by 759 tons of CO₂ eq across the utilities and the 9010 installations/excavations carried out. The LCA analysed two alternative scenarios: a baseline scenario, where pipe replacements are currently carried out with an excavation size of 1.5m²m1.7m, and an alternative scenario with a 50% excavation reduction to 0.75m²m1.7m. The LCA demonstrated the potential for a CO₂ eq reduction as a consequence of the excavation reduction

Introduktion

Vandrenoveringsarbejdet er et sted, hvor der stadig er et stort forbedringspotentiale, og hvor der i mange år ikke har været større innovative løsninger på banen. Derfor er robotvirksomheden, RobSub, indgået et samarbejde med HOFOR, Aarhus Vand og VandCenter Syd om at udvikle en robotløsning til automatiseret udskiftning af vandrørsinstallationer.

HOFOR, Aarhus Vand og VandCenter Syd varetager i projektet forsyningsselskabernes behov og kommer med brancheviden og kompetencer fra tre store aktører indenfor vandforsyning.

RobSub kommer med stærke kompetencer fra særligt robot- og maskinindustrien, livscyklusanalyse og bæredygtighed i robotvirksomheder. Den store erfaring og brede kompetencespektrum i kerneteamet i RobSub sættes igennem forsyningsselskaberne i forbindelse med branchespecifik viden og erfaring, som vil udgøre et optimalt grundlag for udvikling af et målrettet produkt.



Projektets betydning for vandbranchen

Vandrenoveringsarbejdet er et sted, hvor der stadig er et stort forbedringspotentiale og hvor der i mange år ikke har været større innovative løsninger på banen. RobSubs teknologi indebærer en række innovative værdiskabelser for vandbranchen. Følgende problemstillinger menes at kunne fjernes med projektets løsning:

Sikkerhed og arbejdspositioner: Smedene arbejder i nogle tilfælde under udfordrende arbejdsforhold, hvis der ikke er mulighed for at grave et tilstrækkeligt stort hul samt etablere nødvendige sikkerhedsforanstaltninger. Smedene begrænses til opslidende arbejdsstillinger. Fra 2019-2024 var der i gennemsnit 271 arbejdsulykker indenfor "anlæg af ledningsnet til væsker"¹. Robotløsningen bringer smedene op af udgravningerne og fremmer dermed sikkerheden.

Flaskehalse og begrænset arbejdskraft: Der gøres brug af fagudlærte smede til at lave rørudskiftningerne. Den slags arbejdskraft er der stor mangel på, og det kan skabe flaskehalse i vandrenoveringsprojekterne. I gennemsnit menes det at skabe 14 dages ventetid på gennemløb af en gade. Mangel på smede forudses at blive værre i de kommende år. Ved brug af robotløsningen vil denne problemstilling mindskes og vandrenoveringen vil kunne tilgås mere effektivt og med færre flaskehalse.

Udledninger og ressourcebrug: De store udgravninger der laves, er typisk 1,5m*2m*1,7m, hvilket resulterer i opgravning af 5 kubikmeter jord. Den opgravede jord står i mange tilfælde til deponering. Jorden køres til deponering via tung lastbiltransport. Herefter indkøbes ny jord til at genopfylde hullerne. Det samme er gældende for det grus og belægning ved terræn. Denne proces indebærer derfor et massivt ressourcepild samt CO2 udledning. Der stilles ikke samme krav til en robots arbejdsplads og udgravningernes størrelse vil derfor kunne reduceres betydeligt, så mindre jord skal opgraves, transporteres og deponeres. På den måde fremmer projektet miljø og klima i flere livscyklusstadier og impact-kategorier.

Omkostningsbesparelser: De store udgravninger er ikke blot ressourcekrævende men også omkostningstunge. Vi betaler i gennemsnit omkring 30.000 DKK per hul. RobSub antager at kunne bespare forsyningernes omkostningsmodel for omkring 10.000 DKK per hul, hvilket resulterer i et årligt omkostningsreduceringspotentiale på 90.000.000 DKK hos VandCenter Syd, HOFOR og Aarhus Vand baseret på det totale antal på 9010 udgravninger².

Installationskvalitet, dokumentation og vandforbrug: Med brug af mennesker kan dokumentationskvaliteten variere. Dårlige installationer er en af hovedårsagerne til nye brud og dermed forhøjet NRW. Med en robotløsning vil installations- og dokumentationskvaliteten bedre kunne standardiseres med sensorer og kameraer, der kan opfange essentielle data. Mange forsyningsvirksomheder gør brug af digitaliseringsplatforme, hvilket kan gøres kompatibelt med robotløsningen, så dokumentation automatisk overføres. På den måde bidrager projektet til kvalitetsforbedring og digitalisering af drikkevandet.

¹ <https://at.dk/arbejdsmiljoe-i-tal/anmeldte-arbejdsulykker-i-tal/>

² Forsyningernes egen data

Dokumenteret Drikkevandssikkerhed: Det kan være en udfordring for smedene at overholde og dokumentere drikkevandssikkerheden, qua det arbejdsmiljø de befinder sig i i udgravningerne, når der skal tages billeder og opsamles dokumentation fra processen. RobSubs teknologi har til formål systematisk at kunne dokumentere og overholde DDS.

Marked og/eller anvendelsesmuligheder

RobSub har opmærksomheden rettet mod det Europæiske marked. Med en 70% hulreduktion og erstatning af smeden, vil teknologien kunne bespare for ca. 10.000 DKK per hul. Partnerforsyningerne laver ca. 9000 installationer/udgravninger, resulterende i besparelser for 90 mio. DKK og forsyner 1/4 af de danske forbrugere. De potentielle besparelser i Danmark er altså 360 mio. DKK. Danmark udgør kun 1.2%³ af det Europæiske vandmarked, der er altså et stort Europæisk skaleringspotentiale, men der skal også tages højde for forskellige i udgifter i installationsarbejdet.

Næste skridt

I næste skridt følger der selvfølgelig endnu mere udvikling og test. Men RobSub målretter sig følgende roadmap for markedsintroduktion, som forventes at igangsætte Q2 2025:

Fase 1 - pilotsalg: Det forventes, at der efter VUDP-projektet og efterfølgende produktoptimering vil blive produceret en serie-0 af robotter, der vil blive solgt til hver af partnerforsyningerne. At sælge robotsystemet direkte til forsyningerne er et strategisk første skridt, der sigter mod at skabe opmærksomhed om robotsystemet i branchen. Det tætte samarbejde med forsyningerne har hjulpet med at forme robotsystemet efter deres behov, og da de deltagende forsyninger er blandt de største i Danmark, forventes dette at påvirke resten af branchen. Disse pilotsalg vil blive ledsaget af en serviceaftale.

Fase 2 - servicemodel: Det omfattende netværk, der er opbygget gennem forsyningsselskaberne, vil være en fordel for RobSub i at få adgang til relevante entreprenører, der er specialiseret i vandinfrastrukturprojekter. Før teknologien når fuld modenhed, vil RobSub levere tjenesten som en specialiseret underleverandør til entreprenørerne, hvor robotsystemet med hardware/software-pakke bliver en del af entreprenørens arbejde. RobSub vil stille personale til rådighed for at betjene robotten med det formål at reducere risikoen for at beskadige robotterne og for at opnå accept af produktet blandt slutbrugerne. RobSub vil samarbejde som underleverandør med byggefirmaer som Arkil, Munck, NCC og andre.

Fase 3 - direkte salg: Salgspersonale vil blive ansat internt i RobSub med det mål at nå ud til danske byggefirmaer direkte, hvor robotsystemet vil blive demonstreret og senere integreret i deres maskiner som en fuld hardware/software-løsning.

³ Water Utilities in Denmark, January 2015, MarketLine

Fase 4 - salg gennem forhandler: På dette stadie vil robotsystemet blive solgt som en komplet hardware/software-pakke gennem maskinforhandlere, herunder virksomheder som Øbakke A/S, HP Entreprenørmaskiner, Ingeman&Larsen og andre. Målgruppen er også vant til at leje maskiner til specifikke bygge- og infrastrukturprojekter. Derfor vil vi også tilbyde leasing af løsningen gennem udlejningsfirmaer som Renta, GSV, Loxam, der køber vores løsning og lejer robotsystemet ud.

Formidlingsplan

Hele projektet er udarbejdet i tæt samarbejde mellem projektpartnerne, som gennem projektforløbet er involveret via workshops, møder osv.

Under projektforløbet blev der afholdt to primære formidlingsarrangementer, samt mindre arrangementer, hvor projektet er blevet fremlagt:

- Åbent hus/fødselsdag hos RobSub: Her var udvalgte interessenter inviteret til åbent hus hos RobSub, med præsentation af projektet og delvis fremvisning af robotten. Her blev bla. de indledende resultater fra LCA'en fremlagt. Arrangementet blev promoveret på [LinkedIn](#).
 - Deltagelse fra bl.a.: Aarhus Vand, VandCenter Syd, HOFOR, CLEAN, MUDP, RobSubs bestyrelse, Erhvervshus Fyn samt andre relevante interessenter og virksomheder.
- Demonstrationsdag: Her var alle projektets partnere inviteret til demonstration af produktet samt afslutning på projektet. Demonstrationsdagen blev promoveret på [LinkedIn](#).
 - Deltagelse fra RobSub, Aarhus Vand, VandCenter Syd og HOFOR.
- Personaledag hos VCS: Her præsenterede RobSub og Henrik Markussen (VCS) projektet for VCS' ansatte.
 - Deltagelse fra: VCS-personale



Figure 1 Præsentation af LCA til åbent hus

Projektet

Formål

VandCenter Syd, HOFOR og Aarhus Vand vil sammen med RobSub udvikle en automatiseret løsning, som skal reducere arbejdsmiljøbelastningen ved reparation og udskiftning af ledningsnet til drikkevand. Helt konkret muliggøres markant mindre udgravninger og væsentligt kortere tid med åben udgravning. Ved automatisering af processen vil ressourceforbruget og CO2 ækvivalenter (jord, grus, belægning, deponering, transport) reduceres gennem hele livscyklussen, sikkerhedsrisici og flaskehalse i reoveringsprocessen vil blive færre, DDS vil lettere kunne overholdes og proceduren være dokumenterbar. Vi fokuserer på planlagte reoveringer af vandrør ved stik, hvilke der tilsammen årligt graves ca. 9010 stk. af hos projektpartnerne.

Output

Der er udviklet to end-of-arm tools, som udfører udvalgte processer i rørinstallationen: Tilkobling af vandstik på modsatte side af hovedledningen kan nu udføres uden personale i udgravningen. "Rørføringsværktøjet" sikrer præcis tilskæring og placering af rør i en koblingsmuffe; Herefter foretages et værktøjsskift; "Muffespændeværktøjet" sikrer at muffen spændes tilstrækkeligt.

Værktøjerne er placeret på en UR16e robotarm, som er forbundet til en styringsenhed, der kontrolleres af en operatør fra terræn. Operatøren følger robotarmen og værktøjerne via en række kameraer på en skærm og kan via et joystick guide robotarmen og styre værktøjernes procedurer. Dette betyder at alle nødvendige operationer kan udføres af operatøren fra terræn.



Figur 2 Styring af robotten på skærm samt værktøj på robotarm m. kameraer

LCA

Udover teknologiudvikling udførte RobSub i samarbejde med forsyningerne en Livscyklusanalyse.

Den proces, som denne LCA-undersøgelse fokuserer på, er de planlagte renoveringer af vandrørssystemer. Den overordnede proces for udskiftning af vandrørssystemet består af fem hovedprocesser: (1) fjerne belægning, som har tre underkategorier: Fliser, asfalt og græs, da hver overfladekategori håndteres forskelligt med hensyn til anvendte værktøjer, bortskaffelse og/eller genbrug af det fjernede materiale. (2) forberedelse af udgravningen, består af udgravning af området omkring rørene for at skabe plads til at udføre arbejdet og sikring af udgravningen med krydsfiner for at støtte væggene og mindske risikoen for, at jord glider ind i udgravningen. Dette arbejde udføres ved hjælp af både maskiner og manuelt arbejde, da andre forsyningslinjer i nogle tilfælde kan være over vandledningen, og for ikke at beskadige disse graver arbejderne dele af udgravningen manuelt med en skovl. (3) Rørarbejdet, hvor en svejser forbinder det nye ventilsystem både til den nye hovedvandledning og via den offentlige vandledning med den private vandledning. Dette arbejde kan variere mellem forskellige forsyningselskaber og forskellige installationer, da nogle trin kan involvere en anden type elektrosvjesesadel, og nogle kan have brug for flere dele for at forbinde serviceforbindelsesventilen med den private vandledning. I denne undersøgelse anvendes det mest almindelige scenarie for at forenkle processen til analysen. Dette scenarie involverer brugen af en elektrosvjesesadel, en reduktion, en vinkel elektrosvjesekobling, en stopventil, en elektrosvjesekobling, en forlængerspindel, en messingreparationskobling og et stopventildæksel. Det antages, at alle installationer installeres på eksisterende private vandledninger, hvor messingreparationskoblingen bruges til at forbinde den offentlige vandledning med den private vandledning. (4) Udgravning genoprettelse ved at fylde nyt sand omkring røret og komprimere det i hvert lag. Hvis den udgravede jord er genanvendelig, kan den bruges som genopfyldning i de lag, der ikke kræver en bestemt type jord/sand. (5) Overfladegenoprettelse er kategoriseret i fliser, asfalt og græs. Både fliser og asfalt har brug for en grundbeskyttelse og et stabilt bærelag for at understøtte asfaltens og flisernes bæreevne. Afhængigt af placeringen af disse planlagte udskiftningsprojekter kan affaldsmaterialer opbevares på stedet, før de bortskaffes, eller hvis det ikke er muligt, bortskaffes de så hurtigt som muligt. I dette tilfælde antages det, at der i alt bruges tre containere til at transportere affald: To til sand, jord og græs (havearbejde) og en container til asfalt, fliser og andet affald, som kan adskilles på lossepladsen.



Figure 3 Eksempel på installation og udgravning

Analysen er baseret på funktionel enhed:

" The replacement of one valve system and public water service line, including the preparation and restoration work of the work area, with a service lifetime of 50 years. "

hvor to alternative scenarier blev analyseret: Et grundscenarie, som rørudskiftninger bliver foretaget på nuværende tidspunkt baseret på deltagende forsyningernes arbejds- og kravbeskrivelser samt observationer gjort ved besøg hos forsyningerne, beskrevet som:

*"The preparation and restoration process of the trench for the pipe replacement with a trench size of 1,5m*2m*1,7m."*

Samt et alternativt scenarie med en udgravningsreduktion baseret på forventningen om en 50% reduktion af udgravningsstørrelse med anvendelse af robotteknologi, beskrevet ved:

*" The preparation and restoration process of the trench for the pipe replacement with a trench size of 0,75m*2m*1,7m."*

Valget af modellering for LCA er den konsekvensbaserede tilgang, da aktiviteterne i produktsystemet forventes at ændre sig som en konsekvens af ændring i funktionel enhed.

Det analyserede system er baseret på konstruktionsfaserne, herunder: Product stage, construction stage og end-of-life stage. Use-fase negligeres da brugen af rørene ikke er en del af scopet. Her blev der udviklet en analysemodel, som kan bruges til basis for sammenligningsscenarier. En anden vigtig begrænsning er, at robotsystemet ikke er inkluderet i analysen, da produktet ikke er færdigudviklet og derfor et for usikkert parameter.

Modellen dækker installationsarbejdet og processen, der er direkte forbundet med dette arbejde samt reduktionen af udgravningens størrelse, som også er beskrevet ovenfor.

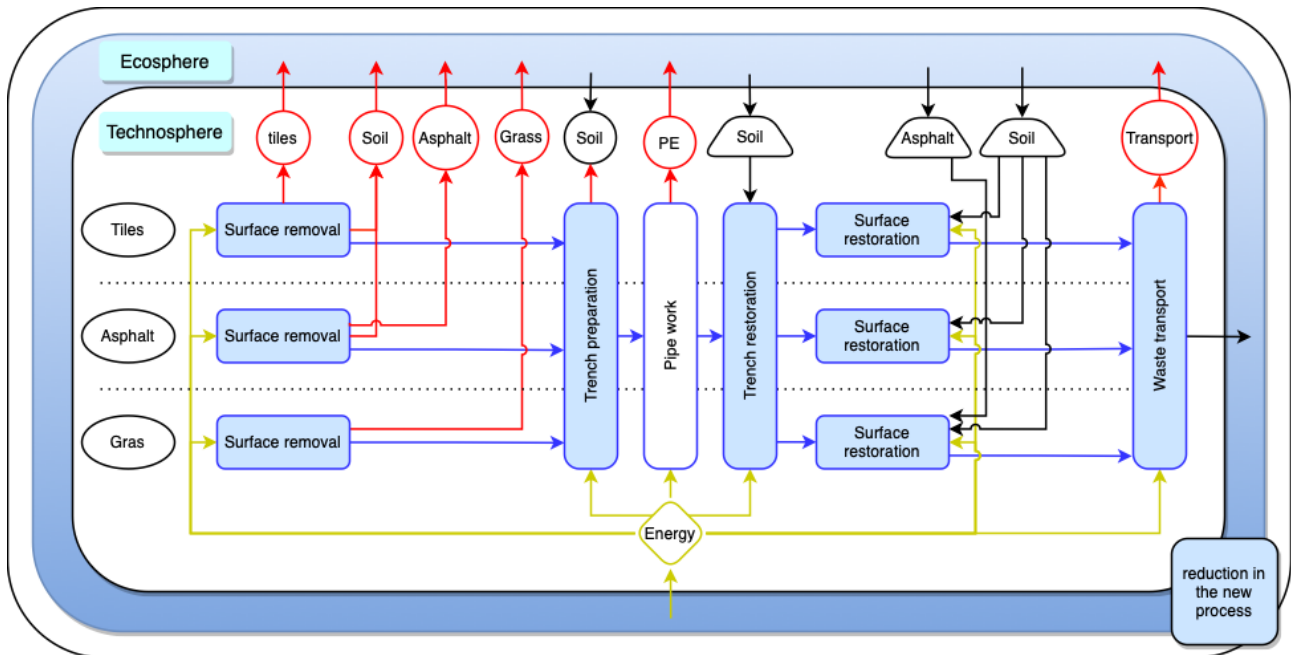


Figure 4 simplificeret process flowdiagram

Data anvendt i beregningen i OpenLCA, stammer fra de data, der er indsamlet gennem HOFOR, VandCenter Syd og Aarhus Vand. Gennemsnittet af dataene akkumuleres for at skabe et branchegennemsnit for disse tre forsyningsselskaber. Indsamlingen af data er akkumuleret af etnografiske undersøgelser i form af besøg på byggepladser hos partnerforsyningsselskaberne og observation af installationsarbejdet, studier af kravspecifikationerne, kommunikation med eksperter. Der blev tilknyttet en ekspert fra hver forsyning, som sammen med RobSub gennemgik data og proces-flow. For at opsummere data er der anvendt et detaljeret datasheet, hvor forsyningerne har udfyldt data.

Produktstadiet: Produktionsfasen omfatter fremstillingen af de dele, der indgår i vandrørsventilsystemet, som består af elektrosvjesadel, elektrosvjsekobling, elektrosvjevinkelkobling, reduktion, stopventil, forlængerspindel, messingreparationskobling og stopventildæksel. Ved at studere delene antages fremstillingsprocesserne, da der for plastkomponenterne er fundet indtrængningsmærker, hvilket indikerer en form for sprøjtestøbning. Desuden er materialerne, der bruges til at genoprette udgravningen og overfladen efter afslutningen af installationen, ikke helt nøjagtige for de forskellige typer, der anvendes. Derfor er de forskellige typer sand og jord blevet generaliseret under strømmen af "sand". Nogle af de modtagne data skal konverteres til forskellige enheder for at kunne bruges i LCA-softwaren.

Konstruktionsfase: Byggefasen dækker forberedelsen og genoprettelsen af arbejdsstedet, transporten af materialer og installationsarbejdet af ventilsystemet. Transporten af materialerne og affaldet er et estimat på hypotesen om, at alt materiale transporteres med en lastbil, der bærer en container med en kapacitet på 8m³. Desuden estimeres det, at jord, sand, nøddesten og krydsfiner transporteres sammen til stedet, mens asfalt og fliser transporteres



sammen senere i processen, da disse materialer bruges i overfladegenoprettelsen. For værktøjer og maskiner antages det, at de samme maskiner og værktøjer bruges på tværs af de tre forsyningsselskaber, hvilket forenkler oprettelsen af modellen og analysen i OpenLCA.

End-of-life: På grund af begrænset information om slutfasen for de materialer og produkter, der kasseres, anvender denne fase generelle strømme, der repræsenterer de forskellige materialer så nøjagtigt som muligt.

LCA Impacts/resultater

Analysen viser, at en 50% reduktion af udgravningens størrelse i gennemsnit reducerer processens miljøpåvirkning med 25 %.

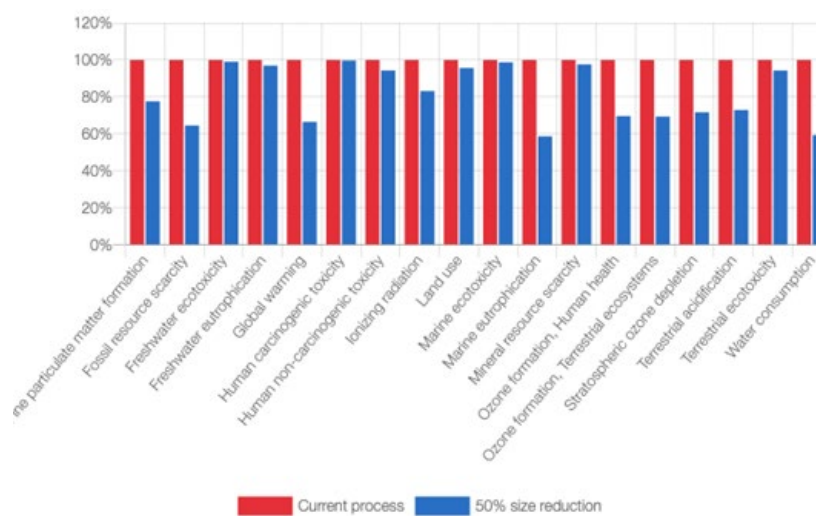


Figure 5 Udgravning relative LCIA-resultater

De største bidrag kommer fra produkt- og end-of-life faserne. De vigtigste processer, der bidrager, består af processerne, der involverer indsamling af ny jord og bortskaffelse af den gamle jord – bortskaffelse af jord bidrager med 48% af den nuværende proces indenfor "global warming" impact kategorien. Produktion af krydsfiner, som bruges til afstivning af udgravningen, bidrager med 91% til impact kategorien "Land use".

Ser man på de samlede resultater for de to scenarier, ser man en potentiel CO2 reduktion på 759 Ton CO2 Eq for installationer udført i 9010 årlige udgravninger, svarende til 34% reduktion i kategorien "Global Warming". Indenfor "Land Use" reduceres forbruget kun med 4% m2a crop Eq, da det antages at krydsfiner også bruges i reduktions-scenariet.

Impact Category	Absolute reduction of the two scenarios			Difference in %	Unit
	Single trench	Daily (35 trenches)	Yearly (9010 trenches)		
Global Warming	84,34	2951,80	759876,37	34%	kg CO2 eq
Land Use	5,80	202,86	52221,96	4%	m2a crop eq
Freshwater Ecotoxicity	0,30	10,55	2716,51	1%	kg 1,4-DCB
Water Consumption	3,28	114,85	29566,41	41%	m3

The percentage of the calculated difference for the three scenarios are the same.

Figur 6 Absolutte reduktion mellem de to scenarier

Projektresultater

I første testfase var der opstillet en indendørs testfacilitet hos RobSub. Her var robotten hævet op i et niveau af 1.4m. for at simulere dybden på stikledninger. I løbet af Q1 2024 testede RobSub robottens og værktøjernes funktionaliteter i det beskyttede miljø, herunder en workshop med brugere, hvor smede og rørleggere fra HOFOR, VCS og Aarhus Vand afprøvede robottens joystick, med formål om at teste og få feedback på joystick-designet.



Figure 7 RobSub joystick workshop

Projektet udmundede i en test, arrangeret af VandCenter Syd. Her havde VCS etableret en test-udgravning med nedlagte rør, hvor RobSub løbende kunne teste produktet i den afsluttende fase af projektet. Det blev besluttet at fuldskalatesten skulle udføres i denne udgravning for at undgå risici forbundet med at lave arbejde direkte i forbindelse med vandbanen samt at sikre muligheden for kontinuerlig test uden at interferere med VCS' øvrige anlægsprojekter. Udgravningen var udført ift. eksisterende kravspecifikation og grundscenariet anvendt i LCA'en: 1,5m*2m*1,7m. Rørene er lagt ned i overensstemmelse med en planlagt reovering for forbrugerstik.



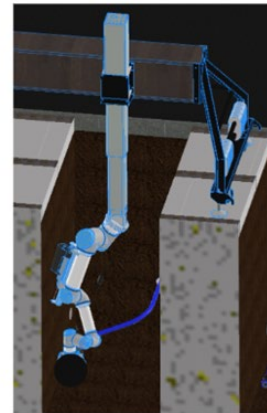
Figure 8 testudgravning i standardmål VCS

Formålet med de afsluttende test var at påvise, at robotten kunne foretage en fuld stiktilkobling uden personale tilstede i udgravningen. Herunder ses det ønskede udfald af testen. Det var i første omgang ikke målet at reducere udgravningsstørrelsen men blot at påvise potentialet.

How installations are currently done



The new solution



(Cad prototype example)

Figure 9 simuleret optimalt testudfald

RobSub udførte i løbet af Q2 kontinuerlige tests i testudgravningen med positive resultater.

D. 3/6-2024 afholdt RobSub demonstrationsdag, hvor repræsentanter fra VandCenter Syd, HOFOR og Aarhus Vand deltog. Her kørtes en fuld demonstration af produktet med følgende resultater:

- Robotten foretog en fuld tilkobling af IsiFlow CR-muffe på en Ø32 stikledning
- Intet personale til stede i udgravningen under installationen
- Robotten kunne fjernstyres vha. kamera-outputs, joystick og skærm fra terræn
 - Det var teamets trænede operatører, der foretog installationen
- En fuld installation varer ca. 20 minutter

Forbedringspotentiale/next-steps:

- Under test opstod løse forbindelser i ledningskabler, som måtte tilkobles og systemet genstartes
- Teamet er trænede brugere, næste mål er at få en med en ikke-robotteknisk baggrund til at foretage en installation
- Der skal testes for forskellige udgravningsstørrelser/muligheden for at minimere udgravningen



Figure 10 Demonstrationsdag hos RobSub

Konklusion

Med testen fik vi vist, at der er holdbarhed i konceptet og at det i fremtiden vil være muligt at lave automatiseret rørudskiftninger. Der er dog stadig vej fra koncept til markedsklart produkt, derfor har forsyningerne og RobSub valgt at fortsætte det gode samarbejde og søge om midler hos MUDP.

Det konkluderedes på baggrund af livscyklusanalysen at der ved en 50% udgravningsreduktion årligt kunne bespares 759 ton CO₂ på tværs af de tre forsyninger (med 9010 udgravninger).

Litteraturliste