

POSITIEBEPALING VAN SCHEPEN IN BINNENVAARTSLUIZEN

EINDRAPPORT

Auteurs:
Dany Robberecht
Bavo Coeman

5 oktober 2021

Inhoudstafel

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | SAMENVATTING | 4 |
| 2 | EXECUTIVE SUMMARY | 5 |
| 3 | OBJECTIEVEN EN WERKINGSKADER | 6 |
| 4 | METHODOLOGIE | 8 |
| 4.1 | voorbereiden begeleiding, ondersteuning en facilitering van pio-project | 8 |
| 4.2 | Aanpak van de behoeftebepaling | 8 |
| 4.3 | Aanpak van de marktconsultatie | 8 |
| 5 | BEHOEFTEBEPALING | 9 |
| 5.1 | Objectieven van de stakeholders | 9 |
| 5.1.1 | Vlaams Departement economie, wetenschap en innovatie (EWI) | 9 |
| 5.1.2 | Vlaams Departement mobiliteit & openbare werken (waterbouwkundig laboratorium) | 9 |
| 5.2 | Behoeftanalyse positionering schepen | 9 |
| 5.2.1 | Gevolgd proces tijdens behoeftebepaling | 9 |
| 5.2.2 | Uitdagingen en probleemstelling van nivelleren binnenvaartsluizen | 10 |
| 5.2.3 | Behoeftanalyse en scope van het gewenste systeem | 11 |
| | Voor dit traject wordt er niet rekening gehouden met alle variabelen die invloed hebben op de schepen in een sluis en het nivelleringsproces, zijnde: | 12 |
| 5.2.4 | het beoogde systeem | 12 |
| 6 | STAND VAN TECHNIEK | 17 |
| 6.1 | Gevolgdde methode: | 17 |
| 6.2 | potentieel nuttige meettechnologieën | 17 |
| 6.2.1 | laser tracker | 18 |
| 6.2.2 | theodoliet | 18 |
| 6.2.3 | lidar | 19 |
| 6.2.4 | fotogrammetrie | 19 |
| 6.2.5 | 6dof sensor | 19 |
| 6.2.6 | onderzoek van papers | 20 |
| 6.3 | Overzichtstabel | 20 |
| 7 | CONCEPTVOORSTELLEN | 22 |
| 7.1.1 | concept 1: fotogrammetrie met vaste opstelling | 22 |
| 7.1.2 | Concept 2: fotogrammetrie met drones | 22 |
| 7.1.3 | concept 3: lidar + camera | 23 |
| 8 | MARKTCONSULTATIE | 25 |
| 8.1 | INNOVATIEF KARAKTER positiebepaling schepen | 25 |
| 8.2 | Verslag marktconsultatie | 25 |
| 8.2.1 | Hardware | 26 |
| 8.2.2 | Software | 28 |
| 8.2.3 | wenselijkheid | 31 |
| 8.3 | alternatieven | 31 |
| 8.4 | Haalbaarheid van de use cases en conceptringen | 32 |
| 9 | SWOT ANALYSE | 33 |
| 9.1 | concept 1: fotogrammetrie met vaste opstelling | 33 |
| 9.2 | concept 2: fotogrammetrie met drones | 33 |
| 9.3 | concept 3: Lidar + Camera | 33 |
| 10 | CONCLUSIES | 35 |

| | |
|--|----|
| 11 BIJLAGEN | 35 |
| 11.1 scheepsafmetingen en langshelling | 35 |
| 11.2 stijgsnelheid kolkpeil | 36 |
| 11.3 transcripts 1-1 gesprekken | 36 |

1 SAMENVATTING

Dit document is het eindverslag van het voortraject voor het PIO-project 'Positiebepaling van schepen in binnenvaartsluizen', dat liep van februari 2021 tot en met Augustus 2021 en waarbij Verhaert, Masters In Innovation optrad als externe begeleider. Het bevat de volledig uitgewerkte resultaten van het voortraject ter voorbereiding van een bestek voor een innovatieve overheidsopdracht.

Deze voorstudie bestaat uit een analyse van de behoeften en een publieke marktconsultatie gevolgd door een rapportering. De behoefteanalyse omvatte verschillende werksessies met de projectstakeholders en andere belanghebbenden. De marktconsultatie omvatte een screening van de state-of-the-art technologie, een onderzoek naar het innovatiepotentieel met marktpartijen en resulteerde tenslotte in enkele mogelijke haalbare pistes die in een of meerdere piloten gevalideerd zouden kunnen worden. Er werden +30 partijen betrokken in het onderzoek, de publieke marktconsultatie telde 24 deelnemers. Ze vond plaats op 15 juni 2021 in een online setting. Er was de mogelijkheid om één-op-één gesprekken te hebben met de initiatiefnemers.

Met het PIO-project 'Positiebepaling van schepen in binnenvaartsluizen' beoogt het Waterbouwkundig Laboratorium van het Departement Mobiliteit en Openbare Werken (DMOW) een contactloze en mobiele meettechnologie te ontwikkelen die efficiënt en veilig, vanop de kade, de verplaatsingen en hellingen van een schip in een sluiskolk tijdens het nivelleren kan opmeten. Deze nieuwe meettechnologie moet toelaten om de veiligheid en efficiëntie van de Vlaamse sluizen te optimaliseren en de doorstroming van de scheepvaart te verbeteren.

Het beoogde concept wordt als innovatief beschouwd aangezien er geen totaaloplossing bestaat voor de voorgestelde probleemstelling. Zo dient er data gecapteerd te worden en dient deze data omgezet te worden naar de gewenste output, al dan niet automatisch. Dit leidt ertoe dat dit vooronderzoek zich toespitst op hard- en software.

Na de behoeftebepaling en onderzoek naar de stand van techniek zijn er drie concepten voorgesteld en getoetst geweest met de marktpartijen. Op basis van enkele inzichten tijdens dit onderzoek, is het Waterbouwkundig Laboratorium bereid om deels of geheel afstand te nemen van de initiële 'harde' eis van volledige 'contactloosheid'. Zo zijn er twee conceptrichtingen bepaald; concept A waar op geen enkele manier contact (fysiek of niet-fysiek) wordt gemaakt met het schip terwijl bij concept B er wel niet-fysiek contact met het schip mogelijk is. Een absolute voorwaarde is dat de metingen veilig gebeuren wat maakt dat fysiek contact met het schip uitgesloten is. De bevindingen en conclusies staan in het rapport beschreven.

2 EXECUTIVE SUMMARY

This document is the final report of the preliminary process for the PIO project "Positioning of vessels in inland navigation locks", which ran from February 2021 to August 2021 and for which Verhaert, Masters In Innovation acted as external supervisor. It contains the fully elaborated results of the preliminary study for the preparation of a tender for an innovative public contract.

This preliminary study contains the results of a needs analysis and a public market consultation. The needs analysis included several working sessions with the project stakeholders and other interested parties. The market consultation included a screening of the state-of-the-art technology, an investigation of the innovation potential with market players and finally resulted in some paths that could be validated in one or more (parallel) pilot settings. There were +30 parties involved in the research, the public market consultation had 24 participants. It took place on June 15, 2021 in an online setting. There was the possibility to have one-on-one conversations with the initiators.

With the PIO project "Positioning of vessels in inland navigation locks", Flanders Hydraulics Research of the Department of Mobility and Public Works (DMOW) aims to develop a non-contact and mobile measuring technology that can efficiently and safely measure, from the quay, the displacements and inclinations of a vessel in a lock chamber during the levelling process. This new measuring technology should allow to optimize the safety and efficiency of the Flemish locks and to improve the flow of shipping.

The envisaged concept is considered innovative as there is no total solution for the proposed problem. Thus, data needs to be captured and this data needs to be converted to the desired output, either automatically or not. This leads this preliminary research to focus on hardware and software.

After determining the needs and the state of the art, three concepts were proposed and validated with market parties. Based on some insights during this research, the Hydraulic Laboratory is willing to partially or fully abandon the 'hard' initial requirement of 'contactlessness'. Thus, two concept directions have been determined; concept A where no contact (physical and non-physical) at all is made with the ship while in concept B non-physical contact with the ship is possible. An absolute condition is that the measurements are done safely, which means that physical contact with the ship is excluded. The findings and conclusions are described in the report.

3 OBJECTIEVEN EN WERKINGSKADER

Dit eindverslag beschrijft alle stappen van het voortraject ter voorbereiding van een innovatieve aankoop voor het project 'Positiebepaling van schepen in binnenvaartsluizen' en presenteert de synthese van de resultaten. Met dit eindverslag beogen we een basis voor het opmaken van een bestek. Hiertoe werden op de marktconsultatie de verschillende projectstakeholders samengebracht met als doel het verzamelen van kennis, inzichten en concrete voorstellen vanuit verschillende invalshoeken.

Dit eindverslag formuleert een antwoord op de volgende vragen:

- Wat zijn de vereisten en randvoorwaarden voor het beoogde systeem?
- Waar ligt het innovatiepotentieel?
- Wat is de te volgen weg voor een innovatieve aankoop in het kader van innovatief aanbesteden?

Verhaert Masters In Innovation werd door de projecteigenaars, met name het Departement Economie, Wetenschap en Innovatie (EWI) in samenwerking met Departement Mobiliteit en Openbare Werken (DMOW) aangesteld om het voortraject van 'Positiebepaling van schepen in binnenvaartsluizen', in het kader van het Programma Innovatieve Overheidsopdrachten (PIO), te faciliteren.

De aanpak van Verhaert steunt op volgende pijlers

- Een multidisciplinaire benadering waarin gebruikerswensen, technologische mogelijkheden en marktvereisten worden verenigd tot adequate innovaties dankzij onze meer dan 200 experts
- Verhaert hanteert een integrale benadering waarbij kansen en risico's worden geïdentificeerd met het oog op een goede balans in termen van kosten en baten
- Verhaert bezit als gerenommeerd innovatiehuis diepgaande kennis over de ontwikkeling, validatie, incubatie, acceleratie en succesvolle implementatie van product- en diensteninnovaties
- We passen deze kennis toe in verscheidene sectoren (FMCG, publieke dienstverlening (individueel/collectief), medisch, maritiem, ruimtevaart, consumentenelektronica, logistiek, bank- en verzekeringen, enz.) en voor verscheidene opdrachtgevers (start-ups, scale-ups, kmo's, multinationals en overheidsinstellingen)

In het voortraject van 'Positiebepaling van schepen in binnenvaartsluizen' nam Verhaert de rol op van externe begeleider. Als externe begeleider faciliteert en coördineert Verhaert het voortraject, begeleidt en modereert de workshops en stimuleert de nodige wisselwerking tussen de verschillende partijen. Als externe begeleider treedt Verhaert steeds op in het algemeen belang, met als taak om de deelnemers aan de marktconsultatie resultaatgericht en op één lijn te krijgen. Daarnaast verschaft Verhaert het nodige inzicht en de nodige ervaring in het innovatiegebeuren, mede door het aanwenden van een plan van aanpak en een beproefde methodologie voor de inhoudelijke discussies en denkprocessen tijdens de werksessies. Dit eindverslag is aldus het resultaat van een gestructureerd proces om het innovatiepotentieel te bepalen met als doel de vraagstelling naar aanbodzijde te verfijnen in het kader van een bestek voor een innovatieve overheidsopdracht.

Het voortraject van 'Positionering schepen' liep van februari 2021 tot en met augustus 2021.

Algemeen bestaat het proces uit een behoeftebepaling en een marktconsultatie. Belangrijke stappen daarin zijn:

1. **Scoping werksessie met** de medewerkers van de **projectinitiator** waarbij getracht wordt de verschillende probleemstellingen/behoefte in kaart te brengen en een eerste oplossing te schetsen voor elke probleemstelling. Eveneens worden de verwachtingen in kaart gebracht.
2. **Behoeftbepaling: interviews** met geïnteresseerde belanghebbenden zoals **industriepartners en kennisinstellingen** om een consensus te vormen over de beoogde use cases en oplossingsrichtingen als voorbereiding op de marktconsultatie.
3. **Onderzoek naar de stand van techniek** en validatiegesprekken met technologie eigenaars om de technologische stand in te schatten.
4. **Marktconsultatie: Publieke werksessie met de marktpartijen** met als objectief het bepalen van het innovatiepotentieel.
5. **Eindverslag** van de marktconsultatie opgemaakt door Verhaert op basis van alle verzamelde informatie.

4 METHODOLOGIE

4.1 VOORBEREIDEN BEGELEIDING, ONDERSTEUNING EN FACILITERING VAN PIO-PROJECT

Bij de aanvang van het project heeft via een online videocall de kickoff van dit project plaatsgevonden. Zo is er kennis gemaakt met de teamleden en zijn de scope en verwachtingen van dit projecten fijngesteld. Er is een plan van aanpak voorgesteld en de verschillende rollen en verantwoordelijkheden zijn overeengekomen.

4.2 AANPAK VAN DE BEHOEFTEBEPALING

De behoeftebepaling omvatte volgende activiteiten:

1. **Scoping werksessie met** de medewerkers van de **projectinitiator** waarbij getracht wordt de verschillende probleemstellingen in kaart te brengen en een eerste oplossing te schetsen voor elke probleemstelling. Eveneens worden de verwachtingen in kaart gebracht.
2. **Interviews met belanghebbende** om kennisname van de gangbare technieken, gehanteerde werkwijzen en vaak voorkomende uitdagingen te verkrijgen.

4.3 AANPAK VAN DE MARKTCONSULTATIE

De marktverkenning rond de state-of-art wordt opgezet door een combinatie van interviews met domeinexperten en gespecialiseerde desk research. Op deze interviews wordt gepeild naar de innovatiegraad van de verschillende scenario's en randvoorwaarden en risico's bij de realisatie. De bevindingen worden gedocumenteerd in een voorlopig marktverkenningsverslag waarbij o.a. een niet-exhaustieve lijst met potentieel interessante marktpartijen (aanbodzijde) geïnventariseerd wordt en eventuele bestaande (deel)oplossingen geïdentificeerd (indien mogelijk met indicatie van Technology Readiness Level – TRL).

Voor de marktconsultatie wordt geopteerd om te werken met een online bevraging & een (online) congres. Ten eerste omwille van Covid-19, ten tweede omwille van het internationale karakter van de domeinexperten. Ter voorbereiding van dit congres worden de verschillende concepten en de mogelijke deeloplossingen digitaal ontsloten en wordt gepeild naar de haalbaarheid van de verschillende realisatiescenario's, het innovatief karakter van de prioritaire functionaliteiten, randvoorwaarden en risico's en een ruwe inschatting van de ontwikkelkosten.

Daarnaast wordt er ruimte voorzien voor 1-op-1 gesprekken met de geïnteresseerde partijen. Marktspelers kunnen kandideren om hun deeloplossing en visie op totaaloplossing kort voor te stellen. Deze gesprekken bieden het projectteam een diepgaander inzicht in de algemene haalbaarheid van de voorgestelde oplossingen, ontwikkelrisico's, investerings- en uitbatingskosten.

De resultaten en bevindingen kunt u in dit rapport consulteren.

5 BEHOEFTEBEPALING

5.1 OBJECTIEVEN VAN DE STAKEHOLDERS

5.1.1 VLAAMS DEPARTEMENT ECONOMIE, WETENSCHAP EN INNOVATIE (EWI)

Het Programma Innovatieve Overheidsopdrachten (PIO) van het Departement Economie, Wetenschap en Innovatie (EWI) heeft als doel de omvangrijke koopkracht van de Vlaamse overheid (en de bredere publieke sector in Vlaanderen) meer strategisch in te zetten voor innovatie. Hiertoe wil het PIO de overheidsorganisaties in Vlaanderen stimuleren en helpen om een deel van hun aankoopmiddelen te besteden aan innovatieve overheidsopdrachten, d.w.z. het (laten) ontwikkelen en/of aankopen van innovatieve producten en diensten waarmee ze hun eigen werking en publieke dienstverlening kunnen optimaliseren en beter kunnen inspelen op de vele maatschappelijke uitdagingen waarvoor ze staan. Op die manier wil het PIO bijdragen tot een performantere overheid, competitievere ondernemingen en oplossingen voor uitdagingen van maatschappelijk belang (gezondheid, milieu en energie, veiligheid, ...). Het PIO biedt aan overheidsorganisaties in Vlaanderen begeleiding en cofinanciering bij de ontwikkeling en validering van oplossingen mits de oplossingen voldoende innovatief en relevant zijn. Dit kunnen nieuwe of sterk verbeterde producten of diensten zijn maar ook nieuwe manieren van werken en organiseren.

5.1.2 VLAAMS DEPARTEMENT MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN (WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM)

De Vlaamse Overheid wil inzetten op de verdere uitbouw van het waterwegnetwerk met de ambitie om een betrouwbaar, efficiënt en slim waterwegnetwerk te realiseren. Sluizen vormen hierin een essentiële schakel. Het Waterbouwkundig Laboratorium van het Departement Mobiliteit en Openbare Werken (DMOW) voert studies uit om het vul- en ledigingsproces van binnenvaartsluizen in Vlaanderen te optimaliseren.

Een schip dat genivelleerd wordt in een sluiskolk zal ten gevolge van het in-of uitstromende water krachten ondervinden die afgedragen worden via zijn trossen. Hierbij mogen de krachten in de trossen, maar ook de verplaatsingen van het schip in de kolk, niet te groot worden.

Voor het hydraulisch ontwerp van een nivellering van de sluiskolk wordt gebruik gemaakt van sterk vereenvoudigde theoretische modellen. Maar het toepassingsgebied van deze modellen is beperkt, bijvoorbeeld het gedrag van recreatievaartuigen is slechts beperkt beschreven. Als validatie van het ontwerp van een nieuwe sluis of een optimalisatie van een bestaande sluis worden terreinmetingen uitgevoerd. Op dit ogenblik beperken terreinmetingen zich tot het plaatsen van sensoren in de sluiskolk of op de schepen zelf. Beide methodes zijn omslachtig en de opgeleverde data is niet nauwkeurig genoeg.

Het Waterbouwkundig Laboratorium ziet de noodzaak om een contactloze en mobiele meettechnologie te ontwikkelen die efficiënt en veilig, vanop de kade, de verplaatsingen en hellingen van een schip in een sluiskolk tijdens het nivelleren kan opmeten. Deze nieuwe meettechnologie moet toelaten om de veiligheid en efficiëntie van de Vlaamse sluizen te optimaliseren en de doorstroming van de scheepvaart te verbeteren.

5.2 BEHOEFTE ANALYSE POSITIONERING SCHEPEN

5.2.1 GEVOLGD PROCES TIJDENS BEHOEFTEBEPALING

Om inzichten te verkrijgen in de probleemstelling bij het meten van een schip heeft Verhaert een eerste workshop georganiseerd dd. 02/03/2021 met de medewerkers van het Waterbouwkundig Laboratorium. Daar zijn de verschillende use cases en probleemstellingen van het gehele nivelleringsproces voor het beoogde systeem in kaart gebracht. Zie 5.2.2.

Vervolgens zijn er verscheidene interviews uitgevoerd met enkele belanghebbenden om ook andere noden mee in kaart te brengen. De bevindingen en inzichten van de interviews zijn mee in de behoefteanalyse verwerkt. Volgende partijen werden betrokken:

Organisatie

De Vlaamse Waterweg Afdeling Techniek

De Vlaamse Waterweg Afdeling Automatisatie & Scheepvaartmanagement

De Vlaamse Waterweg Afdeling Regio Centraal

Havenbedrijf Antwerpen

Rijkswaterstaat (RWS, Nederland)

Service Public Wallonie (SPW) - Direction Des Recherches Hydrauliques

Bundesanstalt für Wasserbau Wasserbauwerke (BAW, Duitsland)

Universiteit Gent Laboratorium voor Hydraulica

Deltares

Uit de gesprekken met belanghebbenden blijkt dat zulk een meetssyteem niet bestaat, maar wel een meerwaarde zou zijn. De meeste (internationale) partijen hebben daarnaast aangegeven dat men de voorgestelde probleemstelling deelt en men interesse heeft om hiervoor een oplossing te vinden.

Daarna is er op dd. 31/03/2021 een tweede workshop georganiseerd om de behoeftebapling te finaliseren. Er zijn tweewekelijkse meetings opgezet geweest om de voortgang van het project te bespreken. Op deze manier is de continuïteit van het project bewaard gebleven. De bevindingen zijn hierachtervolgend opgenomen.

5.2.2 UITDAGINGEN EN PROBLEEMSTELLING VAN NIVELLEREN BINNENVAARTSLUIZEN

Een schip dat genivelleerd wordt in een sluis kolk zal ten gevolge van het in- of uitstromende water krachten ondervinden die afgedragen worden via zijn trossen. Hierbij mogen de krachten in de trossen, maar ook de verplaatsingen van het schip in de kolk, niet te groot worden. Indien de krachten te groot zijn kunnen de trossen breken, kan het schip of de sluis schade oplopen en/of aanrichten en kan de veiligheid van personen in gevaar gebracht worden.

Een schip heeft een grote massa. Indien een schip onder een (langs- of dwars-) helling komt te liggen, ontstaan in de trossen grote krachten aangezien het gewicht verticaal naar beneden werkt. Zowel met het oog op het voorkomen van de grote krachten in de trossen als met het oog op het optimalisatie van het nivelleringsproces, is het belangrijk om de helling van het schip nauwkeurig op te meten. Deze helling en in het bijzonder de langshelling van het schip is een goede maat voor de optredende krachten in de trossen.

Tijdens een nivellering zijn volgende aspecten van belang:

- 1) **Type en afmetingen schip:** De karakteristieken van het schip (afmetingen, diepgang, vorm) bepalen mede de waterbewegingen in de kolk en dus ook de krachten op het schip ten gevolge van deze bewegingen. Hierbij is het schip afhankelijk van de betreffende sluis. Echter voor een gegeven sluis kan het schip dat maatgevend is voor de optredende krachten in de trossen verschillen van het (maximale) schip waarvoor de sluis ontworpen is.

- 2) **Positie van schip in sluis:** De positie van het schip in de sluis bepaalt mede welke krachten er van toepassing zijn. Bij sluizen met een nivelleersysteem met openingen in de deur zal bijvoorbeeld een schip grotere krachten ondervinden wanneer het dicht tegen de voor nivelleren gebruikte deur aangemeerd ligt.
- 3) **Gehanteerde aanmeermethode tijdens nivelleren:** Het is verplicht de motor uit te zetten en het schip vast te leggen aan twee bolders tijdens het nivelleren. Deze richtlijn wordt in de praktijk niet altijd nageleefd. Zo laten sommige schippers de motor aanstaan en maken ze het schip maar vast aan één bolder. De manier waarop men de trossen strak houdt tijdens het nivelleren, bepaalt mede de positie van het schip. Bij vaste bolders zal de tros niet continu strak staan, wat het schip de vrijheid geeft om te bewegen en dus meer kracht (kinetische energie) op de tros kan zetten als die terug strak komt te staan. Bij sluizen met groter verval worden soms drijvende bolders gebruikt waar dit probleem zich minder stelt. Deze variabelen (met of zonder motor, het schip vastleggen aan één of twee bolders en vaste vs. drijvende bolders) hebben een impact op het gedrag van het schip ten gevolge van de waterbewegingen in de kolk tijdens nivelleren.
- 4) **Aantal schepen in sluis:** Indien er meerdere schepen in een sluis liggen, kunnen die ook krachten op elkaar uitoefenen. Indien de motor van een schip in de sluis nog aan staat, kan de stroming van de propeller van het schip andere schepen in de kolk beïnvloeden.

Tot nu toe werden sporadisch terreinmetingen uitgevoerd. Enerzijds werd bij een aantal onderzoeken de waterspiegelhelling in de sluis kolk opgemeten door middel van druksensoren, die in de laddernissen van de sluizen werden gehangen. Het waterhoogteverschil tussen twee druksensoren is hierbij een maat voor de helling van het schip en bijgevolg een maat voor de kracht op het schip. Deze metingen geven een eerste indicatie, maar zijn niet nauwkeurig over beperkte afstand zoals bij recreatievaartuigen of bij het bepalen van de helling dwars op de kolk-as. Het systeem kan geen rekening houden met de lengte van het schip, en van de positionering van het schip tegenover de druksensoren. Verder brengt het plaatsen van de sensoren in de laddernissen dicht bij de rand van de sluis, risico's met zich mee. Naast de druksensoren hebben we anderzijds ook een integraal scheepsbewegingsmeetsysteem getest. Zulk een systeem meet de positie van het schip met GPS en de helling van het schip met inclinometers. Tijdens de testen bleek dat het GPS signaal verstoord is tussen de sluiswanden. Daarbij komt dat metingen op schepen veel organisatie vragen. Elke schipper moet vooraf gecontacteerd worden om toestemming en er dient op een veilige manier aan- en van boord gegaan te worden. Het aantal schepen dat op deze manier opgemeten kan worden is beperkt tot maximaal twee per dag.

De contactloze en mobiele meettechnologie stelt belangrijke uitdagingen. In eerste instantie wenst men verschillende type vaartuigen te 'bemeten', waaronder ook recreatievaartuigen waarvan in de huidige door WL toegepaste modellering de resultaten behept zijn met een grote onzekerheid. De bemonstering van alle parameters (in de use cases aangehaald) die invloed hebben tijdens het nivelleringsproces van zowel de sluis als het vaartuig wordt als omslachtig beschouwd.

Ten tweede ligt er een kritikaliteit in het beoogde meetsysteem. De bestaande oplossingen in de markt zijn ontoereikend om het probleem in zijn geheel op te lossen. Er moet verder onderzoek gebeuren naar welke technologieën de meting haalbaar maken en of er eventueel een fusie nodig zal zijn.

5.2.3 BEHOEFTE ANALYSE EN SCOPE VAN HET GEWENSTE SYSTEEM

Uit de eerste workshop met medewerkers van WL en de interviews met andere betrokkenen, is er een use case lijst opgemaakt die alle noden en vereisten van het beoogde systeem overzichtelijk en gedetailleerd in kaart brengt.

De use cases zijn als volgt opgemaakt:

- 1) **Story name (Journey):** ze onderverdeeld zijn in categorieën zodat ze makkelijk gegroepeerd zijn.
 - o De opstelling: hoe het systeem opgesteld moet worden met de daarbij horende zaken
 - o De nauwkeurigheid en bereik: omvat de al dan niet technische specificaties waaraan het systeem moet voldoen
 - o Data: dat het systeem moet capteren en aanleveren.
- 2) **Given:** is een persoon (gebruiker) voor wiens standpunt de use case is opgemaakt. Volgende gebruikers worden aangehaald:
 - o Operator: bedient het systeem, zet het op en stelt het in
 - o Ingenieurs: zullen de data bewerken
 - o Onderzoekers: analyseren de data
 - o Sluisbeheerder: zal het onderzoeksresultaat raadplegen
- 3) **When:** de job-to-be-done, wat de gebruiker wenst te behalen.
- 4) **Then:** de beschrijving van het voordeel dat getracht wordt behaald.
- 5) **Acceptatie criteria:** Eventueel de bijkomende randvoorwaarden waaraan de use case moet voldoen.
- 6) **Waarde:** De waardering van een use case. De use case krijgt een score die aangeeft hoe belangrijk deze is voor dit project. De scoring is als volgt en staat in volgorde van waardering.
 - o Must-have: use case die opgenomen dient te worden voor dit project, dit is een basisvereiste waaraan het systeem moet voldoen.
 - o Rival: het zou een meerwaarde zijn moest deze use case mee opgenomen worden. Moest het systeem bestaan, zou de use case het systeem aanvullen met extra mogelijkheden.
 - o Outperformer: dat zijn use cases die gemist kunnen worden, maar een verborgen meerwaarde zouden leveren.
 - o Indifferents: zijn niet belangrijk, of out-of-scope.

Tijdens een tweede workshop hebben Verhaert, de Vlaamse Waterweg en het Waterbouwkundig Laboratorium al de use cases duidelijk gedefinieerd en gescoord op de waarde. Zo zijn de minimale randvoorwaarden opgelijst en is er een duidelijke scoping van het gewenste systeem.

Voor dit traject wordt er niet rekening gehouden met alle variabelen die invloed hebben op de schepen in een sluis en het nivelleringsproces, zijnde:

- Bediening van het schip tijdens nivellering.
- Andere schepen (grootte en kleine en waar gepositioneerd)
- Status motors; aan of uit.
- Comfortgevoel schippers
- Tijd (start – stop van het nivelleringsproces)

De meeste van deze variabelen zouden manueel mee opgenomen dienen te worden tijdens de meting zodat dit mee tijdens de analyse geconsulteerd kan worden.

5.2.4 HET BEOOGDE SYSTEEM

Het Waterbouwkundig Laboratorium ziet de noodzaak om een contactloze en mobiele meettechnologie te ontwikkelen die efficiënt en veilig, vanop de kade, de positie en de helling van

een schip in een sluiskolk tijdens het nivelleren kan opmeten. Deze nieuwe meettechnologie moet toelaten om de veiligheid en efficiëntie van de Vlaamse sluizen te optimaliseren en de doorstroming van de scheepvaart te verbeteren.

Hierna volgend is een tabel gegeven met alle use cases waar het te ontwikkelen systeem idealiter aan zou moeten voldoen. De weging van de use cases staat er niet bij aangezien ze allemaal must-have zijn voor de betrokkenen, zo bleek uit de behoefteworkshops. Of deze 'must-have's' ook allemaal technologisch/organisatorisch/businesswise/... haalbaar zijn in een nog te ontwikkelen oplossing, zal de marktverkenning en -consultatie moeten duidelijk maken (cf volgende hoofdstuk).

De volledige use case lijst, met onder andere de rival en outperformer vereisten, kan in bijlage teruggevonden worden.

USE CASES: MUST HAVES – zoals gedefinieerd tijdens de behoefteworkshops

| Story name (journey) | As an/a (given) | I want to ... (when) | So that ... (then) | Acceptance criteria |
|------------------------------------|-----------------|--|--|--|
| <i>Example - Set up the device</i> | <i>End user</i> | <i>connect my sonos device to my WIFI network</i> | <i>I have to search for my WIFI network and confirm the network of my choice</i> | <i>Confirmation by entering my WIFI network password</i> |
| Opstelling | Operator | moeten het systeem mobiel kunnen gebruiken | zodat de opsteltijd beperkt is | max 1u |
| Opstelling | Operator | moeten het systeem mobiel kunnen gebruiken | zodat langs verschillende sluizen opmetingen kunnen plaatsvinden met hetzelfde systeem | Toestemming betreden plaats, footprint theodoliet, |
| Opstelling | Operator | De constructie mag (niet=outperformer) over de sluis kolk hangen | | mag geen stremming veroorzaken, tenzij de hoogte van het systeem ten minste 12m hoogte (zodat de schepen eronder kunnen) |
| Opstelling | Operator | Stellen het systeem op een stabiele manier op, bv een tripod. | zodat de installatie stabiel is vrij van trillingen of verschuivingen of wind | Stabiele ondergrond <=2m kolkwand |
| opstelling | operator | het systeem moet weerresistent zijn | zodat het lichte weersbuien kan weerstaan | een lichte bui, water resistent. IP: 5 |
| opstelling | operator | mag de opstelling niet te dicht bij de bolders van de sluis opzetten | zodat de veiligheidsregels worden nageleefd | 1-2 meter rond de bolder |
| opstelling | operator | moet de referentiepunten kunnen bepalen - post processing | zodat het gehele proces gemeten wordt van aanmeren tot terug vertrekken | |
| Autonomie | Operator | moeten een ganse dag metingen kunnen uitvoeren | zodat voldoende (10) schepen worden opgemeten | afhankelijk van de traffic en aantal versassing |
| Autonomie | Operator | beschikken over een contactloos systeem | zodat het niet nodig is het schip te betreden | |
| Autonomie | Operator | beschikken over een contactloos systeem | zodat er geen toestemming nodig is van de schipper | zodat er geen fysiek contact met het schip nodig is |
| Autonomie | Operator | beschikken over een systeem dat continu meet tijdens het nivelleren | | gemiddeld 12 minuten - (5 min tot ca. 25 min) |
| Nauwkeurigheid en bereik | ingenieur | het systeem meet de zes vrijheidsgraden, waar de langshelling de basis is en het nauwkeurigste moet zijn | | |

| | | | | |
|---------------------------------|-----------|---|--|--|
| Nauwkeurigheid en bereik | ingenieur | het systeem is zeer nauwkeurig waarbij de schiplengte een maximale toegelaten pitch (= langshelling) kent in (per duizend procent) per CEMT-klasse en dus een max langshellings hoek opmeet van Y centimer (bv 185m -> 13,9cm helling end-to-end) | Zodat we de lansghellingen van een beroepsvaartuig met een nauwkeurigheid van 10% kunnen bepalen. | criterium end- to-end langshelling: 5.8 cm voor een CEMT I met lengte 38.5 m tot 13.9 cm voor een CEMT VbB met lengte 185 m. -> Totale nauwkeurigheid meting 10% van deze waarden. 10 % = 5% boven en onder. Op boeg en hek samen * (tabel met stijgsnelheden van enkele sluisen is te vinden in bijlage). |
| Nauwkeurigheid en bereik | ingenieur | het systeem is zeer nauwkeurig waarbij de schiplengte een maximale toegelaten pitch kent in (per duizend procent) per CEMT-klasse en dus een max langshellings hoek opmeet van Y centimer (bv 185m -> 13,9cm helling end-to-end) | Zodat we de lansghellingen van een recreatievaartuig met een nauwkeurigheid van 20% kunnen bepalen. | Criterium end-to-end langshelling 3.6 cm voor een recreatievaartuig met lengte 12 m. |
| Nauwkeurigheid en bereik | ingenieur | Het systeem moet toepasbaar zijn op een groot aantal sluisvarianten | Zodat sluisen met een beperkte breedte (ca. 5.0 m) tot sluisen met een grotere breedte van 25.0 m kunnen opgemeten worden en sluisen met een beperkt verval (<3m) tot sluisen met een groot verval tot 10 m kunnen opgemeten worden. | |
| Nauwkeurigheid en bereik | ingenieur | Bij gebruik van camerabeelden mogen geen mensen, nummerplaten of andere persoonsgegevens herkenbaar in beeld komen | zodat de privacywetgeving wordt gerespecteerd | alle persoonsgegevens mogen niet in ruwe data zichtbaar zijn |
| Nauwkeurigheid en bereik | ingenieur | kunnen de piloottesten benchmarken dmv metingen met prisma's en theodolieten | om de nauwkeurigheid van het beoogde concept te valideren | |
| Nauwkeurigheid en bereik | ingenieur | het systeem meet het nivelleringsproces met een frequentie van X seconden | zodat de optredende schommelingen met een voldoende resolutie opmeten worden | 1 tot 3 s |
| Nauwkeurigheid en bereik | ingenieur | de meetduur per meetstap bedraagt < X s | zodat de meting correct kan verlopen. Zodat de bijkomende fout in de opgemeten waterhoogte door het stijgen of dalen van het kolkpeil op de meting beperkt blijft. De maximale stijgsnelheid bedraagt 66 mm/s. Bij een meetduur van 0.1 s zal het schip 7 mm in hoogte verplaatsen of verlagen tijdens de meting. * (tabel met stijgsnelheden van enkele sluisen is te vinden in bijlage). | < 0.1 s |

| | | | | |
|---------------------------------|-------------|---|--|--|
| nauwkeurigheid en bereik | ingenieur | het referentiepunt moet niet vooraf bepaald worden | indien dit tijdens de post processing bepaald kan worden | |
| nauwkeurigheid en bereik | ingenieur | moet voor de post processing ten minstens een paar referentiepunten gedurende het gehele proces kunnen opvolgen | zodat de meting correct kan verlopen | zo zijn er minstens 3 meetpunten nodig. 4e voor validatie zou rival zijn |
| nauwkeurigheid en bereik | operator | moet tijdens de meting een soort kwaliteitscontrole kunnen uitvoeren op de meting | om te weten zodat de meting correct verloopt | |
| nauwkeurigheid en bereik | ingenieur | een meetsysteem dat niet gestoord wordt door verschillende variabelen (mensen, slecht weer, machines, ...) | om alle situaties in te schatten en niet enkel degene die mogelijk zijn | mag niet verstoord worden door mensen op het schip |
| nauwkeurigheid en bereik | ingenieur | positie schip in sluis (locatie schip in sluis) adhv referentiepunten in/rond de sluis | is belangrijk om het nivelleringsproces beter te verstaan (jetcomponent/effect : kracht te dicht bij deur) | tot op 10 cm |
| Data | Onderzoeker | moeten de data van de meting niet real-time analyseren | zodat de data nog voorbereid kan worden voor de analyse | |
| Data | Onderzoeker | moeten de output van de meting kunnen lezen in een grafiek (x-as = tijd; y-as = hellingsgraad) of mag een ASCII file zijn (bijvoorbeeld csv) waarbij bijvoorbeeld de eerste kolom de tijd bevat, de volgende kolommen de waarde van de gemeten hellingen en verplaatsingen. | de analyse makkelijk kan opgevolgd worden | |

6 STAND VAN TECHNIEK

6.1 GEVOLGDE METHODE:

De stand van techniek beschrijft het onderzoek dat is uitgevoerd naar de verschillende meettechnologieën die het mogelijk maken om de positie van schepen in een binnenvaartsluis te bepalen, waarbij de positiebepaling idealiter kan uitgevoerd worden zonder dat er fysiek aan boord gegaan wordt van het schip. Bij dit onderzoek exploreren we de markt en de verschillende technieken. In een eerste instantie worden de metingstechnieken onderzocht zonder deze direct af te schrijven indien ze niet aan alle voorwaarden voldoet.

Dit onderzoek is opgedeeld in twee grote fasen: desk research en interviews. De deskresearch fase bestaat erin een overzicht te krijgen van verschillende technologieën door middel van een patentenonderzoek, het lezen van relevante papers en het zoeken van gelijkaardige problemen in andere domeinen. Met behulp van opzoekwerk en kennis, worden de verschillende meettechnologieën preliminair getoetst en gescoord. Deze desk research fase heeft als doel om een duidelijk overzicht te krijgen van mogelijke technologieën die inzetbaar kunnen zijn voor het gestelde probleem.

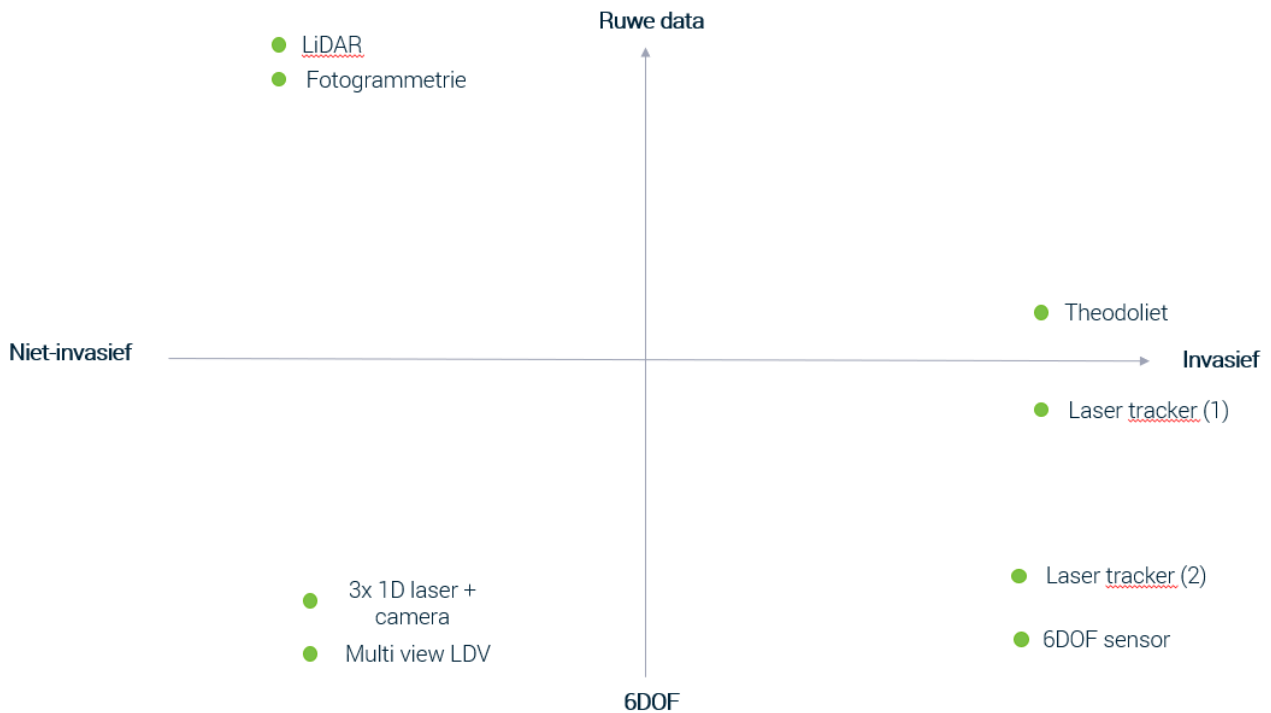
De interviews fase bestaat erin om met verschillende marktpartijen gesprekken te voeren om zo mogelijke valkuilen in bepaalde technologieën aan het licht te brengen. Deze verschillende marktpartijen bestaan uit zowel fabrikanten van bepaalde technologieën alsook integratoren van hardware en software. Het is noodzakelijk om beide spelers te interviewen aangezien het gestelde probleem een hardware- en softwareoplossing vergt.

Verhaert heeft vervolgens de beschikbare meettechnologieën die het mogelijk maken om de locatie te bepalen aan de hand van een aantal referentiepunten geëvalueerd en op basis van die evaluatie drie conceptvoorstellen gedefinieerd die tijdens een marktconsultatie (15/06/2021) door diverse marktspelers en potentiële leveranciers werden geëvalueerd.

6.2 POTENTIEEL NUTTIGE MEETTECHNOLOGIEËN

De verschillende meettechnologieën met hun specificaties zijn overgenomen van één type systeem voor de voorgestelde technologie. Afhankelijk van de aanbieder en het type, kunnen deze specificaties veranderen.

De perceptuele map hieronder geeft een duidelijk overzicht hoe de verschillende technologieën verschillen t.o.v. elkaar. Bij dit traject zijn we op zoek naar een niet-invasieve technologie (waar geen of zo min mogelijk fysiek contact dient gemaakt te worden met het schip) die het toelaat de variatie van de zes vrijheidsgraden (de gewenste uitkomst) weer te geven in functie van tijd. Aangezien '3x 1D laser + camera' en 'Multi view LDV' onderzoeksprojecten zijn waar er assumpties zijn gemaakt en voorsnog niet rechtstreeks toepasbaar in de praktijk zijn. Zo blijkt uit een eerste analyse dat 'LiDAR' en 'Fotogrammetrie' technologieën zijn die op deze map het dichtst aanleunen bij het gewenste resultaat. De meer invasieve technologieën die wel een zeker contact met het schip veronderstellen, worden alsnog mee opgenomen in het onderzoek om de vergelijking tussen de technologieën te kunnen maken.



6.2.1 LASER TRACKER

Werkingsprincipe: Een lasertracker stuurt een laserstraal uit richting het op te meten object. Op dit op te meten object wordt een retroreflector aangebracht (vaak een sferische retroreflector (SMR)) waarin de laserstraal wordt gereflecteerd naar de tracker. Vele lasertrackers zijn in staat om deze SMR automatisch doorheen de tijd te volgen. De combinatie van lasertracker met SMR maakt dat de 3D positie van deze SMR zeer nauwkeurig kan worden opgemeten. Zo kunnen bijvoorbeeld drie lasertrackers één reflector volgen en daaruit leidend kan de positie van de reflector bepaald worden. Anderzijds bestaan er ook oplossingen op de markt die de vrijheidsgraden automatisch berekenen. Een gemotoriseerde ontvanger in de lasertrack sensor volgt de laserstraal en geeft in realtime informatie over de helling en gierbeweging van het object. Een roldetectiesysteem levert de rolhoek van het object.



Conclusie: Als technologie is de lasertracker een uitstekende keuze. Hij voldoet aan tal van vereisten zoals de verwachte nauwkeurigheid en de opmeetsnelheid (refresh rate). Doordat een reflector moet aangebracht worden op het schip beantwoordt deze technologie niet aan de eis die het WL stelt m.b.t. het contactloze karakter van de technologie zodat er niet fysiek aan boord gegaan moet worden. Niettemin, deze reflector kan bevestigd worden op een Drone die vervolgens op het schip landt. Doordat deze meting contact vereist, doch geen fysiek contact, wordt dit als plan B beschouwd.

6.2.2 THEODOLIET

Algemene uitleg: Een theodoliet (total station) kan zeer nauwkeurig horizontale en verticale hoeken uitzetten. De theodoliet zendt een infrarood puls uit. Deze puls wordt door een prisma teruggestuurd naar de theodoliet waaruit de afstand kan bepaald worden. Op de theodoliet zelf is het mogelijk om de horizontale en verticale hoek uit te lezen t.o.v. het prisma. Deze hoeken

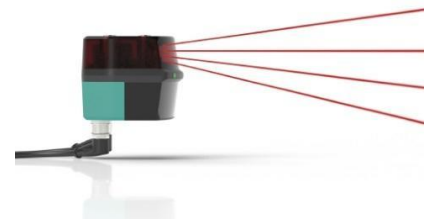
maken het mogelijk in combinatie met de gemeten afstand om de 3D positie van het prisma te bepalen.

Conclusie: De theodoliet is gelijkaardig aan de laser tracker. Het heeft ook een reflector nodig om een bepaald punt makkelijk te volgen, in de vorm van een prisma, dat het mogelijk maakt om de afstand tot de prisma alsook zeer nauwkeurig de horizontale en verticale hoek op te meten. Ook wordt de theodoliet als plan B beschouwd aangezien net zoals bij de Laser Tracker, er een reflector aan de drone bevestigd kan worden.



6.2.3 LIDAR

Algemene uitleg: Light Detection and Ranging (LiDAR) is een meettechniek dat gebruik maakt van laserstralen om zijn omgeving op te meten. De tijd tussen het uitzenden van de laserstraal en het terugkeren van deze laserstraal (time of flight) maakt het mogelijk om de afstand te bepalen dat de laserstraal heeft afgelegd. Het weerkaatsen van de laserstraal gebeurt doordat de uitgezonden laserstraal op een object botst dat de straal terugstuurt. Door een laserstraal op meerdere posities in de ruimte af te vuren is het mogelijk om de volledige omgeving rond een LiDAR scanner in beeld te brengen. Dit beeld bestaat meestal uit een zogenaamde puntenwolk dat de punten weergeeft daar waar de laserstraal is weerkaatst.



Conclusie: Een LiDAR scanner lijkt qua technologie in staat om nauwkeurig objecten in een ruimte op te meten. Aangezien het gestelde probleem gaat om het opmeten van een bewegend object lijkt een LiDAR scanner alleen niet voldoende. Uit een puntenwolk is het moeilijk af te leiden wat er achter de punten schuilgaat. Verschillende beeldverwerkingstechnieken moeten worden getest zodat de haalbaarheid en nauwkeurigheid met elkaar vergeleken kunnen worden.

Er bestaan 1D, 2D en 3D lidars met elk hun toepassing. 3D kan een volledige ruimte scannen, maar dit is redelijk traag en niet toepasbaar voor de nivellering te capteren. Er bestaan ook 2D lidars die één lijn opmeten, bijvoorbeeld roterende lidars. Deze sensoren kunnen een update rate hebben van wel meer dan 20Hz. 1D lidars zijn laser afstandsmeters.

6.2.4 FOTOGAMMETRIE

Algemene uitleg: Fotogrammetrie is een methode om de vorm en locatie van objecten en gebieden te bepalen door metingen in foto's. Verschillende camera toestellen worden rond het op te meten object geplaatst met de premisse dat de verschillende camera's een overlap hebben in het object op elk van hun opgenomen beelden. Door de kalibratie van de camera's en de opstelling is het nadien mogelijk om van bepaalde punten op het object de locatie te bepalen in de ruimte.



Conclusie: Fotogrammetrie lijkt qua technologie in staat om nauwkeurig objecten in een ruimte op te meten. Het vergt enige kalibratie en het bepalen van een juiste opstellingen, maar eens deze stappen zijn voltooid, is het mogelijk om de positie van objecten te bepalen zonder dat er aan boord van het schip moet gegaan worden.

6.2.5 6DOF SENSOR

Algemene uitleg: Het idee achter deze technologie is zeer eenvoudig waarbij er gebruik gemaakt wordt van bestaande 6DOF sensoren, al dan niet specifiek voor de scheepsvaart. Deze sensoren worden aan boord gebracht van het schip waarna de meeting direct het gewenste resultaat oplevert.

Conclusie: De technologie van 6DOF sensoren is goed maar enkel bruikbaar indien er fysiek aan boord kan gegaan worden. Dit is onmogelijk in de huidige probleem stelling waardoor deze technologie niet geschikt lijkt voor de uitdaging. Verder onderzoek naar de specificaties valt buiten scope van dit project.



6.2.6 ONDERZOEK VAN PAPERS

Tijdens het onderzoek naar de stand van techniek zijn ook twee papers aan bod gekomen die hieronder kort beschreven worden:

6.2.6.1 3 X 1D LASER + CAMERA

Een triangulaire configuratie is ontwikkeld waarbij op elk hoekpunt een 1D laser wordt bevestigd. In het center van deze configuratie wordt een RGB-camera vastgemaakt. De 6DOF van het schip worden berekend door een transformatiematrix te berekenen dat het assenstelsel van het schip transformeert naar het assenstelsel dat vasthangt aan de triangulaire configuratie. De auteurs hebben een methode ontwikkeld waarbij er niet aan boord moet gegaan worden van het schip maar hiervoor maken ze bepaalde assumpties die moeten worden afgetoetst met de werkelijkheid.

6.2.6.2 MULTI VIEW LDV

Multi view Laser Doppler Velocimeter (LDV) is een opstelling die het mogelijk maakt om de 6DOF (hoeksnelheden en lineaire snelheden) van een object te bepalen. Een LDV-sensor is een sensor die op basis van interferentie de snelheid van een object kan bepalen. Om deze 6DOF te bepalen moeten er van 6 punten op het object de snelheid bepaald worden. Hiervoor dienen 6 laserstralen uit de LDV gestuurd worden die minstens van 3 verschillende standpunten uitgezonden worden. De auteurs maken minder assumpties maar bepalen het werkingsdomein van deze technologie tot 3 meter van het object. Hierdoor is het nodig om na te gaan of deze technologie ook inzetbaar is in het gestelde probleem waardoor het TRL-niveau van deze technologie ook op 5 wordt geschat.

6.3 OVERZICHTSTABEL

Volgende tabel geeft de verschillende technologieën weer ten opzichte van de belangrijkste onderzoeksaspecten. Deze tabel is opgemaakt na het onderzoek naar de stand van techniek door Verhaert. Een kleurencode geeft aan of dergelijke technologieën in lijn staan met de verwachtingen van dit project (groen= haalbaar; oranje = uitdaging, rood = moeilijkheden verwacht).

| | | | | |
|--|----------------------------|-------|----------------|---------------------------------|
| | Theodoliet /Laser tracking | LiDAR | Fotogrammetrie | Drone met 6DOF sensor / tracker |
|--|----------------------------|-------|----------------|---------------------------------|

| | | | | |
|---|--------|--------|-------|--------|
| Opstelling | Yellow | Green | Red | Yellow |
| Contactloos | Red | Green | Green | Red |
| Data meting (frequentie en duurtijd meetstap) | Green | Yellow | Green | Green |
| Nauwkeurigheid | Green | Green | Green | Green |
| Data verwerking | Green | Red | Red | Green |

7 CONCEPTVOORSTELLEN

Op basis van het onderzoek naar de stand van de techniek werden door Verhaert en het WL drie concepten voorbereid. Deze oplossingsrichtingen zouden mogelijk het best aan de behoefte van het WL kunnen voldoen en werden tijdens de marktconsultatie getoetst met de experts.

7.1.1 CONCEPT 1: FOTOGRAMMETRIE MET VASTE OPSTELLING

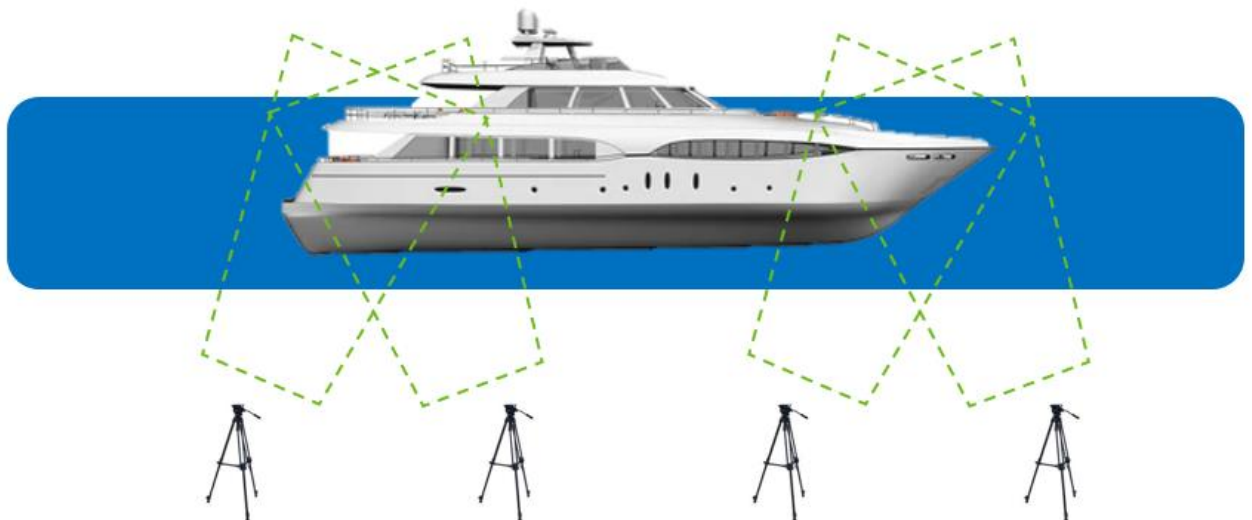
Een opstelling met verschillende vaste camera's wordt opgesteld zodat de schepen in de binnenvaartsluis in beeld gebracht worden. Elke camera maakt een beeld van een bepaalde zone van het schip. Een deel van deze zone moet overlappen met minstens een zone van een andere camera. De overlappende zone is de interessante zone waarop de diepte/afstand van bepaalde punten van het schip kunnen worden bepaald.

Deze vaste opstelling heeft als voordeel dat vooraf rekening gehouden kan worden met het mogelijks grote verval tijdens het nivelleringsproces. Eens deze opstelling gekalibreerd is, kan het lange tijd accurate opmetingen uitvoeren. Het kalibratie proces zelf zal tijd en expertise vragen. De onderlinge positionering van de camera's moet gekend zijn.

Deze vaste opstelling voldoet vervolgens nog aan enkel cruciale randvoorwaarden. Het kan zeer veel foto's per seconden opnemen, er hoeft niet fysiek aan boord gegaan worden.

Dit concept maakt wel dat er niet rechtstreeks aan positiebepaling gedaan wordt. De camera's nemen foto's (ruwe beelden) die nadien door software zullen worden geanalyseerd en verwerkt zodat de positie van het schip berekend kan worden.

De effectieve nauwkeurigheid en de robuustheid voor het grote verval in de sluis moeten worden nagegaan. Bij een groot verval kan het goed zijn dat de positie van de camera's (hoek, hoogte) aangepast dient te worden tijdens de meting of dat meer camera's toegepast moeten worden (bv. een reeks voor de meting bij lagere kolkpeil en een tweede reeks voor metingen bij hoger kokpeil).

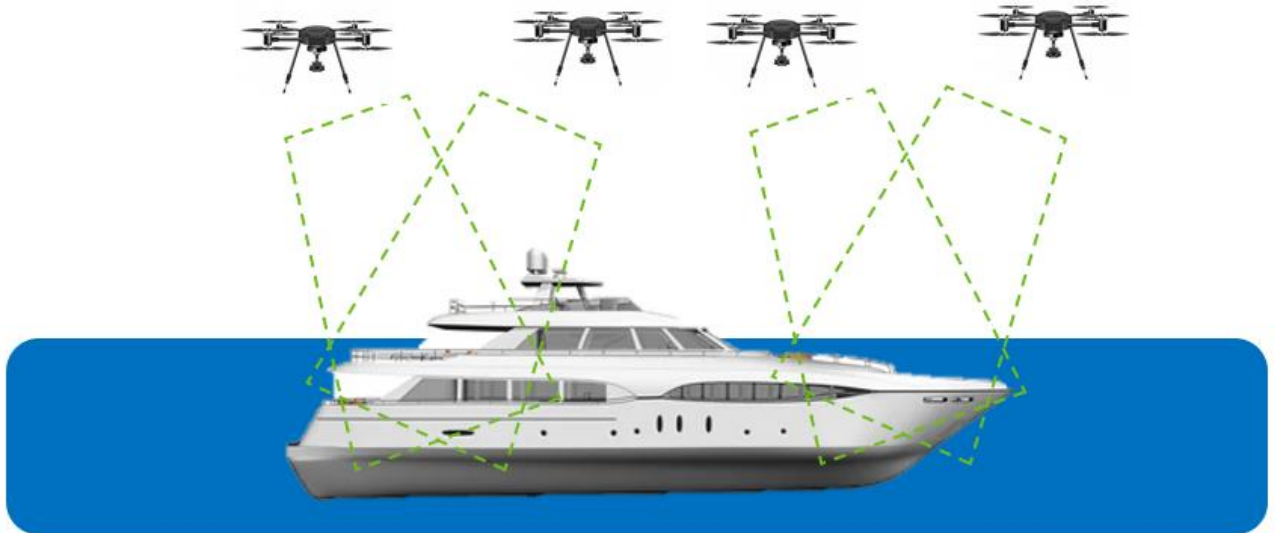


7.1.2 CONCEPT 2: FOTOGRAMMETRIE MET DRONES

Fotogrammetrie met drones is zeer gelijkaardig aan het eerste concept. Een voordeel van te werken met drones is dat er minder afhankelijkheid is van de omgeving rond de sluis. Ook zijn drones vaak uitgerust met GPS sensoren waardoor de onderlinge positie tussen de drones eenvoudiger bepaald kunnen worden. Zo wordt de positie en de hoek van de drone bepaald m.b.v. AI algoritmes. Na het bepalen van deze positie wordt vervolgens de referentiepunten gelocaliseerd.

Volledige vrije drones hebben wel maar een bepaalde autonomie die mogelijks niet voldoet aan de verwachtingen. Een mogelijkheid is hier om *tethered* drones in te schakelen die een fysieke connectie hebben met de aarde, waardoor een langere autonomie gerealiseerd kan worden.

Een nadeel van fotogrammetrie met drones is dat het meer afhankelijk is van de weersomstandigheden. Bij hevige windvlagen zal het moeilijk zijn voor de drones om zich stabiel te houden.



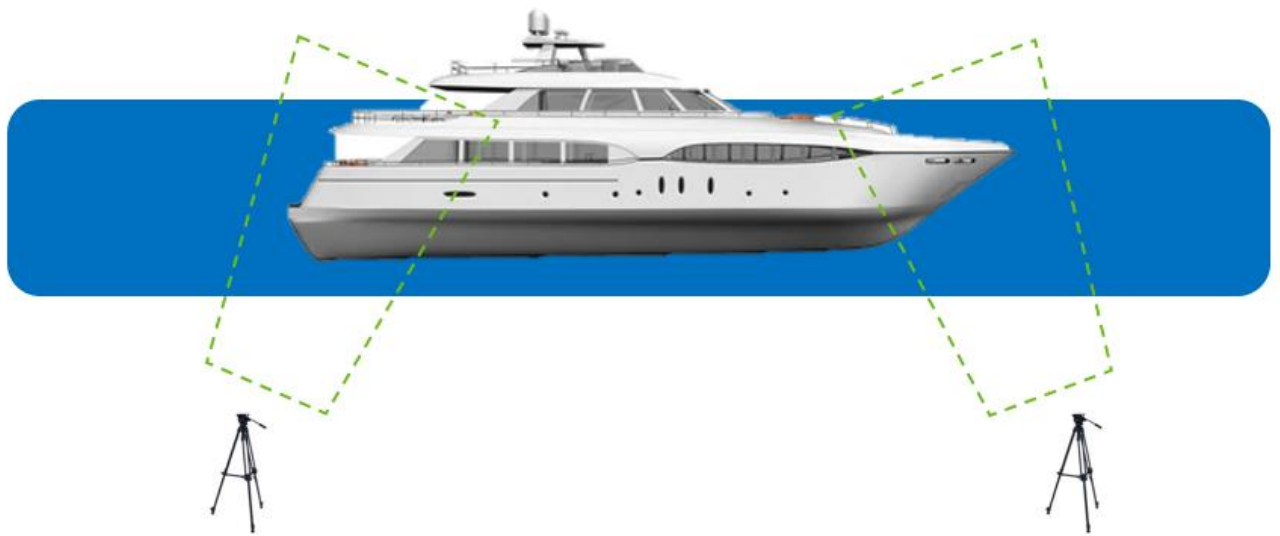
7.1.3 CONCEPT 3: LIDAR + CAMERA

Het laatste concept is een sensor fusie tussen een LiDAR scanner en een RGB-camera. Daar de LiDAR scanner in staat is om een 2D of 3D puntenwolk van zijn omgeving te maken is het onmogelijk om op die 3D puntenwolk na te gaan welk object er achter de punten schuil gaat. Door de LiDAR scanner te combineren met een RGB-camera is het mogelijk om de twee sensoren te fuseren zodat op de puntenwolk een foto wordt overspannen, of andersom de puntenwolk gemapt wordt op de foto. Tegenwoordig is er ook LiDAR die een kleurenpuntenwolk weergeeft, waardoor de objecten beter te vatten zijn.

De LiDAR scanner meet nauwkeurig de afstanden op waarna in postprocessing stap bepaalde referentiepunten op de RGB foto doorheen de tijd gevolgd worden om tot de positie van het schip te komen.

Deze fusie van sensoren maakt het mogelijk om de positie van het schip te bepalen, zonder het schip fysiek te betreden. Daarnaast is de opstelling van dit systeem redelijk eenvoudig zonder uitgebreide kalibratie. De effectieve nauwkeurigheid en de robuustheid voor het grote verval in de sluis moeten worden nagegaan.

De postprocessing is noodzakelijk aangezien positiebepaling moet berekend worden uit de data dat dit systeem capteert. Er zullen meerdere mogelijkheden zijn om deze positiebepaling te berekenen die afgetoetst moeten worden.



8 MARKTCONSULTATIE

De afdeling Waterbouwkundig Laboratorium van het departement Mobiliteit en Openbare Werken (DMOW) heeft samen met het Programma Innovatieve Overheidsopdrachten (PIO) en Verhaert op 15 juni 2021 een marktconsultatie georganiseerd waarop alle belanghebbenden voor het ‘positiebepaling schepen in binnenvaartsluizen’ project waren uitgenodigd. Tijdens de marktconsultatie werden enkele technologieën getoetst met de participanten via het online platform Mentimeter. Eveneens werden de conceptvoorstellen ter validatie voorgelegd. De mentimeter laat toe om op een anonieme wijze vragen te beantwoorden. De marktconsultatie is online verlopen met een aanwezigheid van 24 participanten vanuit industrie en kennisinstellingen.

De marktconsultatie kende een talrijke en diverse opkomst, maar er was weinig vertegenwoordiging door hardware specialisten. Echter, hebben de andere aanwezige partijen genoeg kennis en ervaring met de hardware om deze te vertegenwoordigen. We beschouwen ze dus ook als representatief. Onderstaand geeft het aantal deelnemers per sector weer.



8.1 INNOVATIEF KARAKTER POSITIEBEPALING SCHEPEN

Het innovatieve karakter van het ‘positiebepaling schepen’ project werd tijdens de marktconsultatie bevestigd. Via Mentimeter werd gepeild naar de kennis van alternatieve oplossingen. Slechts één deelnemer kende een alternatief waarbij fysiek contact met het schip nog steeds nodig is. Een totaaloplossing voor de vraagstelling van dit project (contactloos) is er niet. Er is dan ook een grote behoefte aan verder onderzoek naar alternatieve oplossingen. De andere respondenten uitten deze wens expliciet tijdens de marktconsultatie. Het feit dat er vandaag nog geen kant-en-klare totaaloplossing bestaat, betekent dat er nog soft- en/of hardware ontwikkeld moet worden om tot een werkbare oplossing te komen.

8.2 VERSLAG MARKTCONSULTATIE

De project scope en complexiteit van dit project leiden ertoe dat de toetsing van de concepten opgedeeld is geweest in ‘hardware’ (= hardware moet het mogelijk maken de juiste data te captureren van het nivelleringsproces) en ‘software’ (= software zal uit de gecapteerde data de locatiebepaling van het schip, al dan niet automatisch, bepalen). De toetsing van de verschillende concepten zijn zo opgebouwd dat de belangrijkste innovatieaspecten in vraag gesteld worden. Elk aspect wordt hieronder besproken.

Nota: Één van de deelnemers gaf aan ‘geinvertteerd geantwoord’ te hebben en dit is niet mee ingecalculereerd tijdens de analyse.

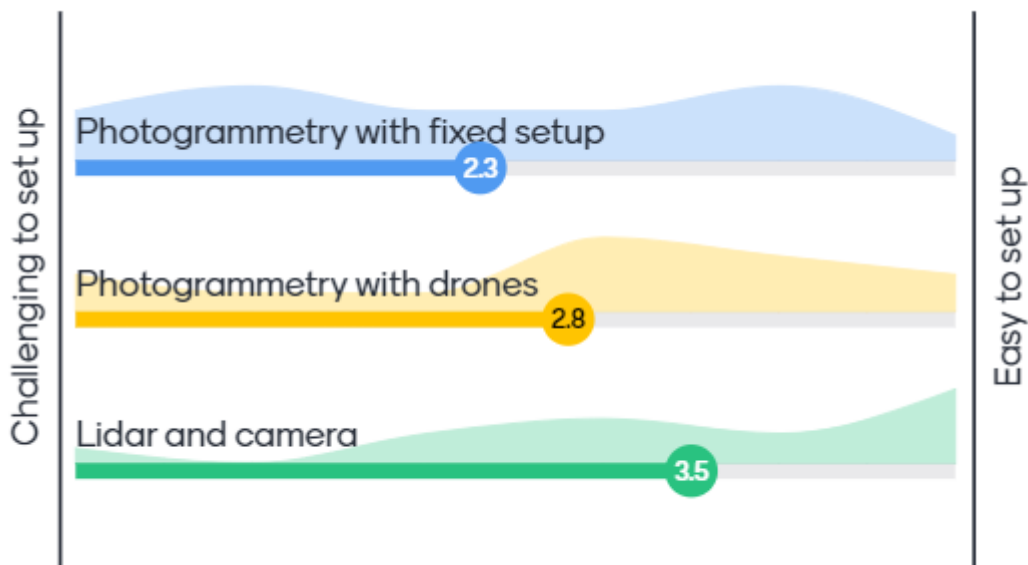
8.2.1 HARDWARE

8.2.1.1 OPSTELLING

“Welke van de volgende opties is het gemakkelijkst op te zetten?”

De opstelling van het beoogde concept is een belangrijk aspect aangezien men metingen uitvoert op dagniveau en de opstelling moet binnen het uur opgezet zijn.

De afbeeldingen hieronder geven de voorkeur van de deelnemers weer tijdens de marktconsultatie. Zo gaat de voorkeur van de deelnemers naar lidar en camera.



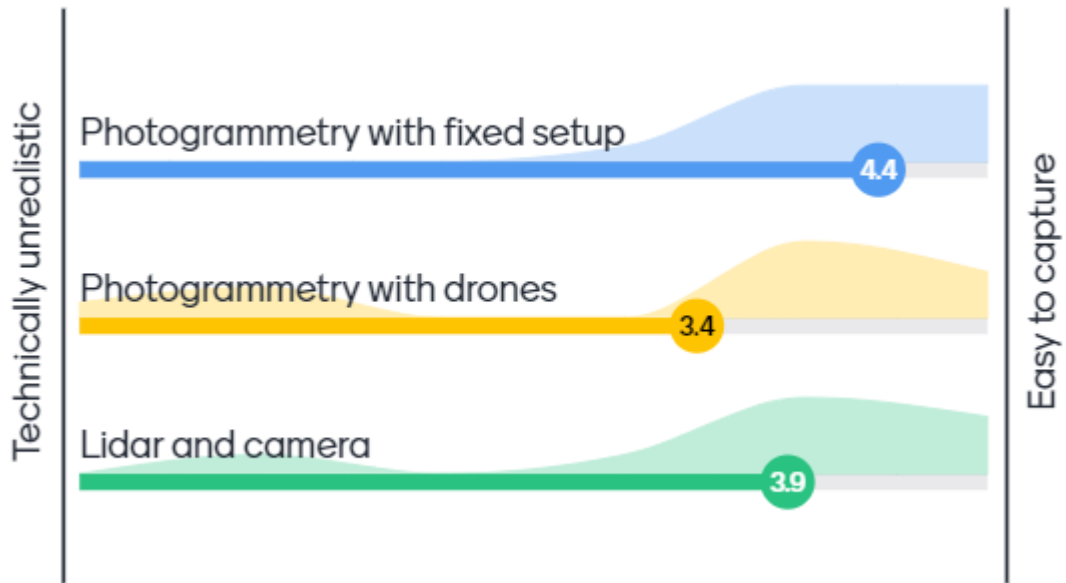
Reacties deelnemers:

- Fotogrammetrie vereist een exacte plaatsing van de opstelling. Bij fotogrammetrie is het tegenwoordig met de vereiste nauwkeurigheid geen probleem dat je de exacte locatie niet weet, aangezien je een relatieve beweging nodig hebt ten opzichte van een referentiepunt. Daarbij zegt men dat synchronisatie met drones zeer complex is alhoewel dit te overkomen valt door bijvoorbeeld eens soort visueel zichtbaar tijdstip te weergeven tijdens de opnames.
- Met lidar scan je 360°, dus is er een minder strikte "positionering" vereist. Lidar wordt niet beïnvloed door weersomstandigheden, alleen de lichtflux moet aanwezig zijn.

8.2.1.2 DATA CAPTATIE

“Kunnen we elke 1 tot 3 seconden een meting uitvoeren met een meetduur van 0,1 seconde?”

Aangezien het waterpeil max 6cm per seconde kan variëren tijdens het nivelleren (in de snelst stijgende sluis van Vlaanderen) is het belangrijk dat de data gecapteerd wordt minstens elke 3 seconde en waarbij de meetduur maximaal 0.1 seconde is.

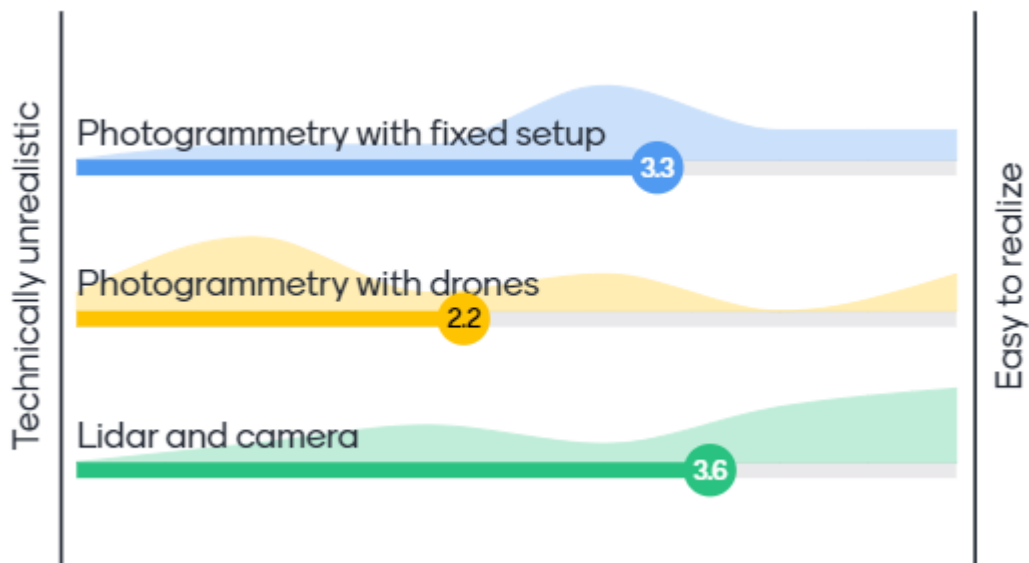


Reacties deelnemers:

- Volgens de resultaten van Mentimeter blijkt het zo dat de meerderheid gelooft dat fotogrammetrie met een vaste opstelling het meeste kans heeft op succes.

8.2.1.3 ACCURAAATHEID

“Hoe haalbaar is het om een nauwkeurigheid van 0,5 cm te bereiken met de volgende opties?”
Het Waterbouwkundig laboratorium heeft een nauwkeurigheid van 0.5cm nodig (indien mogelijk liefst 0.25cm) per referentiepunt om de juiste analyses uit te voeren.



Reacties deelnemers:

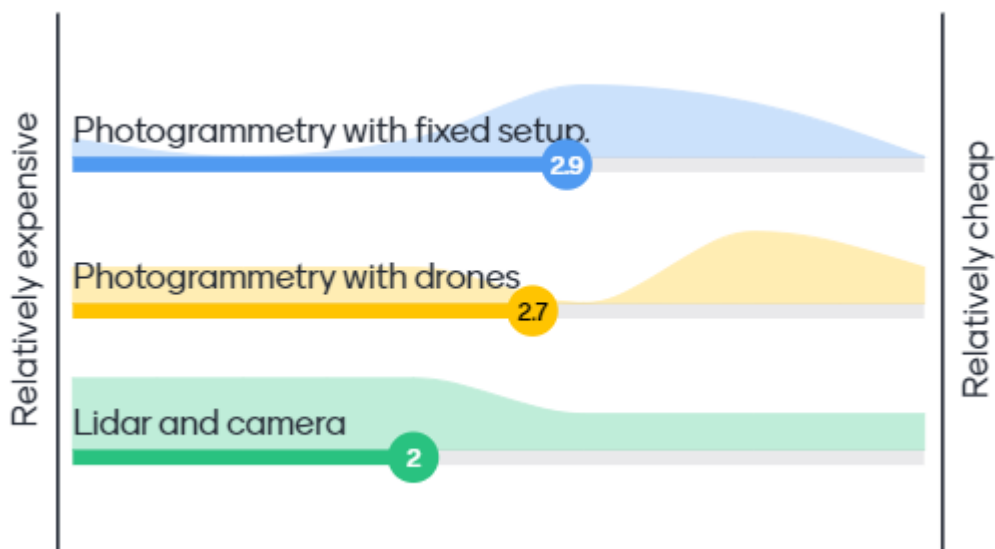
- Lidar met camera en fotogrammetrie met een vaste opstelling blijken de gewenste nauwkeurigheid te kunnen halen.

- Drones lijken een lagere nauwkeurigheid te hebben. Je hebt een goede tijdsynchronisatie tussen de sensoren nodig. Dit is gemakkelijker voor sensoren die met een kabel zijn verbonden dan voor sensoren die met de lucht zijn verbonden.
- Bij een vaste opstelling weet je, anders dan bij een drone, de afstand tussen de camera's nauwkeurig. Dat is belangrijk om de nauwkeurigheid te (her)controleren/kalibreren. Met drones vertrouwt je alleen op beeldinformatie.

8.2.1.4 BETAALBAARHEID

“Hoe schat u de betaalbaarheid van de volgende opties in?”

De verschillende technologieën komen elks met hun kostenplaatje. Er is tijdens de marktconsultatie naar de betaalbaarheid van dergelijke hardware gepeild.



Reacties deelnemers:

- Fotogrammetrie met een vast opstelling blijkt het goedkoopst te zijn.
- Beelden moeten alle juiste info hebben, goedkope sensoren met nabewerking zullen niet werken. Daarom zijn er hoge vereisten qua motion scope, afstand, nauwkeurigheid, etc. Er moet veel data gecapteerd worden; 20 minuten nivelleren, 2200 metingen met 0.5cm is zeer uitdagend en dus zeer innovatief. Dit vraagt veel post processing werk.

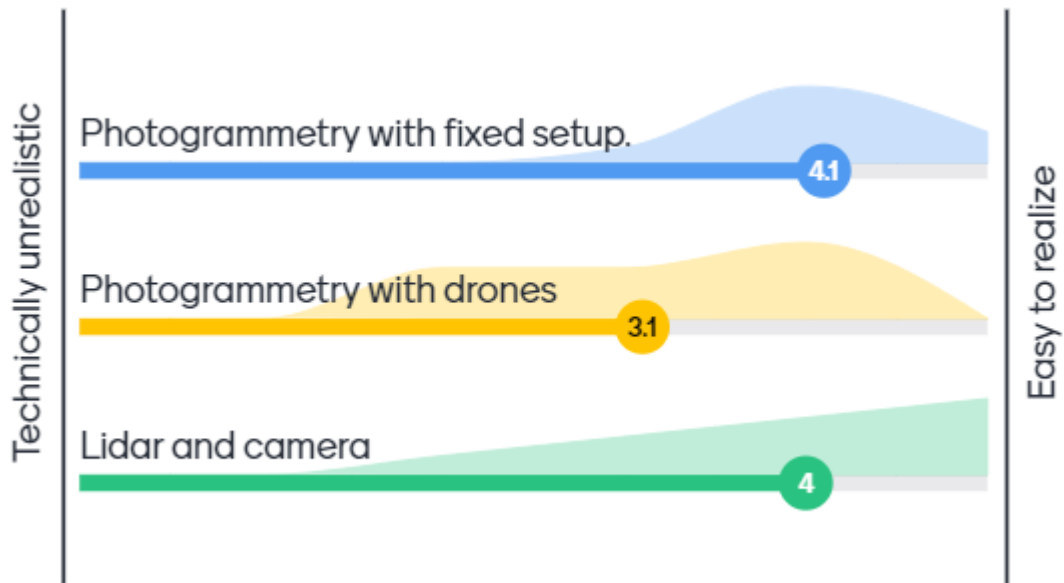
8.2.2 SOFTWARE

Er zijn softwarematig enkele belangrijke stappen die genomen moeten worden om de zes vrijheidsgraden uit de gecapteerde data te halen:

- 1) Zo zal er eerst een referentiepunt of object moeten bepaald worden dat doorheen de data set 'opgevolgd' kan worden.
- 2) De software zal de punten of objecten moeten opvolgen om zo de locatie (zes vrijheidsgraden) te bepalen.

8.2.2.1 REFERENTIEPUNT

“hoe haalbaar is het om een referentiepunt/object te bepalen met de volgende opties?”

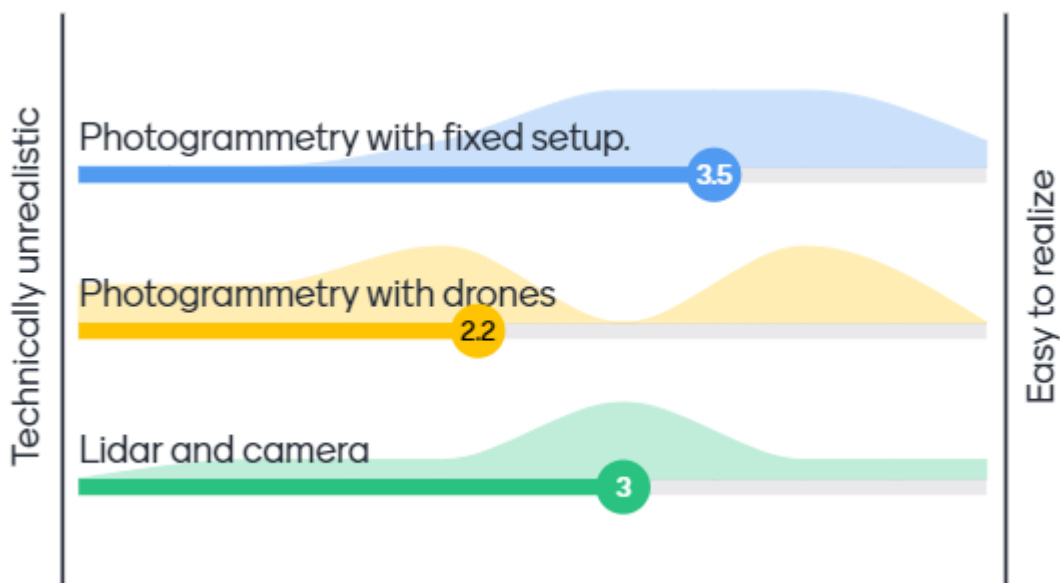


Reacties deelnemers:

- Fotogrammetrie met een vaste opstelling alsook lidar en camera laten toe om referentiepunten te bepalen.
- De afstand, maar ook de hoek van de opstelling is een probleem. Een vaste opstelling vereenvoudigt het 'hoek'-probleem een beetje en heeft dusdanig de voorkeur.
- Is lidar in staat om bij elke meting hetzelfde referentiepunt vast te leggen? Nee. Heroverweeg de beperking om iets op het schip te zetten. Als je geen discreet punt gebruikt maar het snijpunt tussen drie oppervlakken of andere geometrieën zal het uitdagend zijn een referentiepunt te bepalen.

8.2.2.2 LOCATIEBEPALING REFERENTIEPUNT

“Hoe haalbaar is het om de plaats van het referentiepunt te bepalen met de volgende opties?”



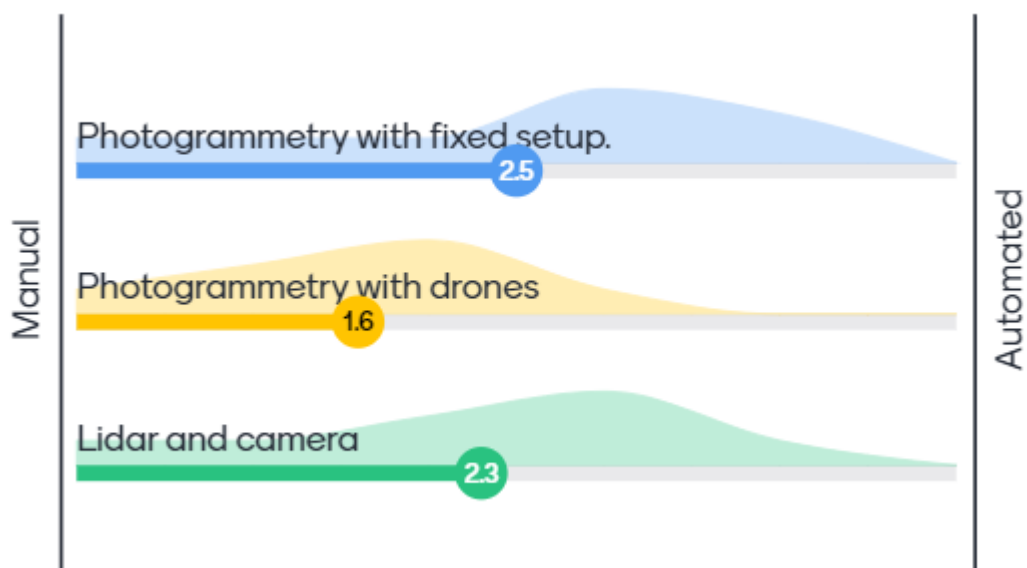
Reacties deelnemers:

- De meerderheid gelooft dat bij fotogrammetrie met een vaste opstelling dit mogelijk is. Bij fotogrammetrie met drones is er een gedeelde mening.
- Fotogrammetrie is rechttoe-rechtaan geometrieberekening en dus haalbaar mits de data goed aangeleverd wordt.

8.2.2.3 AUTOMATISERING

“Hoe haalbaar is het om de nabewerking voor de volgende opties te automatiseren?”

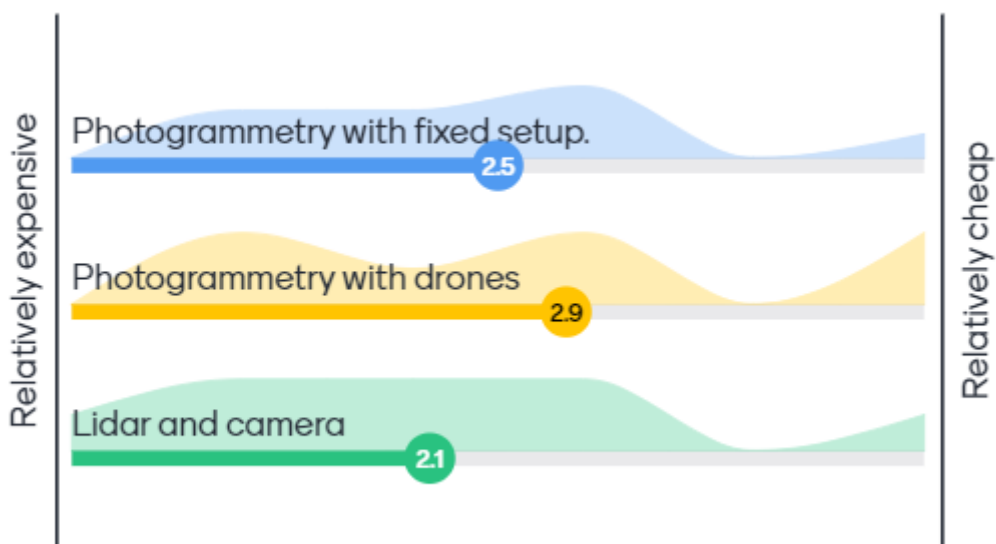
Voor de drie concepten wordt de haalbaarheid van automatisatie gemiddeld geschat. Fotogrammetrie met een vaste opstelling en lidar met camera zou het automatiseren het meest haalbaar moeten maken volgens de participanten.



8.2.2.4 BETAALBAARHEID

“Hoe schat u de betaalbaarheid van de volgende opties in?”

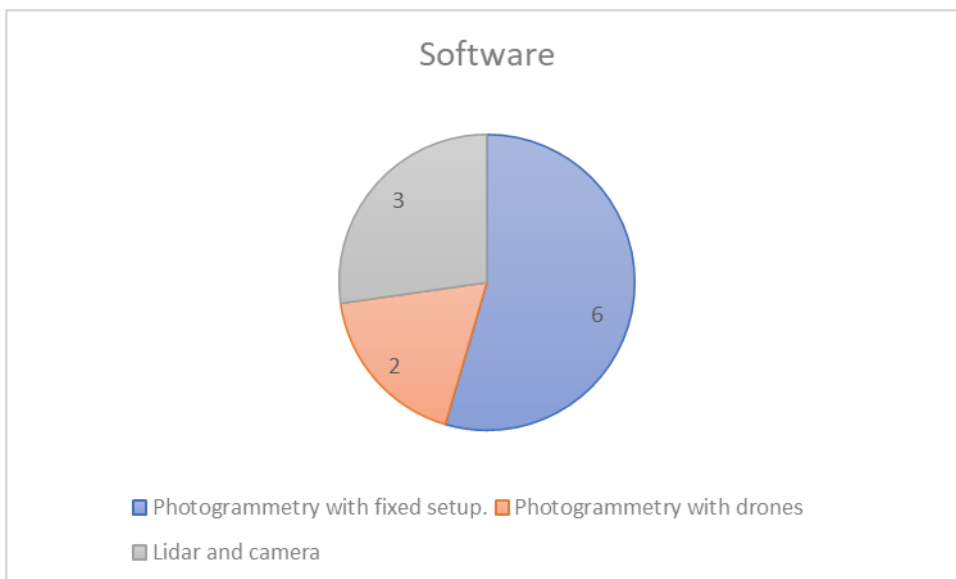
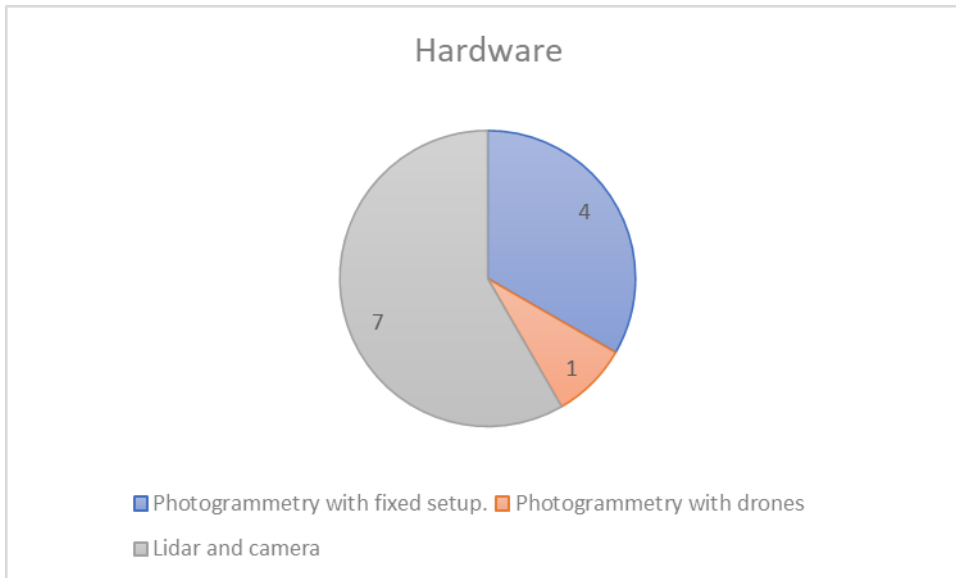
Men verwacht dat de softwareverwerking bij lidar en camera het duurst zal zijn.



8.2.3 WENSELIJKHEID

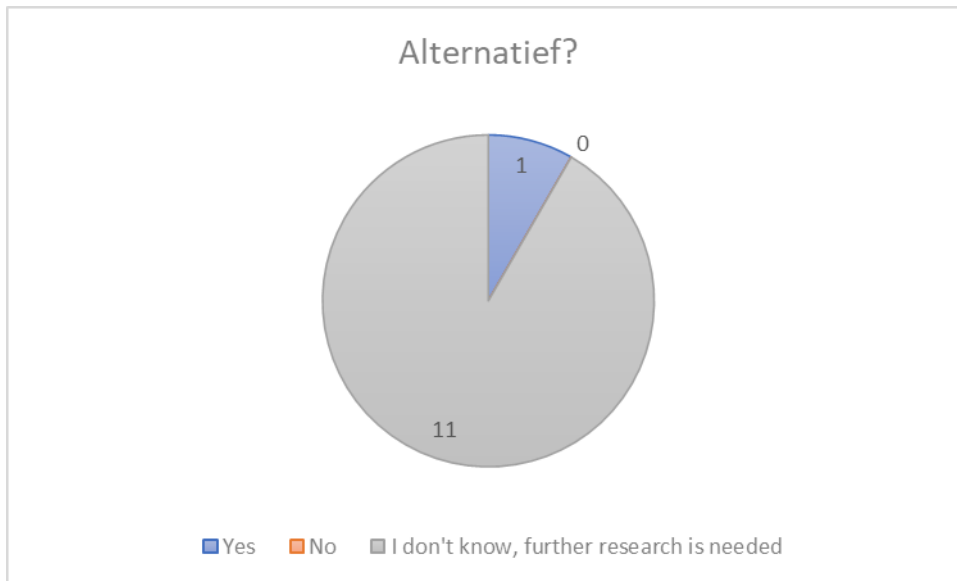
“Welke optie verkies je?”

Daarnaast is er gepolst naar welke optie het meest wenselijk is voor de participanten. Onderstaande afbeeldingen geven de antwoorden weer. Zo gaat de voorkeur qua hardware uit naar lidar en camera en voor software naar fotogrammetrie met een vaste opstelling.



8.3 ALTERNATIEVEN

Tenslotte is er nog gepeild bij de deelnemers of er naast de drie voorgelegde technologieën en concepten nog andere alternatieven bestaan. Eén deelnemer heeft de theodoliet (hierbij werd meegedeeld dat de onzekerheid op het tijdstip van de meting groter was dan de opgelegde meetstap van 0.1s.) aangehaald waar een reflector of tracker aan boord gebracht moet worden. Dit is weliswaar geen contactloos systeem indien dit fysiek aan boord geplaatst wordt maar wordt wel als een 'B oplossing' beschouwd.



8.4 HAALBAARHEID VAN DE USE CASES EN CONCEPTRICHTINGEN

De resultaten van de marktconsultatie hebben de resultaten van de behoeftebepaling bijgesteld.

Uit de resultaten van de marktconsultatie volgt dat bij een volledig contactloze opstelling het heel moeilijk zal zijn om aan de in behoeftebepaling opgelegde vereisten voor nauwkeurigheden en range te voldoen. Een oplossing waarbij met een drone een reflector of een sensor aan boord wordt gebracht wordt hierom voor het verdere traject meegenomen. De in de behoeftebepaling opgelegde vereiste dat geen contact gemaakt mag worden d.m.v. van een drone wordt verlaagd van een 'must have' naar een 'nice to have'. De overige vereisten uit de behoeftebepaling blijven behouden.

Met deze kennis in het achterhoofd, werd het volgende onderscheid gemaakt:

A oplossingen: Hier zijn de voorgestelde technieken volledig contactloos (geen contact met het schip, ook geen dronelanding op het schip). Deze A-oplossingen beantwoorden dus aan de initiële eis van contactloosheid, maar beantwoorden daarom niet altijd aan de andere verwachte functionaliteiten of gewenste kenmerken (accuraatheid, robuustheid, prijs, enz.) die het WL voor ogen heeft. Aangezien hier geen marktklaar product voor bestaat, dient hier nog een ontwikkeling te gebeuren en zal de werking nog getest moeten worden. Maw, de A oplossingen zal tijd en investering nodig hebben voor de validatie van voorgestelde oplossingen.

B oplossingen: Bij deze oplossingen zijn de voorgestelde systemen niet volledig contactloos. Er zal bijvoorbeeld contact met de schipper gemaakt moeten worden voor de toestemming om een drone op het schip te landen. Op deze drone kan een prisma/reflector of een 6DOF sensor geplaatst worden om de positie van het schip tijdens het nivelleringsproces te bepalen. Dit soort van oplossingen beantwoordt niet geheel aan de initiële vraag van WL, maar kan toch mogelijk een meerwaarde vormen voor de activiteiten van WL, o.a. qua prijs, risico, accurateid, enz. De B oplossingen blijken minder risico, tijd en investering nodig te hebben om te valideren ten opzichte van de A oplossingen.

9 SWOT ANALYSE

Een SWOT analyse geeft duidelijk weer welke sterktes, zwaktes, opportuniteiten en gevaren de diverse concepten hebben.

9.1 CONCEPT 1: FOTOGRAMMETRIE MET VASTE OPSTELLING

Strengths

- Zal zeker in staat zijn om de metingen uit te voeren volgens de eisen
- Nauwkeurigheid kan theoretisch worden bereikt: de vaste positie tussen de camera's is bekend
- Bepaling van een referentiepunt is eenvoudig te realiseren
- Locatie van referentiepunt is eenvoudig

Weaknesses

- De opstelling is volgens de deelnemers het moeilijkst, maar er zijn tegengestelde antwoorden op deze vraag.
- De camera's moeten goed geplaatst worden om ervoor te zorgen dat er overlapping is, wat heel wat tijd zal vergen

Opportunities

- Is door sommigen de voorkeursoplossing (hardwarematig)
- Is de voorkeursoptie bij uitstek (softwaregewijs)

Threats

- Kan het volledige werkveld altijd zichtbaar zijn tijdens het volledige nivelleringsproces?

9.2 CONCEPT 2: FOTOGRAMMETRIE MET DRONES

Strengths

- De opstelling is volgens de deelnemers de op één na gemakkelijkste.
- Het vastleggen van de metingen volgens de eisen lijkt geen probleem te zijn.

Weaknesses

- Synchronisatie van de drones.
- Weersomstandigheden, bijvoorbeeld positiebepaling bij wind en regen.
- De nauwkeurigheid zal lager zijn door de tijdsynchronisatie die moeilijker is via de lucht in vergelijking met kabelverbindingen tussen camera's.

Opportunities:

- Er is de mogelijkheid om een goedkope of een dure drone te kiezen, afhankelijk van hoe het probleem aangepakt moet worden.

Threats

- Heeft niet de voorkeur van de marktspelers aanwezig op de marktconsultatie .

9.3 CONCEPT 3: LIDAR + CAMERA

Strengths

- De opbouw van de opstelling is volgens de markt de gemakkelijkste.
- Camera is geïntegreerd in de lidar sensor via sensor fusie. Enkel geldig voor terrestrische 3D scanners.
- Vastleggen van de metingen volgens de eisen lijkt geen probleem te zijn.
- Nauwkeurigheid is haalbaar.
- Bepalen van een referentiepunt is eenvoudig te realiseren.

Weaknesses

- Hoge prijs.
- De camera is afhankelijk van daglicht of kunstlicht. Lidar zal gestoord worden door de regen.
- In het algemeen is het vastgelegde referentiepunt niet hetzelfde bij de verschillende metingen. Softwarematig zal dit opgevangen moeten worden.

Opportunities

- Is de meest geprefereerde optie (hardwarematig).
- Je moet geen discreet punt gebruiken, maar het snijpunt tussen 3 oppervlakken of andere geometrieën volstaat.
- Wordt door sommigen geprefereerd (softwaregewijs).

Threats

- De resolutie van de lidar kan een knelpunt zijn, wat waarschijnlijk tot een duur systeem leidt.
- Reflectievermogen van een schip kan een knelpunt zijn voor het lidar systeem en zijn nauwkeurigheid.
- Sensor fusie tussen lidar (puntenwolk) en camera kan lastig zijn.
- Kan het gehele werkgebied altijd zichtbaar zijn gedurende het gehele nivelleerproces?

10 CONCLUSIES

De bevindingen na de marktconsultatie maken duidelijk dat er nog geen contactloze en mobiele meettechnologie bestaat die efficiënt en veilig, vanop de kade, de verplaatsingen en hellingen van een schip in een sluiskolk tijdens het nivelleren kan opmeten. Het zal een uitdaging zijn om dit te realiseren. We beschouwen de gestelde vraagstelling dusdanig als zeer innovatief.

De uitdaging schuilt in eerste instantie in de keuze van de beeldvormingstechniek en de definitie van de opstelling ervan (één camera, meerdere camera's, ...). De techniek bepaalt de kwaliteit van de bronbeelden, legt de basis voor het referentiepunt vast, faciliteert een contactloze meting en laat, tenslotte, toe om het ganse nivelleringsproces op te meten. In tweede instantie is de beeldverwerkingstechniek een uitdaging. Hoewel de markt over verschillende beeldverwerkingstechnieken (data preprocessing, modellering, ...) beschikt, zijn de opgelegde specificaties geenszins aangetoond. In deze opdracht wenst het Waterbouwkundig Labo ook de integratie te bekomen door de vraag naar een totaalsysteem. Dit veronderstelt dat zowel de benutte beeldvormingstechniek, de specifieke plaatsing ervan, als ook de aard van beeldverwerking achteraf, onderling afgestemd en in hun samenhang gevalideerd moeten worden.

De initiële opdrachtstelling van het Waterbouwkundig Labo omvatte een harde eis om volledig contactloos te meten. Het onderzoek naar contactloze meettechnieken resulteerde niet in één enkelvoudige techniek die aan alle vereisten zou kunnen voldoen. Uit het onderzoek kwamen wel twee beloftevolle beeldvormingstechnieken naar voor die interessant zijn om verder te onderzoeken; nl. 3D LIDAR, en fotogrammetrie met een vaste opstelling. Volgens de marktspelers aanwezig op de marktconsultatie zou fotogrammetrie met een vaste opstelling het meest beloftevolle concept zijn voor de uitdaging van het Waterbouwkundig Labo, ook al kunnen ze dit niet 'hard maken' en/of garanties geven over haalbaarheid, accuraatheid, robuustheid, economische duurzaamheid, enz.

Tijdens het traject werd duidelijk dat het Waterbouwkundig Labo niet noodzakelijk wenst vast te houden aan de vereiste om volledig contactloos te meten, maar naast deze 'A-oplossingen' ook zgn. 'B-oplossingen' in scope houdt. 'B-oplossingen' zijn contactmethodes waarbij bv. inertieële meetsystemen door middel van een drone op het schip geplaatst worden. Ook nog andere 'niet-fysieke' contactmethodes zijn mogelijk. Echter veiligheid van de metingen is hierbij een absolute voorwaarde voor het Waterbouwkundig Labo, wat maakt dat fysiek contact met het schip uitgesloten is.

In functie van budget en haalbaarheid kan het Waterbouwkundig Labo de meerwaarde en reikwijdte van zowel A- als B-oplossingen laten valideren in enkele pilootopstellingen. Deze pilootopstellingen kunnen de 'geclaimde' technische prestaties, gebruiksvriendelijkheid, toepasbaarheid, enz. valideren.

11 BIJLAGEN

11.1 SCHEEPSAFMETINGEN EN LANGSHELLING

De tabel geeft de verschillende scheepsafmetingen per CEMT-klasse weer en de bijhorende maximale langshelling. Deze tabel is verder aangevuld met de meetnauwkeurigheid horende bij het behalen van een toelaatbare afwijking van 10% voor beroepsvaart en 20 % voor recreatievaart. Zie onder:

11.2 STIJSNELHEID KOLKPEIL

De meetduur van een individuele meetstap is bepalend voor de nauwkeurigheid. De tabel hieronder weergeeft enkele sluisen en hun stijgsnelheid.

| CEMT-klasse | Schip lengte[m] | Max toegelaten Pitch [%] | ΔZ boeg-hek [cm] | Bandbreedte nauwkeurigheid [-] | Nauwkeurigheid Δz [-] | Nauwkeurigheid Δz [cm] | Nauwkeurigheid boeg, hek[cm] |
|--------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Vb | 185 | 0.75 | 13.9 | 0.1 | +/- 0.05 | +/- 0.70 | +/- 0.35 |
| Va | 110 | 0.85 | 9.4 | 0.1 | +/- 0.05 | +/- 0.47 | +/- 0.24 |
| IV | 85 | 1.1 | 9.4 | 0.1 | +/- 0.05 | +/- 0.47 | +/- 0.24 |
| III | 80 | 1.5 | 12 | 0.1 | +/- 0.05 | +/- 0.60 | +/- 0.30 |
| II | 55 | 1.5 | 8.3 | 0.1 | +/- 0.05 | +/- 0.42 | +/- 0.21 |
| I | 38.5 | 1.5 | 5.8 | 0.1 | +/- 0.05 | +/- 0.29 | +/- 0.15 |
| Recreational | 12 | 3 | 3.6 | 0.2 | +/- 0.10 | +/- 0.36 | +/- 0.18 |

Sluis

stijg-daal snelheid [mm/s]

| | |
|---|----|
| Handboek ontwerp van schutsluizen - realistische waarde | 17 |
| Handboek ontwerp van schutsluizen - bovengrens zonder drijvende bolders | 33 |
| Zemst vullen opwaartse kolk | 66 |
| Noordersas Genk vullen (16 m sluis Albertkanaal) | 34 |
| Noordersas Hasselt en Olen vullen (16 m sluis Albertkanaal) | 25 |
| Vullen sluis Lembeek (kanaal Brussel Charleroi) | 25 |
| Ledigen sluis Lembeek (kanaal Brussel Charleroi) | 30 |
| Zemst vullen afwaartse kolk | 17 |
| Ontwerp nieuwe sluis Sint Baafs Vijve | 10 |
| Ontwerp nieuwe sluis Aalst | 10 |

11.3 TRANSCRIPTS 1-1 GESPREKKEN

Volgende bedrijven waren aanwezig op de marktconsultatie en werden vertegenwoordigd door één of meerdere personen.

- Vision++ NV
- Kapernikov
- GEO Solutions
- VITO
- Honeywell
- KU Leuven
- KU Leuven
- Kapernikov

- ML2Grow
- Hexagon Geospatial
- B12 consulting
- Geo Solutions
- Scanbie
- Ingenieursbureau Coenradie BV
- delaware
- KU Leuven
- KU Leuven
- Inuits