



Kennisprogramma Natte Kunstwerken
Kennisplan 2023

*Vervangings- en renovatieopgave
natte kunstwerken in Nederland*

Kennisbijdrage:

Einde levensduur damwanden

Ultrasonic sheet pile length measurements

Auteurs

Arno Volker (TNO)

kenmerk : KpNK-2023-KV1.2-damwand-a005
versie : 1.0
datum publicatie : 8 juli 2023



Voorwoord

Kennisprogramma Natte Kunstwerken

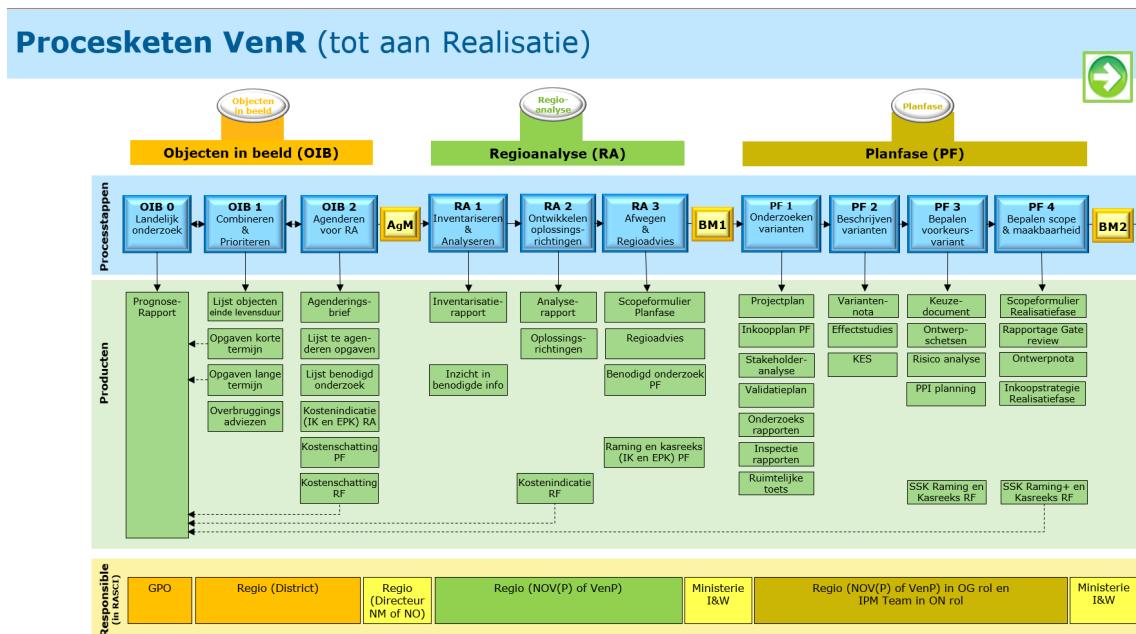
Sluizen, stuwen, gemalen en stormvloedkeringen zijn belangrijke assets waarvoor beheerders zoals Rijkswaterstaat en de waterschappen verantwoordelijk zijn. Veel van deze natte kunstwerken in de waterinfrastructuur bereiken de komende decennia het einde van hun (technische en/of functionele) levensduur. Zij kunnen daardoor hun functies naar verwachting niet meer adequaat blijven uitoefenen. Dit zal ten koste gaan van de mate waarin de waterinfrastructuur voldoet aan betrouwbaarheidseisen. In het kader van goed assetmanagement staan we dan ook voor de enorme opgave om deze kunstwerken te vervangen of te renoveren. Welke kennis hebben we nodig om dat efficiënt, kostenbesparend en toekomst-bestendig aan te pakken?



In het Kennisprogramma Natte Kunstwerken (KpNK) ontwikkelen en bundelen Deltares, MARIN, TNO en Rijkswaterstaat deze kennis op basis van de Samenwerkingsovereenkomst Natte Kunstwerken.

Werkwijze vervangings- en renovatieproces

De laatste jaren richten we ons niet meer uitsluitend op een-op-een vervanging van kunstwerken. We zoeken steeds meer naar mogelijkheden om hun levensduur te verlengen en (noodzakelijke) ingrepen te koppelen aan gebieds- en netwerkontwikkelingen en aan functionele ontwikkelingen. Rijkswaterstaat heeft als assetmanager een vernieuwde werkwijze voor dit vervangings- en renovatieproces (VenR) opgesteld om een uniform en systematisch proces te hebben waarmee een VenR-maatregel transparant onderbouwd kan worden (zie Figuur 1).



Figuur 1: Procesketen VenR binnen Rijkswaterstaat

Deze procesketen vormt de basis waar de kennisontwikkeling van het kennisprogramma aan bijdraagt.



Twee-stappen-benadering en drie kernvragen

De kennis die we ontwikkelen binnen het Kennisprogramma Natte Kunstwerken draagt bij aan de stapsgewijze-benadering binnen deze Procesketen VenR:

- stap 1 (*Objecten in Beeld*): richt zicht op (het einde van) de technische levensduur van een kunstwerk en het agenderen van de VenR-opgave in het *Prognoserapport*;
- stap 2 (*Regioanalyse*): brengt vooral de relatie in kaart tussen het kunstwerk en de netwerken waar het (samen met andere kunstwerken) deel van uitmaakt. In het resulterende *Regioadvies* gaat het ook over (het einde van) de functionele levensduur.

Inhoudelijk vindt het onderzoek plaats aan de hand drie *kernvragen*:

1. Hoe lang gaat mijn kunstwerk nog mee, zowel technisch als functioneel?
2. Welke alternatieven heb ik, behalve een-op-een vervanging?
3. Hoe weeg ik de alternatieven tegen elkaar af?

Programmaplan, jaarlijkse kennisplannen en samenwerking

Het programmaplan omvat de achtergronden en ambities voor de gehele looptijd van het Kennisprogramma Natte Kunstwerken. Jaarlijks worden deze ambities uitgewerkt in een kennisplan en een bijbehorend financieringsplan. Andere partijen zoals waterschappen, adviesbureaus en andere (commerciële) organisaties, nodigen we uitdrukkelijk uit om deel te nemen aan het gezamenlijk uitvoeren van een kennisplan, bijvoorbeeld met kennisbijdragen in voor hen relevante onderzoeksprojecten, met praktijkervaringen of financiële bijdragen.

Resultaten delen

Bijdragen en onderzoeksresultaten uit ons Kennisprogramma Natte Kunstwerken delen we met de hele sector via onze website (www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl) en op andere manieren.

Hieronder vindt u een kennisbijdrage binnen werkpakket ‘Einde levensduur damwanden’ uit het Kennisplan 2023. Het omvat eerst de samenvatting van het onderzoek ‘Sheet pile length measurements’. Deze activiteit is namens het Kennisprogramma Natte Kunstwerken geleid door TNO. Na de samenvatting vindt u het volledige onderzoeksverslag in de vorm van een memo.

N.B. Het volledige memo is gelijk aan het originele memo van TNO, met uitzondering van enkele gegevens die om privacyredenen verwijderd zijn.



Meer informatie

- Het Kennisprogramma Natte Kunstwerken is de uitwerking van de onderzoekslijn ‘Toekomstbestendige Natte Kunstwerken’ binnen het Nationaal Kennisplatform voor Water en Klimaat (NKWK). Zie www.waterenklimaat.nl
- Voor meer informatie over het programma Kennisprogramma Natte Kunstwerken, zie www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl.
- Voor vragen over het Kennisprogramma Natte Kunstwerken en het Kennisplan 2023 kunt u terecht bij Martine Brinkhuis, email martine.brinkhuis@rws.nl
- Voor vragen over de voorliggende kennisbijdrage kunt u terecht bij de auteurs:
Arno Volker - arno.volker@tno.nl;

NKWK





Kennisprogramma Natte Kunstwerken
Kennisplan 2023



Samenvatting

Einde levensduur damwanden

Ultrasonic sheet pile measurements

Hieronder vindt u een kennisbijdrage van het werkpakket ‘Einde levensduur damwanden’ uit het Kennisplan 2023. De bijdrage – geleid door TNO – omvat de samenvatting van het onderzoek ‘Sheet pile length measurements’. Na de samenvatting vindt u het volledige onderzoeksmemo.

Aanleiding en probleemstelling

De lengte van een geïnstalleerde stalen damwandplank kan niet eenvoudig ter plaatse worden gemeten. TNO evalueert een nieuw meetconcept dat mogelijk gebruikt kan worden om de damwandlengte wel in situ te meten.

Onderzoeksvraag (WAT)

Is dit nieuwe meetconcept geschikt om damwandlengte van stalen damwanden ter plaatse te meten?

Onderzoeksaanpak en -methode (HOE)

Het meetconcept gebruikt ultrasone geleide golven om de lengte van een stalen damwand te onderzoeken. Specifiek wordt de niet-dispersieve SH0-modus geselecteerd die voor staal een snelheid heeft van 3220 m/s en weinig interactie met de grond vertoont. Metingen worden alleen in het laboratorium uitgevoerd met Elektromagnetische Akoestische Transducers (EMAT) op een frequentie van 200 kHz. In het nieuwe meetconcept worden een zender en ontvanger naast elkaar geplaatst en langs de damwand verplaatst om echo's van beide uiteinden te detecteren en zo de meetnauwkeurigheid en het bereik te beoordelen.

Onderzoeksresultaten en synthese

De resultaten tonen aan dat het met hoge nauwkeurigheid mogelijk is met geleide ultrasone golven de lengte van een damwand te meten, mits een voldoende hoog signaal-ruisverhouding (SNR) wordt bereikt. De SNR varieert echter sterk per meetlocatie. Op een korte damwand werd een betere signaalkwaliteit behaald dan op een lange sectie, met een maximaal bereik van 10 meter op de korte damwand en 4-5 meter op de lange.

Evaluatie en vooruitblik

De oorzaak van het verschil in signaal-ruisverhouding tussen damwanden met verschillende lengtes is onduidelijk en vereist verder onderzoek. De laboratoriumopstelling was niet specifiek voor deze toepassing ontworpen. Verder moet de invloed van de grond rondom de damwand op de demping verder onderzocht worden.



Kennisprogramma Natte Kunstwerken
Kennisplan 2023

Memo

www.tno.nl
arno.volker@tno.nl

Send to Andreas Höllbacher
 Author Arno Volker
 Subject Sheet pile length measurements

Date
 8 July 2024
 Our reference
 TNO 2024 M11292

1. Introduction

The length of a sheet pile is an important parameter for performing a mechanical stability assessment. However, the length cannot be measured easily in situ. TNO evaluates a new measurement concept that can potentially be used to measure the sheet pile length in situ. The results of a first series of exploratory measurements are described in this memo.

2. Measurement concept

The measurement concept is based on ultrasonic guided waves that propagate along the length of a sheet pile. Guided waves are a family of low frequency ultrasonic waves that are guided by the structure in which they are introduced. Many different wave modes exist. For this study the fundamental shear-horizontal (SH0-mode) has been selected. This wave mode is non-dispersive, unlike most guided wave modes. This means, the velocity of the wave is independent of frequency.

For steel the velocity is 3220 m/s. Due to the shear wave motion, it is expected that this wave mode does not interact much with the ground around the sheet pile. The measurement of the attenuation by ground interaction is outside the scope of the current measurement. Sheet piles have only been measured in the lab.

A separate transmitter and receiver are used and placed next to each other, see Figure 1. Electro Magnetic Acoustic Transducers (EMAT) are used because the required wave mode can be generated easily with this type of transducer. The operating frequency of these transducers is around 200 kHz.

The transducers are placed at different positions along the length of a sheet pile. This makes it possible to detect the echoes from both ends and hence make an assessment of measurement accuracy and measurement range.

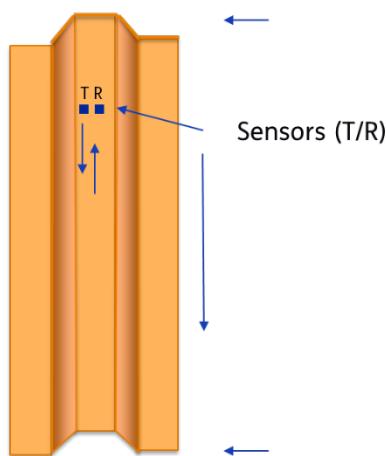
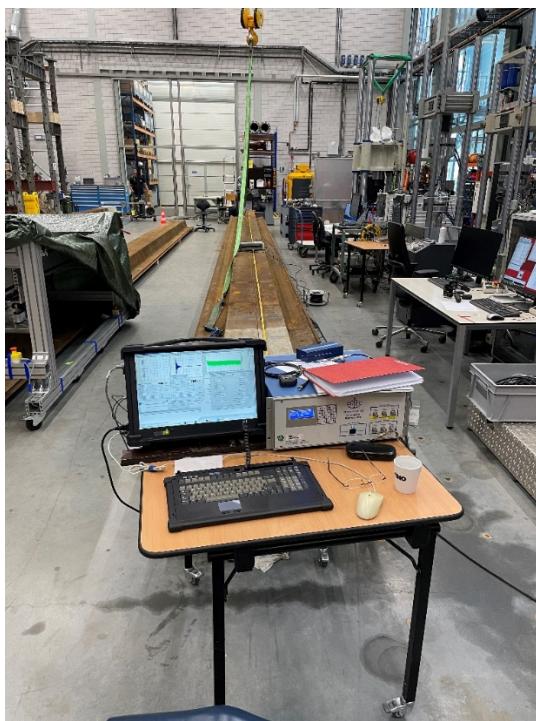


Figure 1 Schematic drawing of the measurement configuration, the sensors are placed on the top of the sheet pile.

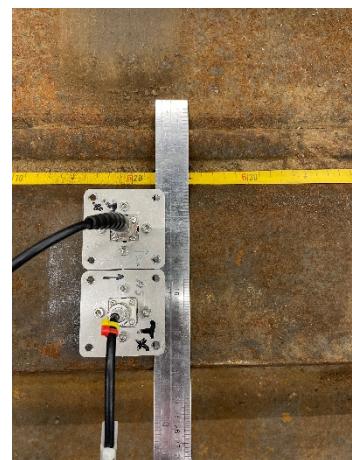
3. Experimental set-up and results

A laboratory set-up was assembled (see Figure 2) consisting of a data acquisition computer and a Ritec RPR 4000 pulser-receiver. The pulser-receiver is used to drive the transmitter EMAT and amplify the signal from the receiver EMAT. The drive signal is a 3-cycle sine burst with a center frequency of 180 kHz. For reception, a gain of 80 dB was used. The data acquisition pc is used to store the measurement digitally. Per location, 2048 signals are recorded.

A steel brush was used to clean the surface a bit to remove the corrosion. Heavily corroded surface areas were avoided when placing the transducers.



a)



b)

Figure 2 Experimental set-up used in the lab (a) and a detailed picture of the sensors (b).

The data processing consists of a few steps. First the recorded signals are averaged and a bandpass filter is applied (pass-band: 40 – 400 kHz). Then the envelope of the signal is calculated. The peak of the envelope is used as the measured arrival time (τ). The length is calculated according to:

$$L = (\tau - \delta) * c_{SH0},$$

where δ is a measured delay (30 μ s) and c_{SH0} is the wave velocity (3220 m/s). The delay is caused by two aspects, the excitation of the transducer and the fact that the peak of the signal is used and not the onset. An error in wave velocity translates to a measurement error in length, i.e., a 1% error in velocity translates to a 1% error in length. The velocity however can be measured accurately on the accessible part of the sheet pile.

The peak amplitude is used to calculate a local signal to noise ratio (SNR), that is a measure of the quality of the measurement. The measured length is accepted if the SNR is larger than 12 dB to avoid selecting noise events. This value is determined from the data analysis.

The measured sheet pile has two sections of different lengths: a short section of 11.57 m and a long section of 14.58 m. Measurements were performed at three different locations, see Figure 3. A measurement was taken

roughly every 1 m along the length, in order to establish the measurement accuracy and range that can be measured. At each measurement position, the distance from the top was measured with an error less than 1 cm.

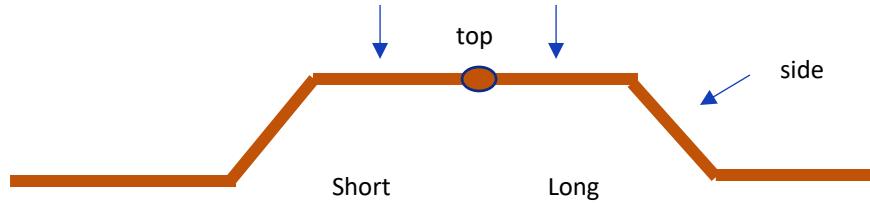


Figure 3 Schematic drawing of the measurement locations, twice the top was measured of both the short and long sheet pile and the side of the long sheet pile was also measured.

A typical signal obtained after signal processing is shown in Figure 4, where the two peaks represent the echoes from either side of the sheet pile. The far end echo is still clearly detectable. The red line indicates the search window for the echo, this is used to automate the picking of the correct echo.

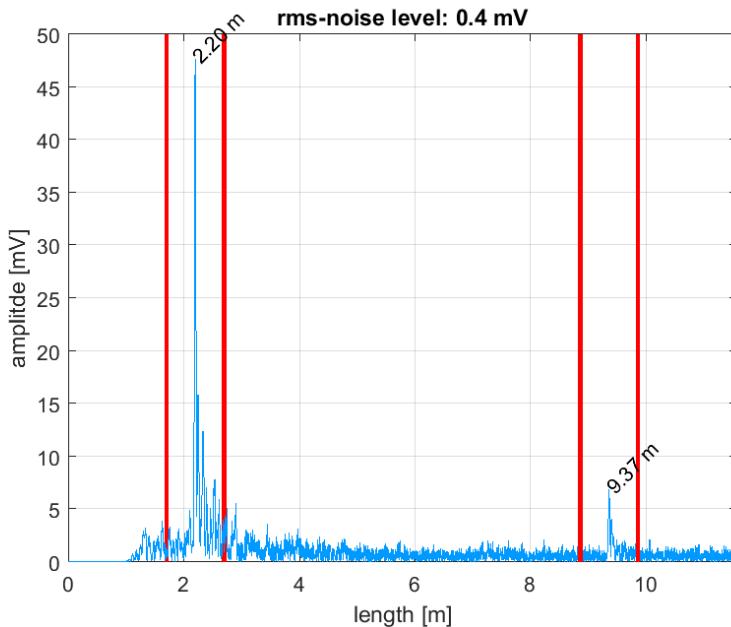


Figure 4 Example of processed measurement showing two echoes, one from the near end and one from the far end of the sheet pile.

The measured length for the three different locations is shown in Figure 5 and the associated signal to noise ratio is shown in Figure 6. The figures on the left are for the short sheet pile, the figures on the right are for the longer sheet pile. Each color corresponds to one specific reflection from a measurement, a diamond shaped marker indicates a measurement error less than 10 cm, an 'x' is used in case of a larger error. The data point is not displayed in case of too low SNR.

In case of a sufficiently high SNR, the measurement accuracy is good, i.e., within a few centimeters of the actual length. There is a direct correlation between measurement accuracy and SNR. Near the top, the SNR is lower because of signal reverberation around the transducers. Then there is a region with generally high SNR. With increasing distance the SNR becomes lower. The measurements of the short sheet pile showed a quite sudden decay in SNR around 9 m on the short pile from the top. At this moment, there is no clear explanation why this sudden drop occurs, but it may have to do with waves bounding laterally in the sheet pile. If this is the case, another sensor design can avoid this issue.

The difference plots in Figure 5 do not show a trend with increasing length, indicating that the used wave velocity is correct.

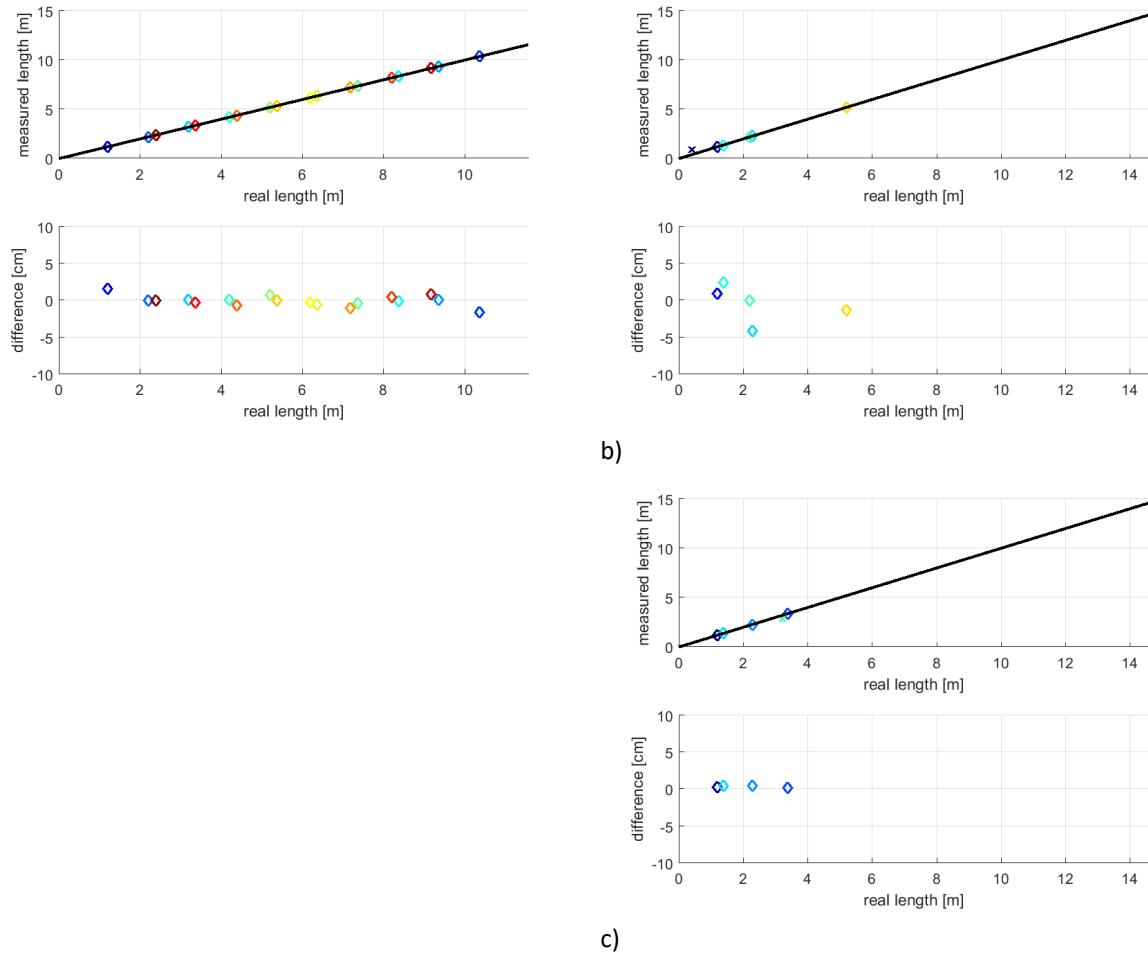


Figure 5 Measured length of the sheet pile for different sensor positions along its length for a) the short sheet pile section measured from the top, b) the long sheet pile section measured from the top, c) the long sheet pile section measured from the side. Each colour corresponds to one specific reflection from a measurement, a diamond shaped marker indicates a measurement error less than 10 cm, an 'x' is used if the error is larger or in case of insufficient SNR.

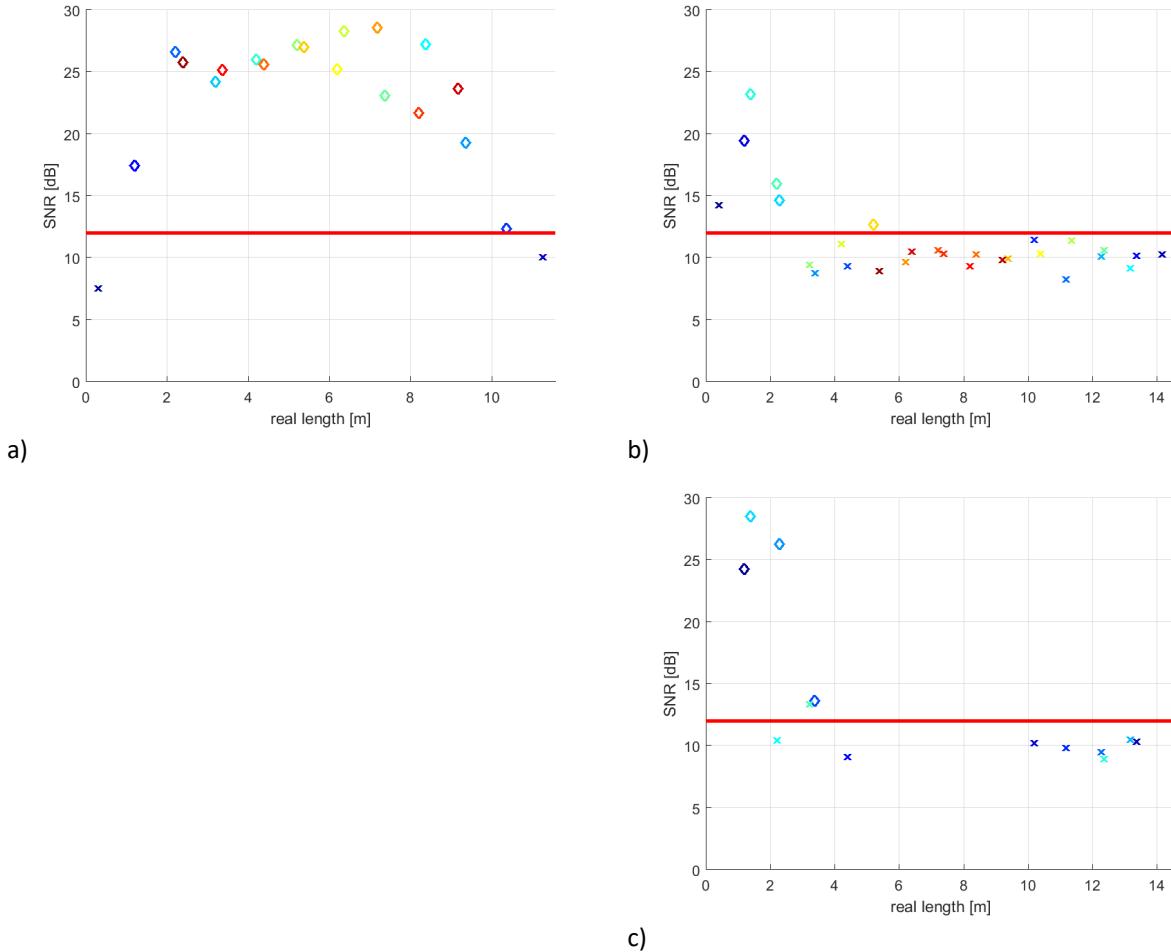


Figure 6 Measured signal to noise ratio for different sensor positions along its length for a) the short sheet pile section measured from the top, b) the long sheet pile section measured from the top, c) the long sheet pile section measured from the side. Each colour corresponds to one specific reflection from a measurement, a diamond shaped marker indicates a measurement error less than 10 cm, an 'x' is used if the error is larger or in case of insufficient SNR.

4. Conclusions

A limited feasibility study has been performed to evaluate whether it is possible to measure the length of a sheet pile using guided ultrasonic waves. The results indicate that it is possible to measure the length of a sheet pile with a high accuracy provided that a sufficiently high signal to noise ratio is obtained. The obtained signal to noise ratio varies significantly per measurement location.

On the short sheet pile a significantly better signal quality was obtained than on the longer section. A maximum range (where sufficient SNR is obtained) of 10 m was achieved on the short sheet pile, while only a range of about 4 to 5 m was realized on the long sheet pile. It is not clear what causes this difference, the surface conditions visually appeared comparable. Possibly lateral reflections (between web and flange) of waves in the sheet pile are of influence. This requires some further research. Moreover, it should be emphasized here, that no optimization of the experimental set-up has been performed so far. The set-up was realized with currently available components.

Additionally, it is expected that the ground around the sheet pile will have some additional attenuation. Also, this is a topic for further investigation.