METING VAN TRILLINGSEMISSIE EN BODEMIMPEDANTIE

Carel Ostendorf

Railforum

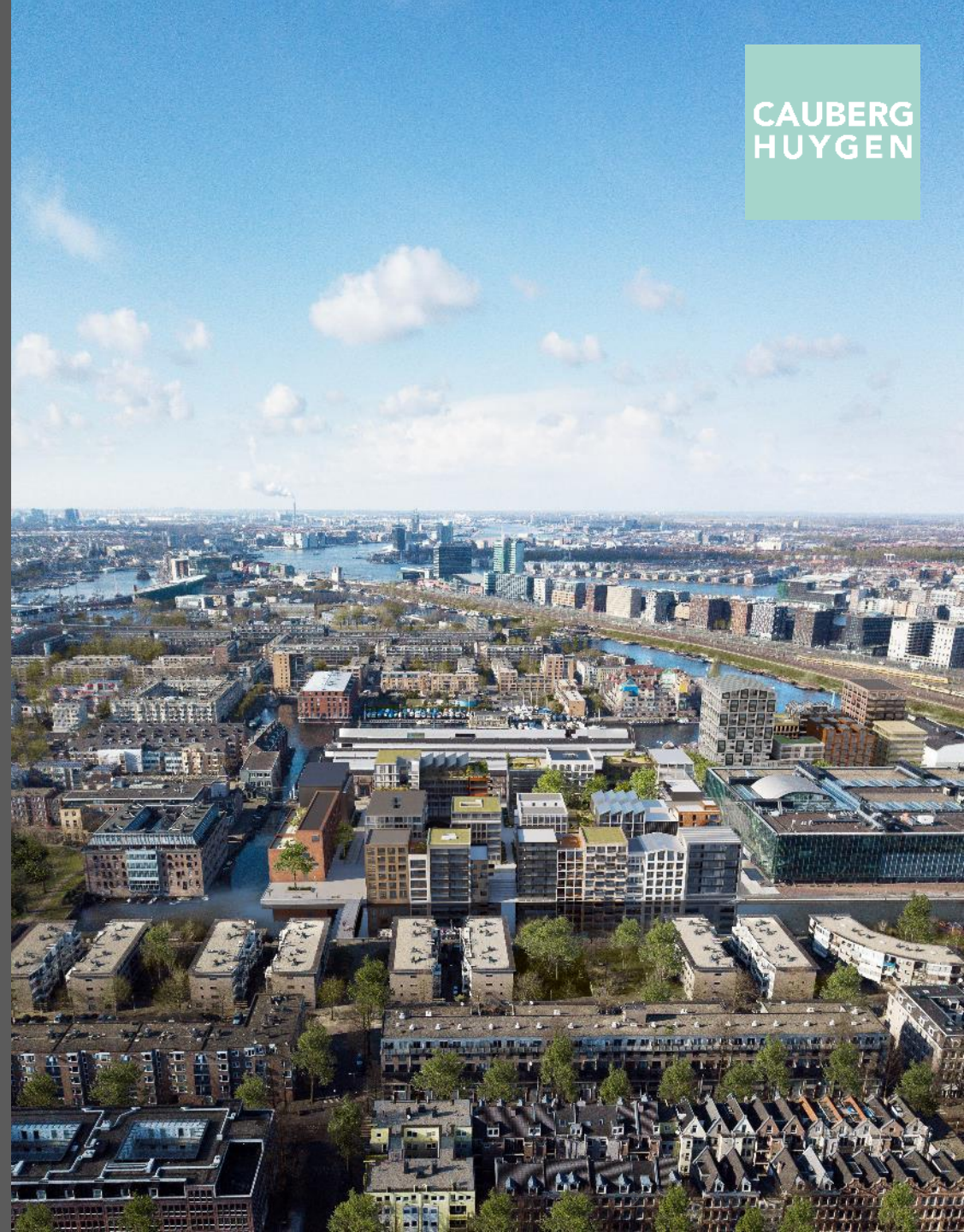
Meetup | Technical Factfinding Spoortrillingen

1 december 2022

CAUBERG HUYGEN

INHOUD

- Emissiemetingen OURS
- Bevestiging sensor op maaiveld
- Invloed slappe bodem
- Impedantiemetingen bodem
- Vragen



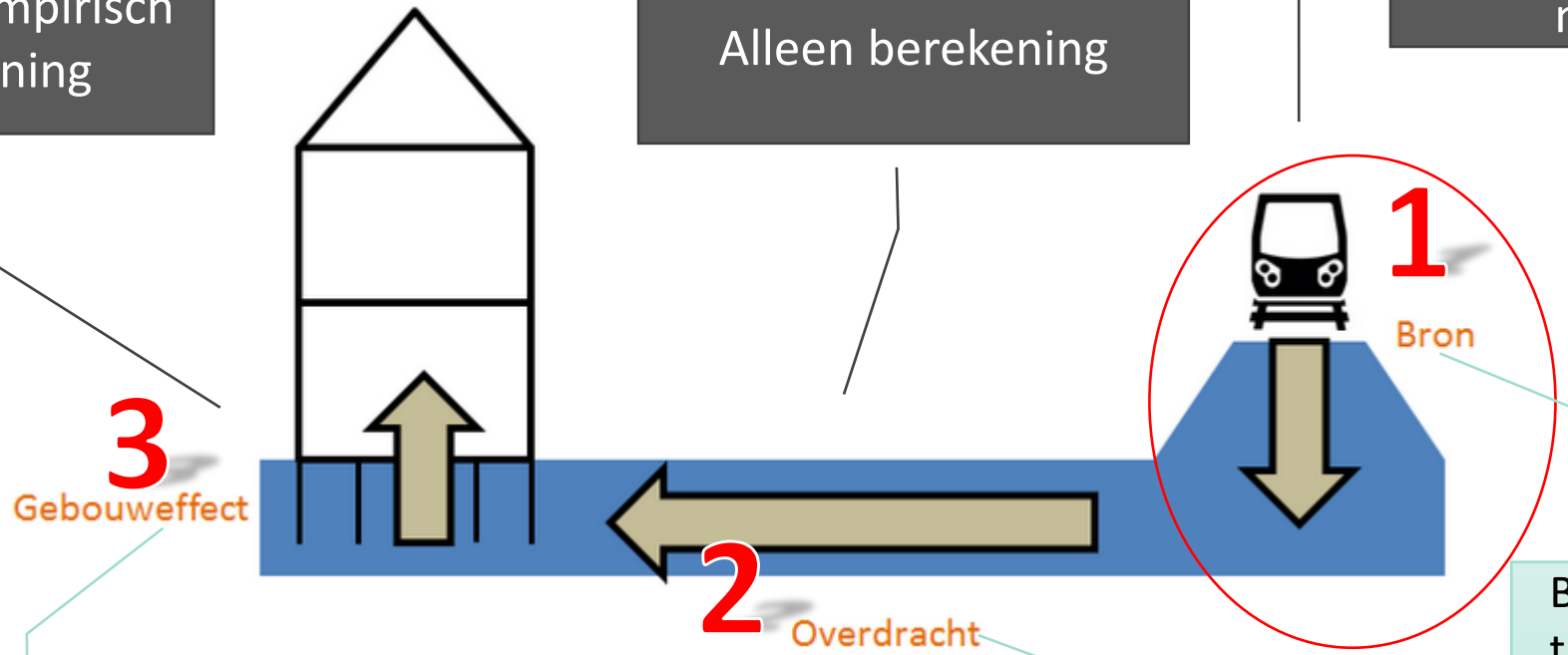
OURS (Ons Universeel Rekenmodel Spoortrillingen)

- OURS: hybride rekenmodel dus combinatie van gemeten gegevens en berekeningen
- Opbouw rekenmodel: drie deelmodellen

Combinatie empirisch en berekening

Alleen berekening

Empirische gegevens (gebaseerd op metingen)



Overdracht via metingen
Invloed vloer/gebouwafmetingen via berekening

Berekening met EEM op basis van gegevens BRO

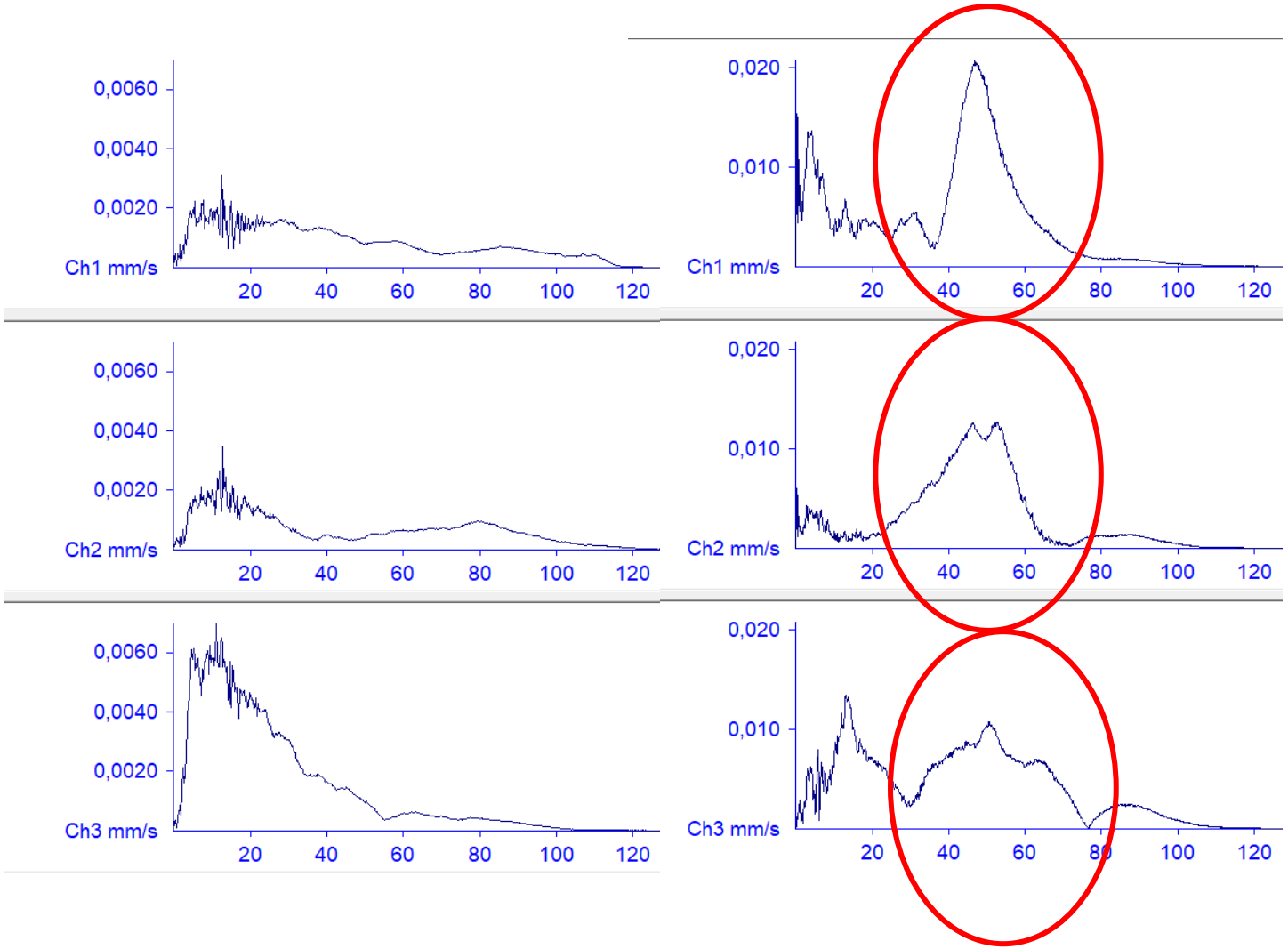
Bevat eigenschappen trein, spoorligging en bodem onder spoor en naast spoor tot 25 meter afstand

Brongegevens OURS: emissiemetingen op maaiveld

- Gebaseerd op metingen in de praktijk aan veel voorkomende treintypen en bij twee bodemsoorten: slap (klei) en stijf (zand)
- Meetgrid, 9 punten, 25, 50 en 75 m van spoor, 25 m uit elkaar
- Trillingsniveaus treinpassages inclusief invloed:
  - spoorligging
  - bodem onder het spoor
  - bodem naast het spoor (spoorsloot)
  - wielonrondheid
  - aslasten
  - rijsnelheid
- Treinpassages per type en rijsnelheid gemiddeld $V_{rms5sec}$
- Teruggerekend naar een equivalente puntbron met een spectrale kracht die meetresultaat simuleert
- Invloed bodem rekenkundig verrekend dus kracht puntbron min of meer onafhankelijk van locatie

Trillingsopnemer op maaiveld: bevestiging is kritisch

Twee voorbeelden van spectrum hielvaltest (heeldrop):



Bevestiging op maaiveld

- In SBR richtlijn geen aanwijzing want buiten bereik richtlijn (alleen in of aan gebouwen)
- Algemene eisen:
  - Zodanig dat het trillingsgedrag van de bodem zo goed mogelijk gevolgd wordt
  - Zonder het trillingsgedrag te beïnvloeden
  - Door middel van een stijve verbinding
  - Sensor waterpas (te stellen)
  - Bevestiging goed reproducerende resultaten
  - Snel en eenvoudig in montage

Praktijk: paal of (lange) pin in de grond

- ISO 14837-1 (2005): 300 mm stalen pinnen afhankelijk grondcondities
- ISO 14837-31 (2017): minimaal 80 mm pinnen
- Praktijk: houten paaltjes, lange tentharingen, stalen pinnen, heipaal….

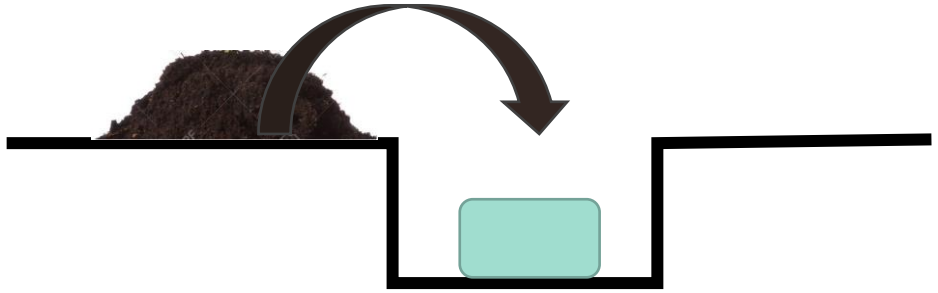
- Hoe sla je 300 mm pin recht de bodem in?
- Paal/pin moet helemaal de bodem in anders invloed op horizontaal
- In verticale richting bruikbaar
- In horizontale richting kritisch
- Denk ook aan stijve bevestiging sensor op paal/pin

ISO 14837-1:2005 Mechanical vibration — Ground-borne noise and vibration arising from rail systems — Part 1: General guidance

ISO 14837-31:2017 Mechanical vibration — Ground-borne noise and vibration arising from rail systems — Part 31: Guideline on field measurements for the evaluation of human exposure in buildings

Praktijk: helemaal ingegraven

- Gat graven, trillingsopnemer waterpas op de bodem zetten
- Gat dichtmaken met vrijgekomen grond
- Goed aanstampen
- Meting niet zichtbaar, kans op verstoring klein



- Hoe weet je dat trillingsopnemer na aanstampen nog waterpas staat?
- Wat is effect van grond OP en NAAST de sensor op de trillingsmeting?
- Wat is effect op reproduceerbaarheid als trillingsopnemer vervangen zou moeten worden (gat open, gat dicht)

Praktijk: op maaiveld met stoeptegel

- Eenvoudige montage
- Waterpassen trillingsopnemer ook makkelijk

- Ligt op maaiveld: invloed gras? Invloed geroerde grond?
- Bij ongelijke grond kan stoeptegel wiebelen → resonanties?
- Horizontale bevestiging niet stijf genoeg: opnemer kan verschuiven bij hogere trillingsniveaus

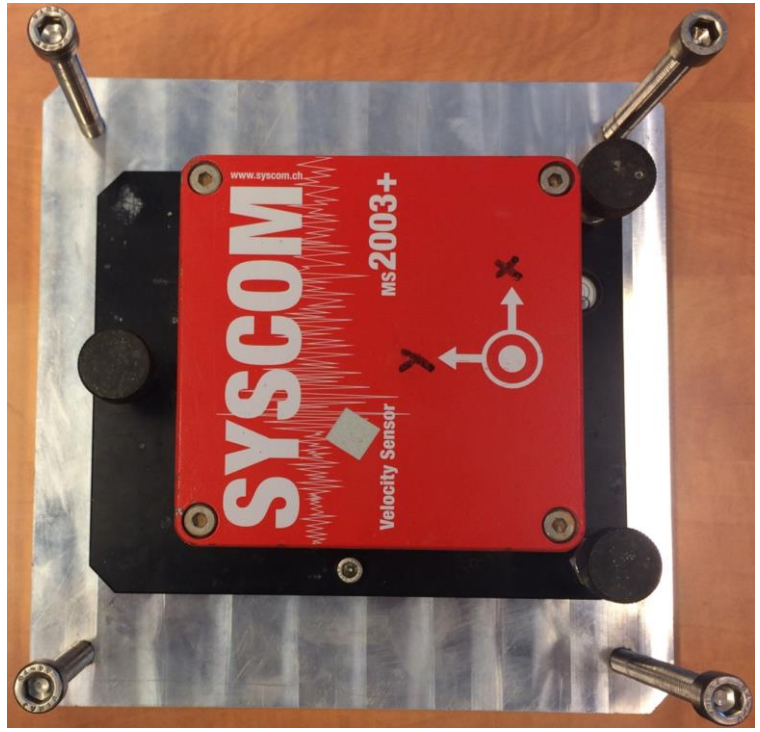
Praktijk: met pinnen in de bodem gedrukt

- Trillingsopnemer tot aan bodemplaat in de bodem drukken
- In kleibodem en zandbodem goed toepasbaar

- Hele bodemplaat moet contact maken met bodem om rotaties van de trillingsopnemer te voorkomen
- Waterpassen kan lastig zijn (je hebt maar 1 kans)
- Korte pinnen onvoldoende verbinding bij losse bodem (dan verder uitgraven)
- Kans op rotaties sensor in bodem met steentjes

Praktijk: plaat op maat

- Combinatie van gemak stoeptegel met goede bevestigingsmogelijkheden
- Aluminium, 20 mm dik, net zo zwaar als sensor
- Inkepingen voor de stelschroeven van de sensor
- Gaten voor grondpinnen die apart zijn te bevestigen
- Sensor met bouten vast te zetten



Plaat op maat in praktijk

- Meetlocatie Schalkwijk (klei bodem)

Sensor waterpas gezet

Sensor vastgeschroefd

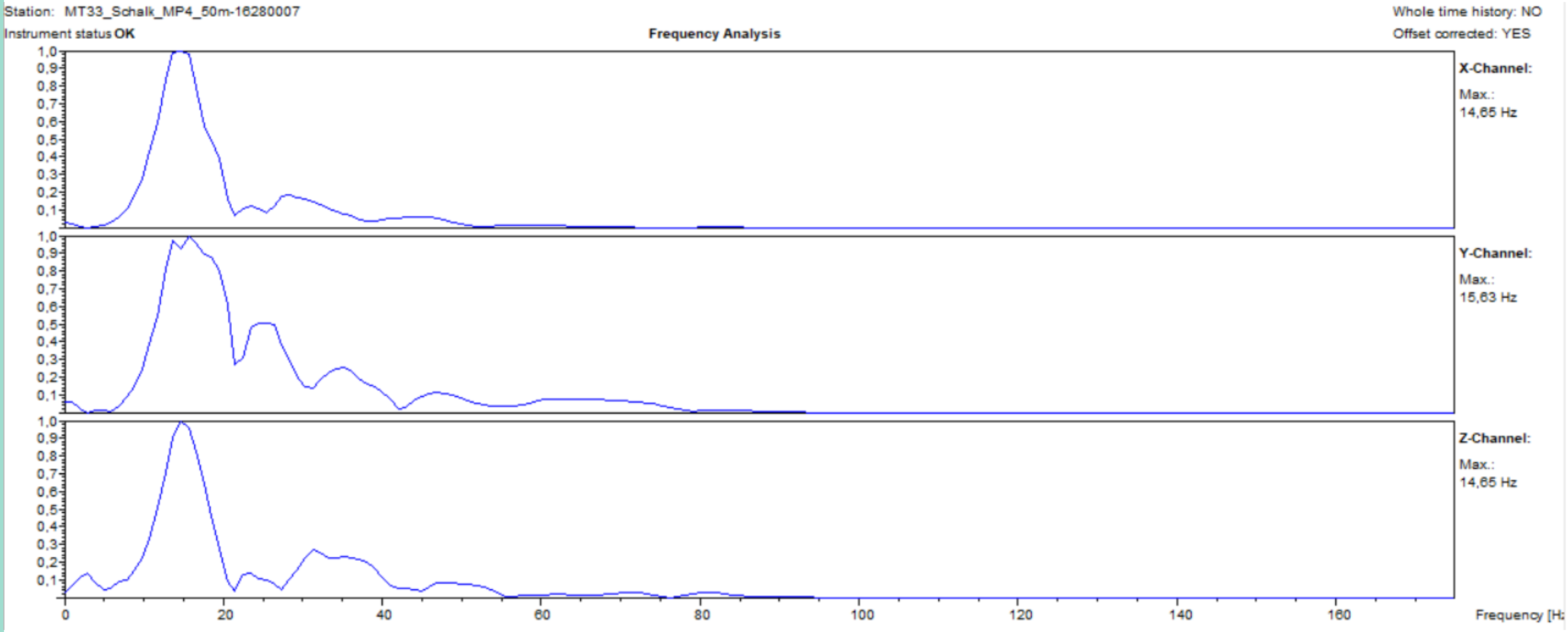
Toplaag bodem verwijderd

Dun laagje zand ter egalisatie

Plaat met 10 cm pinnen in de grond geslagen Zandlaagje verdicht

Plaat op maat in praktijk

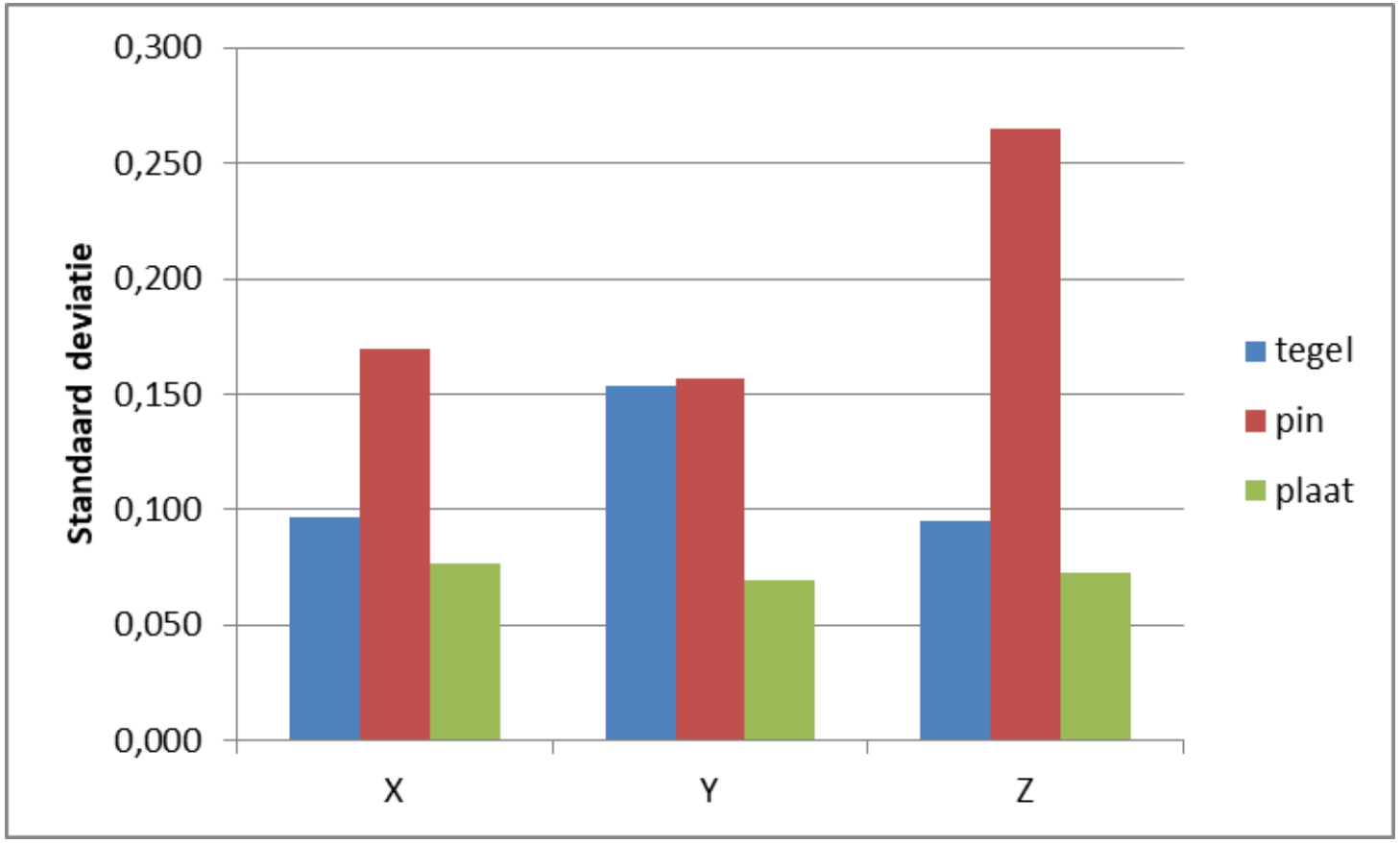
- Meetlocatie Schalkwijk (klei bodem) spectrum heeldrop



Plaat op maat in test

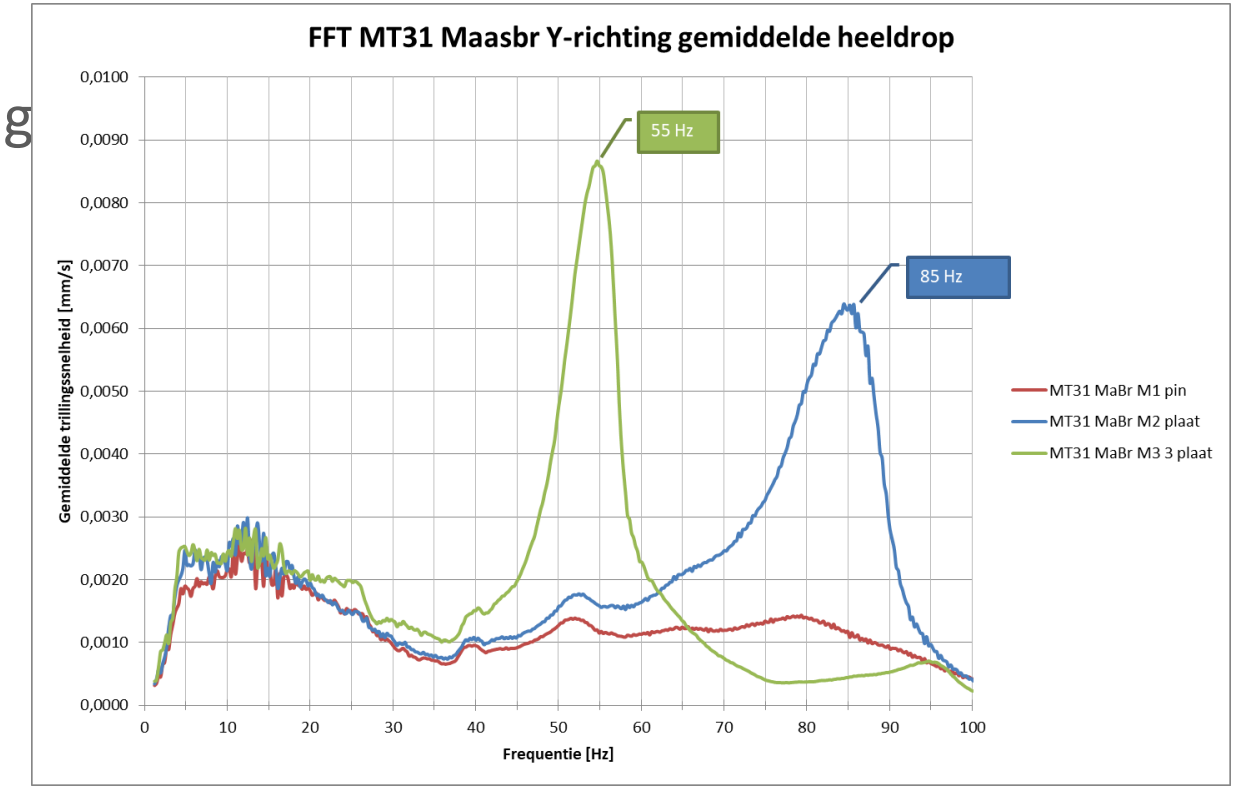
- Drie maal 3D trillingsopnemer binnen 1 meter van elkaar op 50 meter van spoor
- Bodem met zand en grind (Maasbracht)
- Circa 75 passages VIRM en SLT
- Vergelijking standaard deviatie

- Plaat op maat in drie richtingen kleinste standaard deviatie
- Pin beïnvloed door steentje
- Tegel in horizontale richting grotere standaard deviatie dan plaat op maat



Invloed slappe bodem

- Constructie relatief zwaar (3 kg)
- Voegt extra massa toe die bij slappe bodem invloed kan hebben
- Simulatie invloed massa trillingsopnemer bij test in Maasbracht met losse bodem
- Verschuiving piek in resonantie
- Van 85 Hz naar 55 Hz bij verdubbeling massa



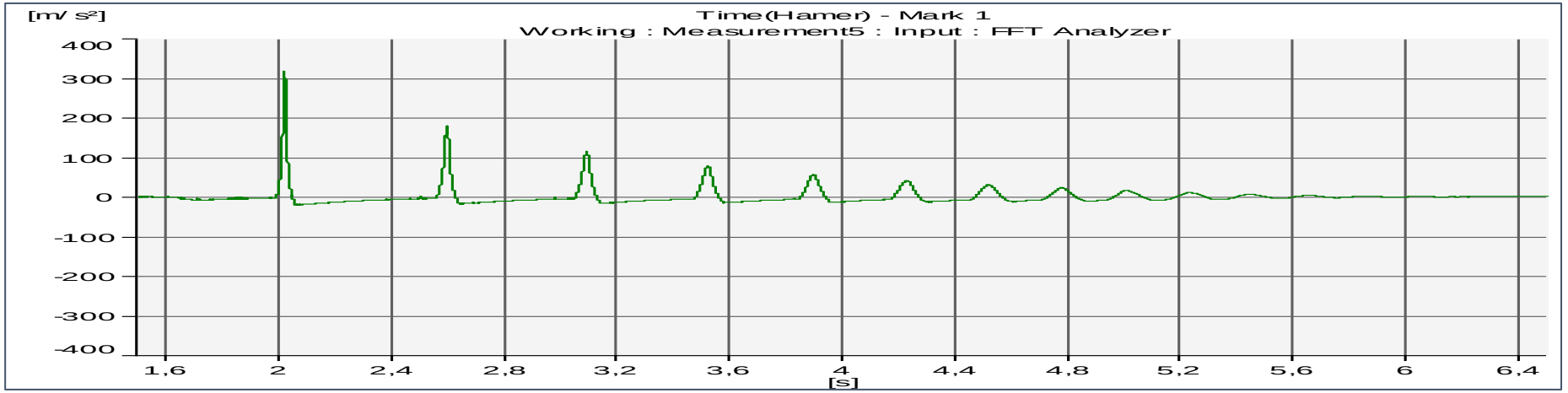
Impedantiemetingen bodem

- Inzicht in overdracht van trillingen door de bodem
- Bepalen bodemdemping, eventueel golfsnelheden
- Bij voorkeur over grotere afstanden (50 – 75 meter)
- Door middel van valgewicht

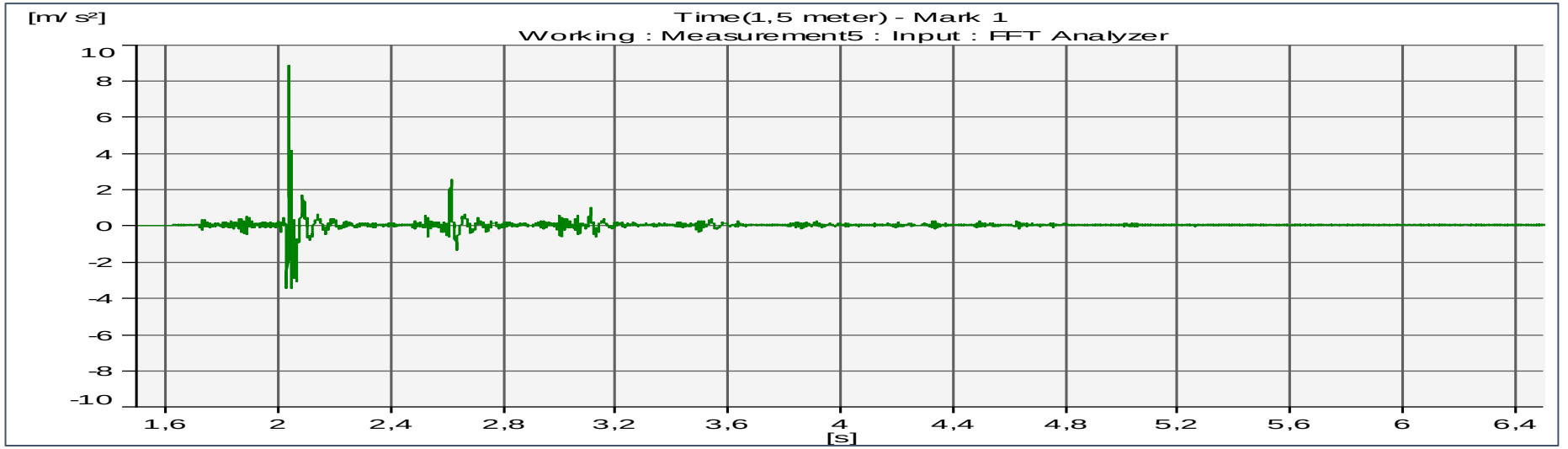
- Brengt 1 trillingspuls in de bodem met bekende trillingsversnelling
- Respons meten op maaiveld in meetgrid 9 Red Boxen
- Referentiesensor zorgt voor aansturing Red Boxen
- Red Boxen via netwerk met elkaar verbonden
- Tijdsynchronisatie 1 ms

Impedantiemetingen resultaat

Tijdsignaal versnelling valgewicht (boven) en respons op 1,5 m afstand (onder).



Kracht aanstoting = 230 kg * 317 m/s² = 72,91 kN



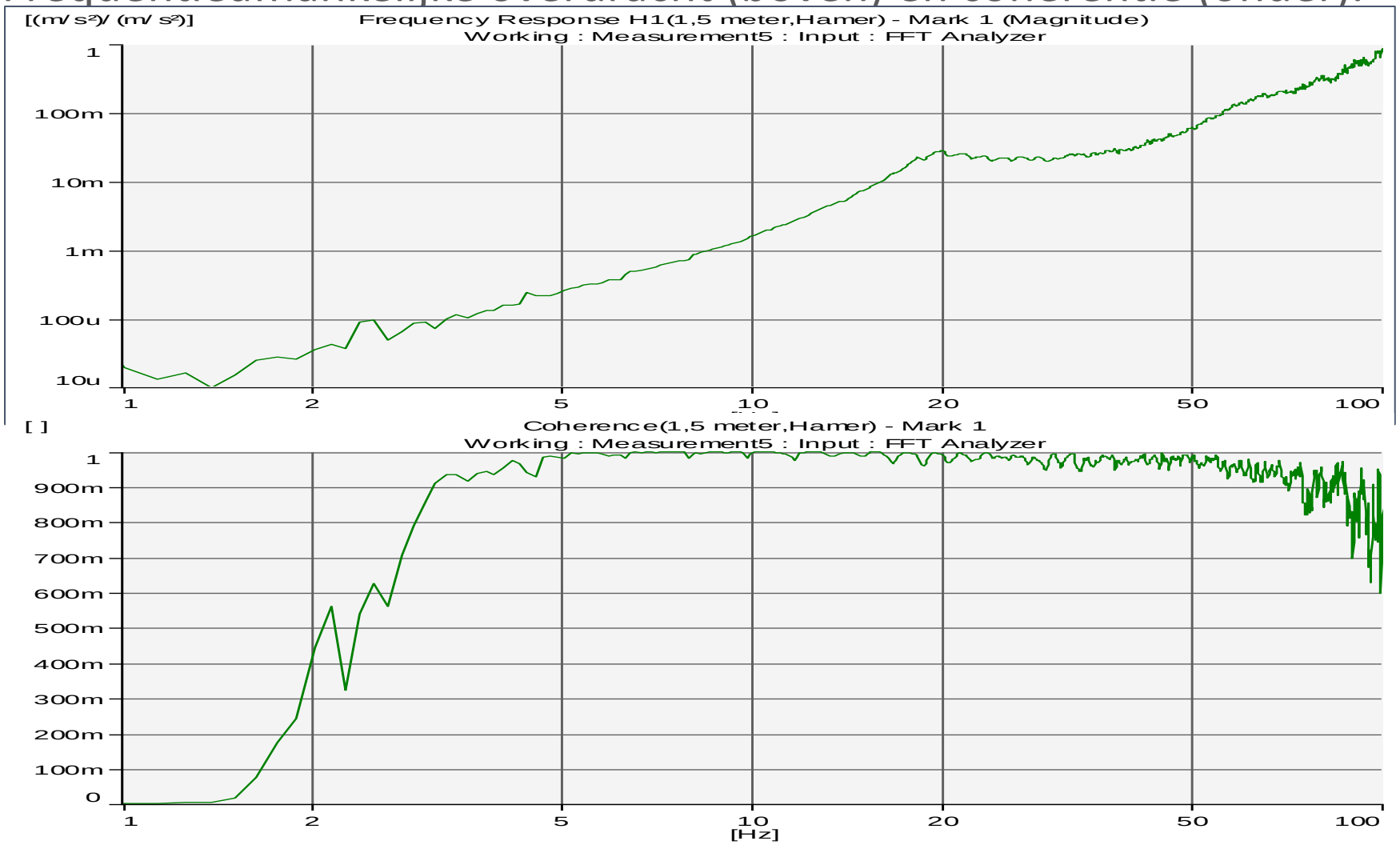
Respons: 8,7 m/s² op 1,5 m afstand

Integreren naar snelheid

Impedantie = $F_{aanstoot}$ / $v_{respons}$

Impedantiemetingen resultaat

Frequentieafhankelijke overdracht (boven) en coherentie (onder).



Respons op 1,5 m:

- nog weinig verzwakking
- erg in nabijheidsveld dus golven lage frequenties nog niet ontwikkeld
- nog grote invloed compressiegolf, invloed Rayleigh golf beperkt.
- Nog geen duidelijke resonanties te zien.

Coherentie 4 – 55 Hz > 0,95
Bij 100 Hz rond 0,7
Meting herhaald met harde rubber dop om coherentie hogere frequenties te verbeteren

VRAGEN?