

Vibrationsdrivning av pålar och spont – möjligheter och begränsningar

Rainer Massarsch

Geo Risk & Vibration Scandinavia AB

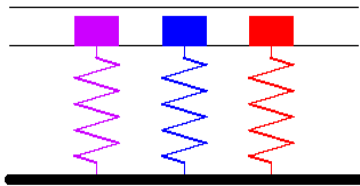
Carl Wersäll

PEAB Anläggning AB



Frågeställningar vid användning av vibratorer

- Drivbarhet
- Omgivningspåverkan
- Bärförmåga
- Ekonomi



För att kunna besvara dessa frågor krävs en **fysikalisk förståelse** för vibreringsprocessen!

Svenska erfarenheter från vibrationsdrivning

■ Pålkommissionen

Stötvågsmätning

Vibrering av pålar och spont

Massarsch (1995). "Vibrerade pålar – nya användningsmöjligheter" Möte SGF/PK.

Massarsch et al. (2000). "Vibratorers användningsmöjligheter vid drivning av pålar och spont" PK rapport 99 (2000).

■ KTH

Vibrationsdrivning av spont

Viking (2002). "Vibro-driveability of sheet piles". Doktorsavhandling.

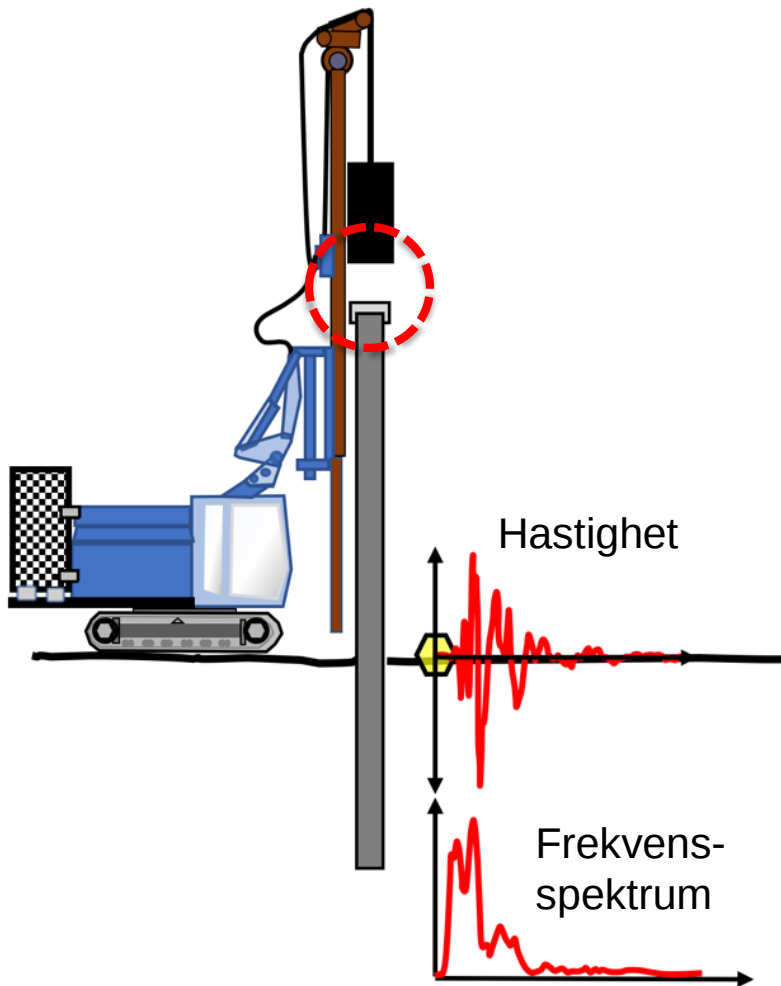
Deckner (2017). "Vibration transfer process during vibratory sheet pile driving". Doktorsavhandling.

Vibrationspackning av friktionsjord

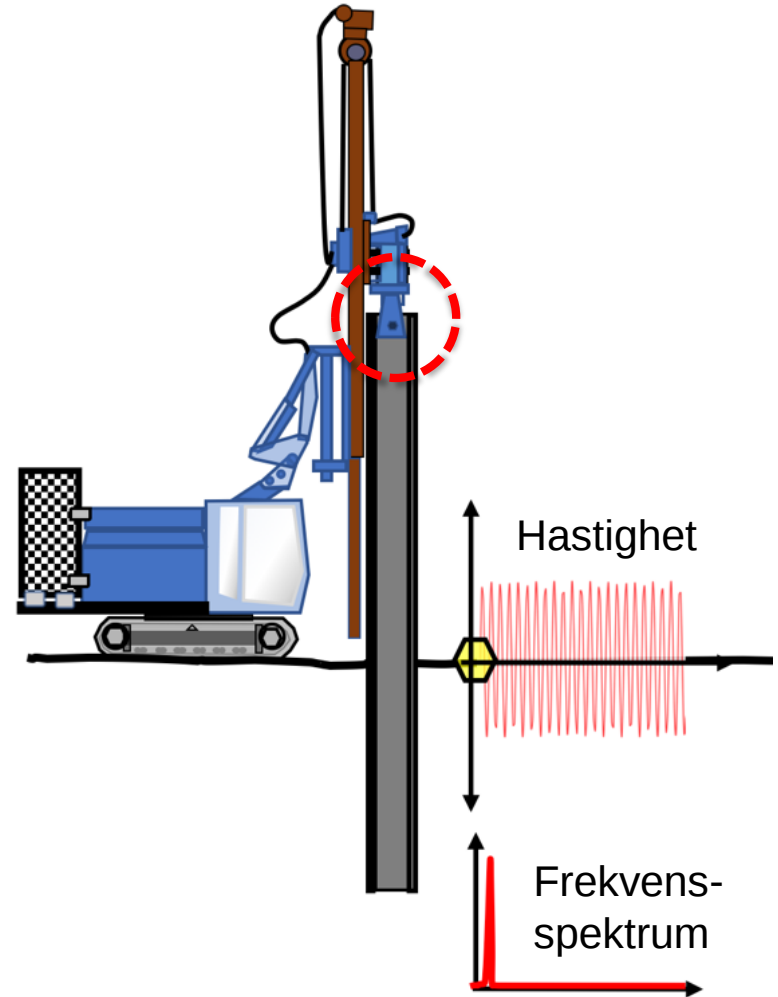
Massarsch (2016). "Resonanspackning av brofundament för Sundsvallsbron. Grundläggningdagen 2016.

Wersäll (2016). "Frequency Optimization of vibratory rollers and plates for compaction of granular soil". Doktorsavhandling.

Skillnaden mellan slagning och vibrering



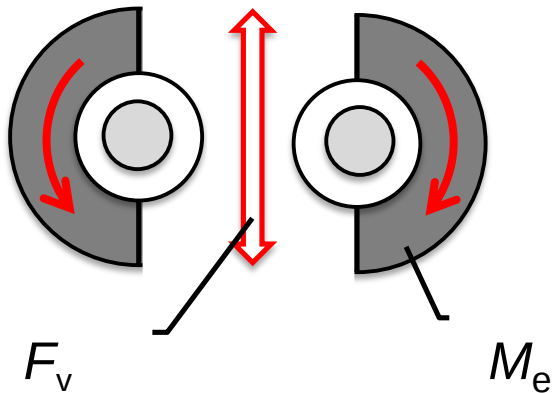
Hejarslagning



Vibrationsslagning

Parametrar som styr vibrationsdrivning

Roterande excentermassor



Centrifugalkraft

Excentriskt moment

Frekvens

F_v
 M_e
 f

$$F_v = M_e (2 \pi f)^2$$

Förskjutningsamplitud

Excentriskt moment

Exciterad massa

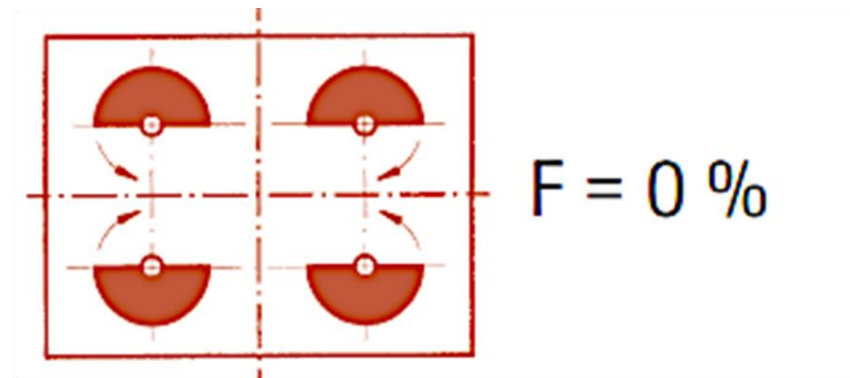
s

M_e

m_t

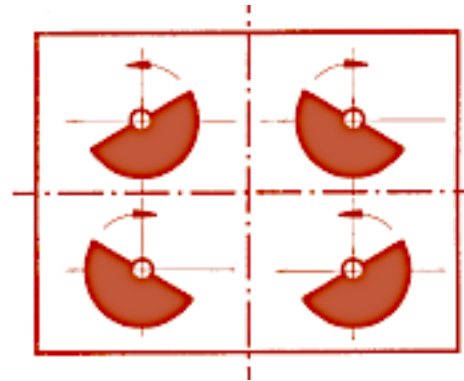
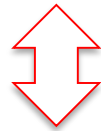
$$s = \frac{M_e}{m_t}$$

Resonansfri vibrering med variable amplitud



Starta vibratorn utan
excentermoment

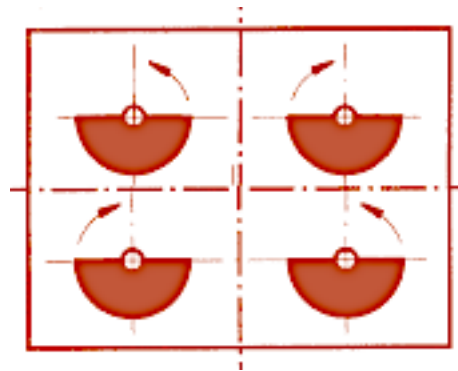
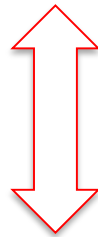
Resonansfri vibrering med variable amplitud



$F = 75 \%$

Stegvis ökning av
excentermomentet

Resonansfri vibrering med variable amplitud



$F = 100 \%$

Maximal centrifugalkraft

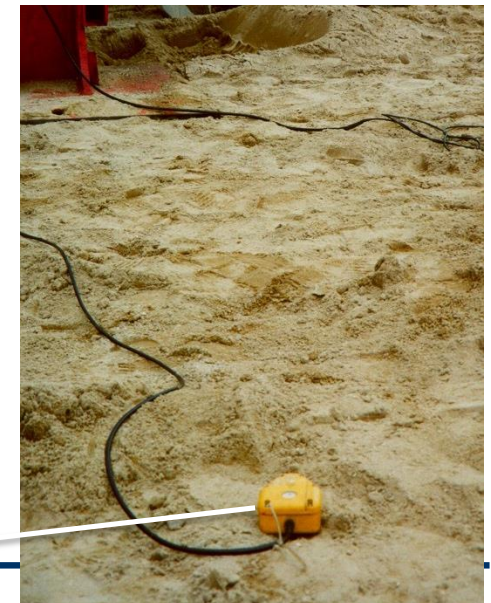
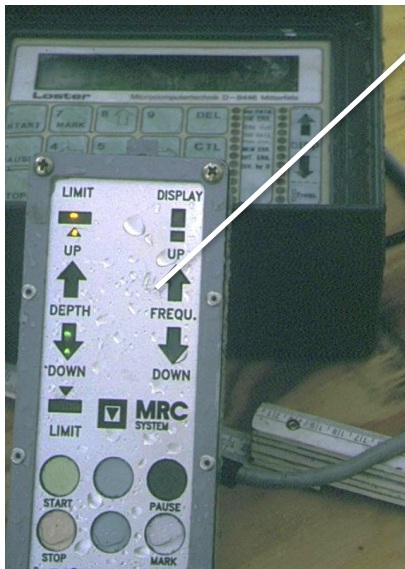
Betydelsen av vibreringsfrekvensen

FREKVENSS-
VARIABEL VIBRATOR

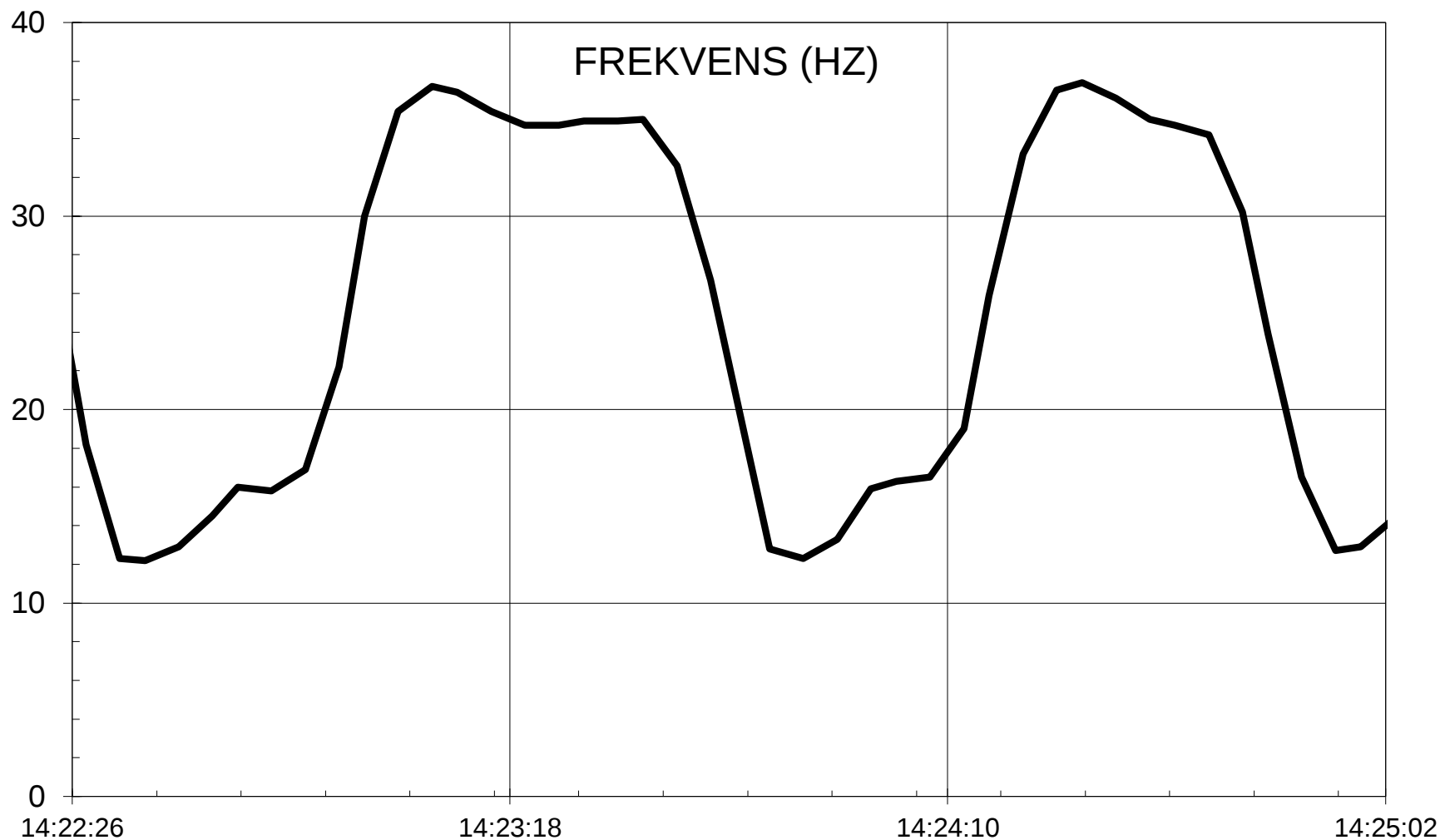
STÅLRÖRSPÅLE

FREKVENSS-
STYRNING

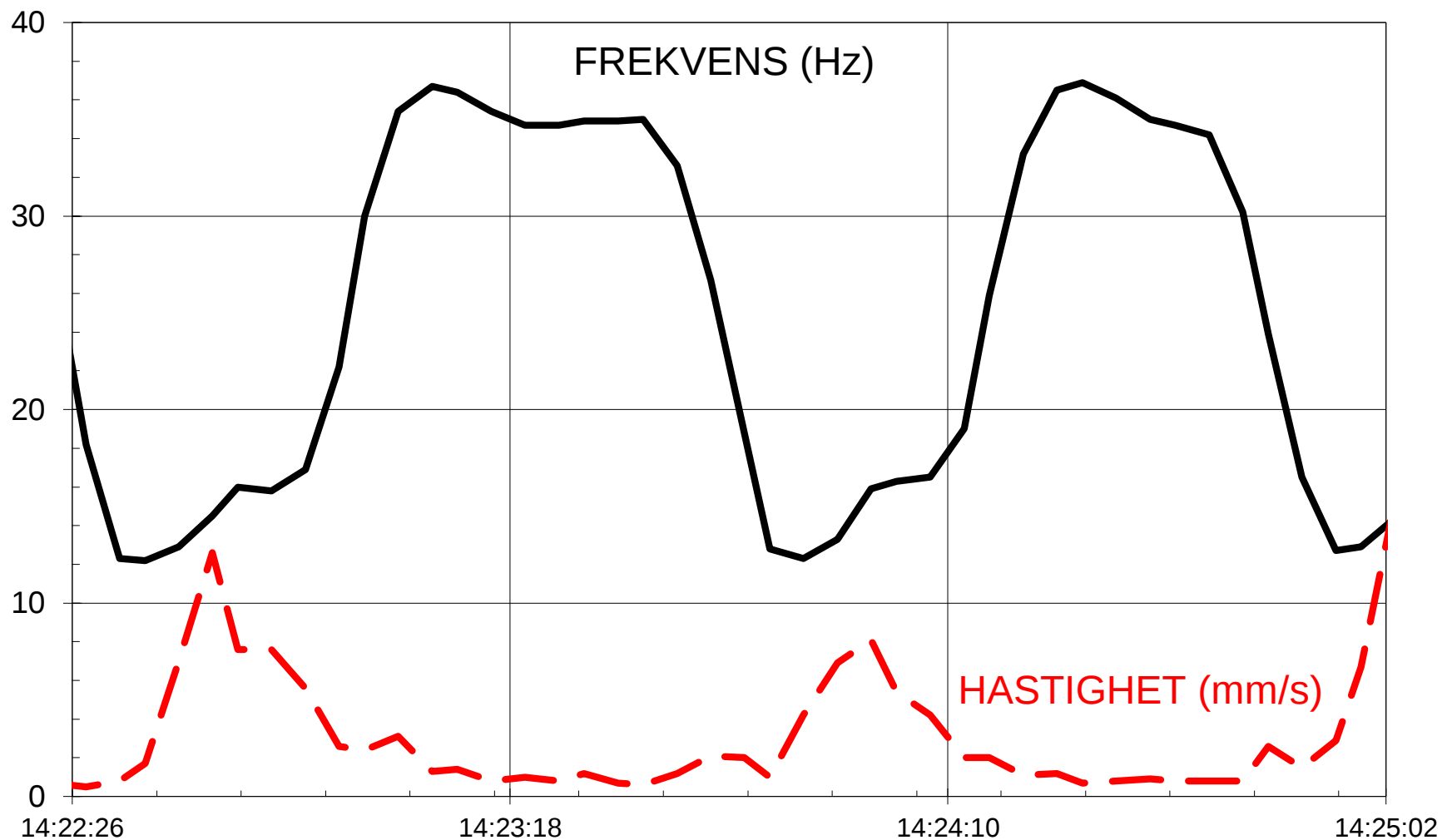
GEOFON



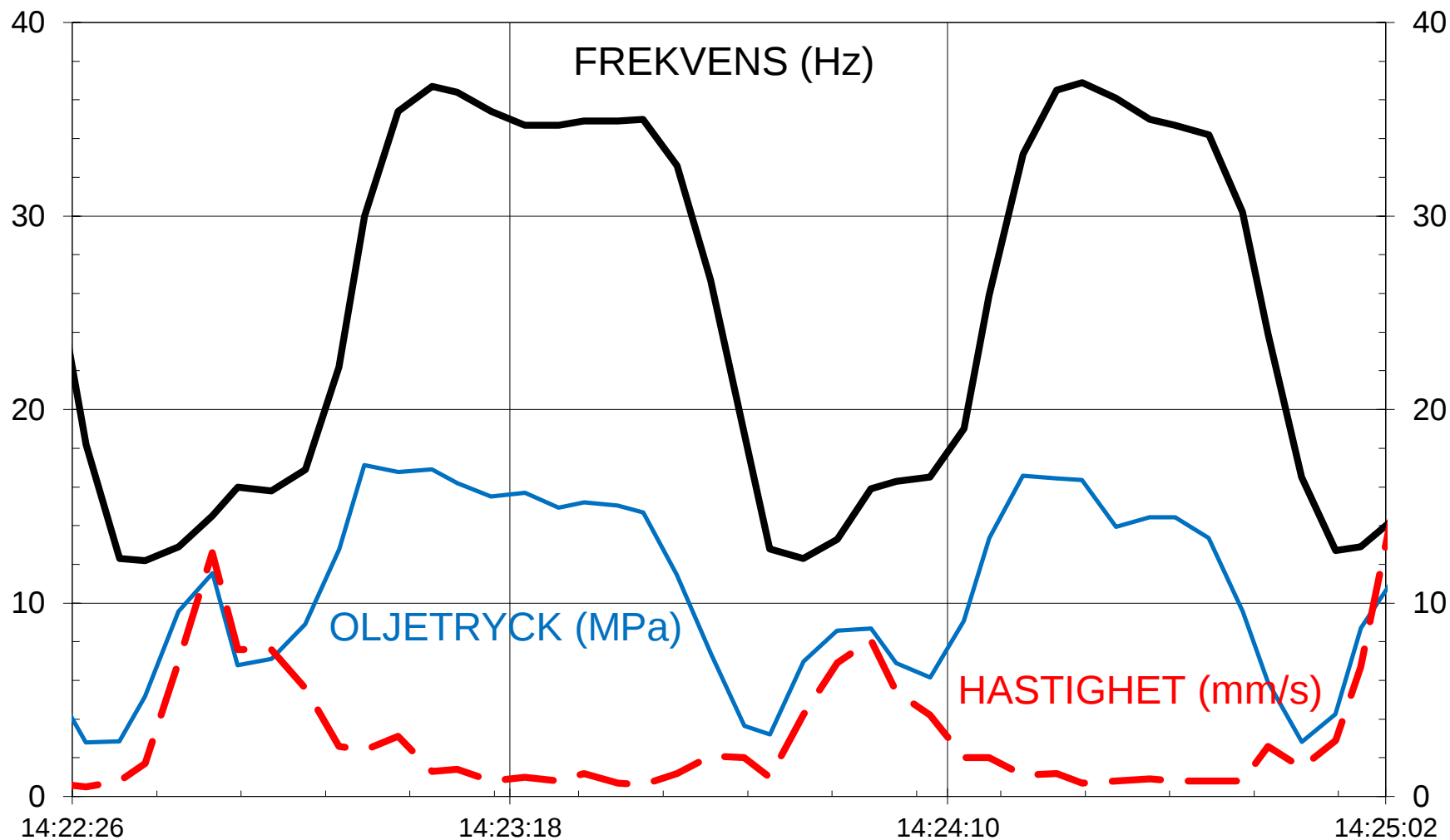
Betydelsen av vibrationsfrekvensen

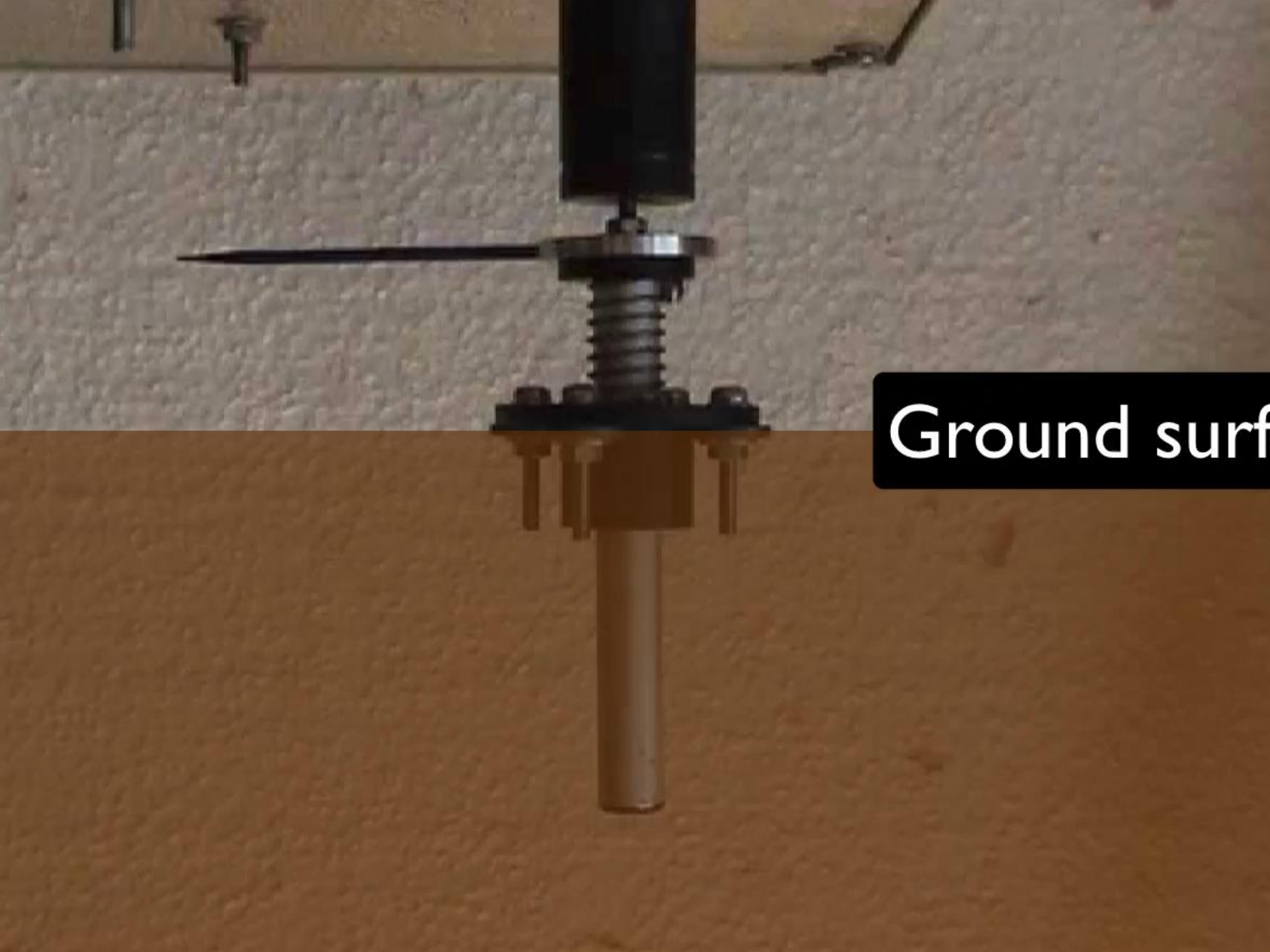


Betydelsen av vibrationsfrekvensen



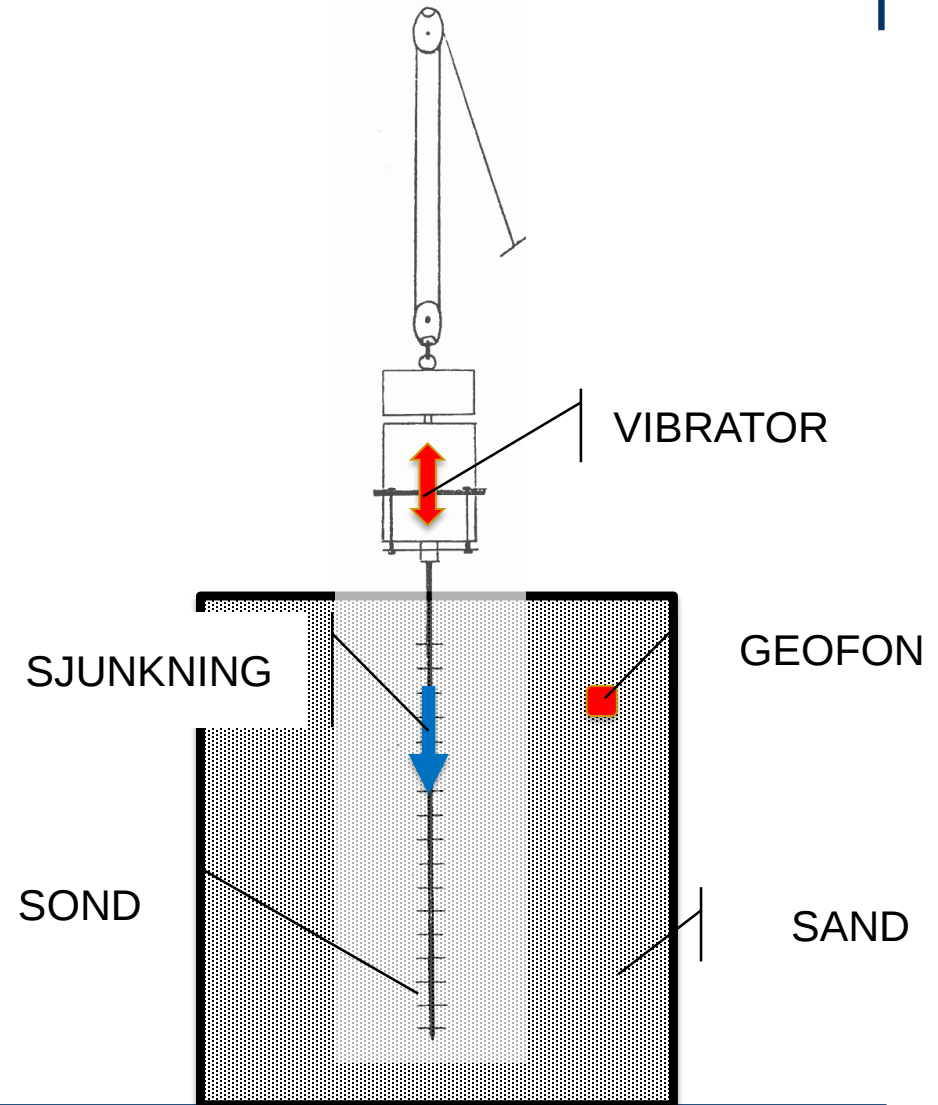
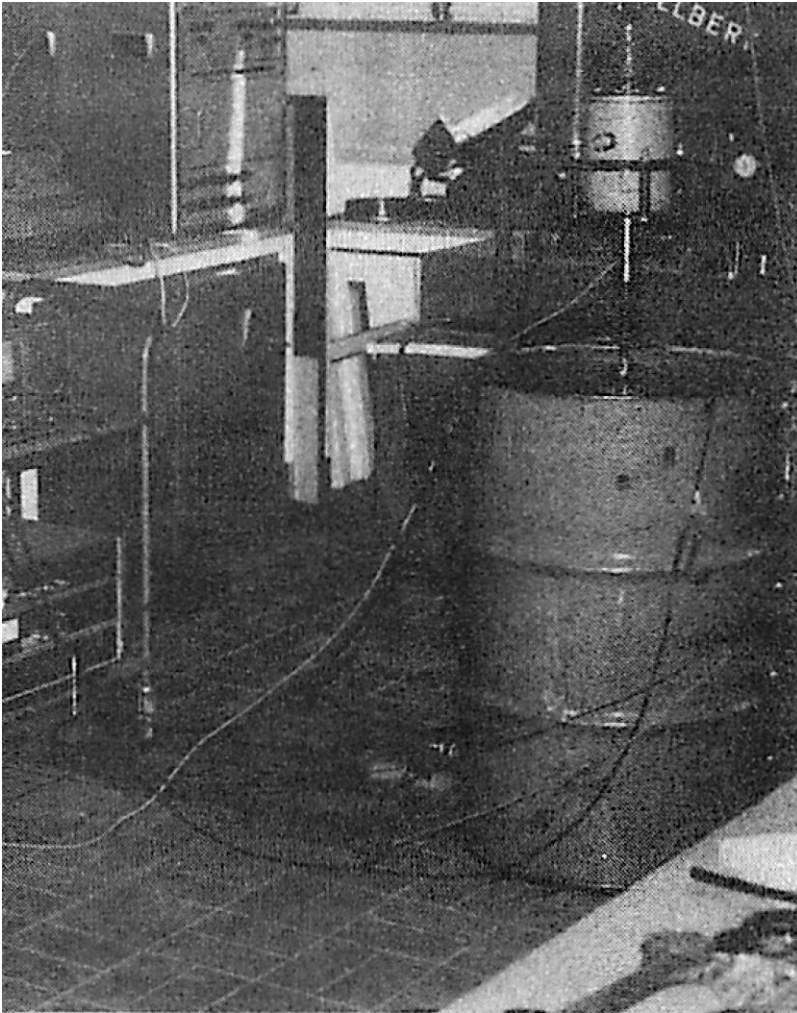
Betydelsen av vibrationsfrekvensen





Ground surf

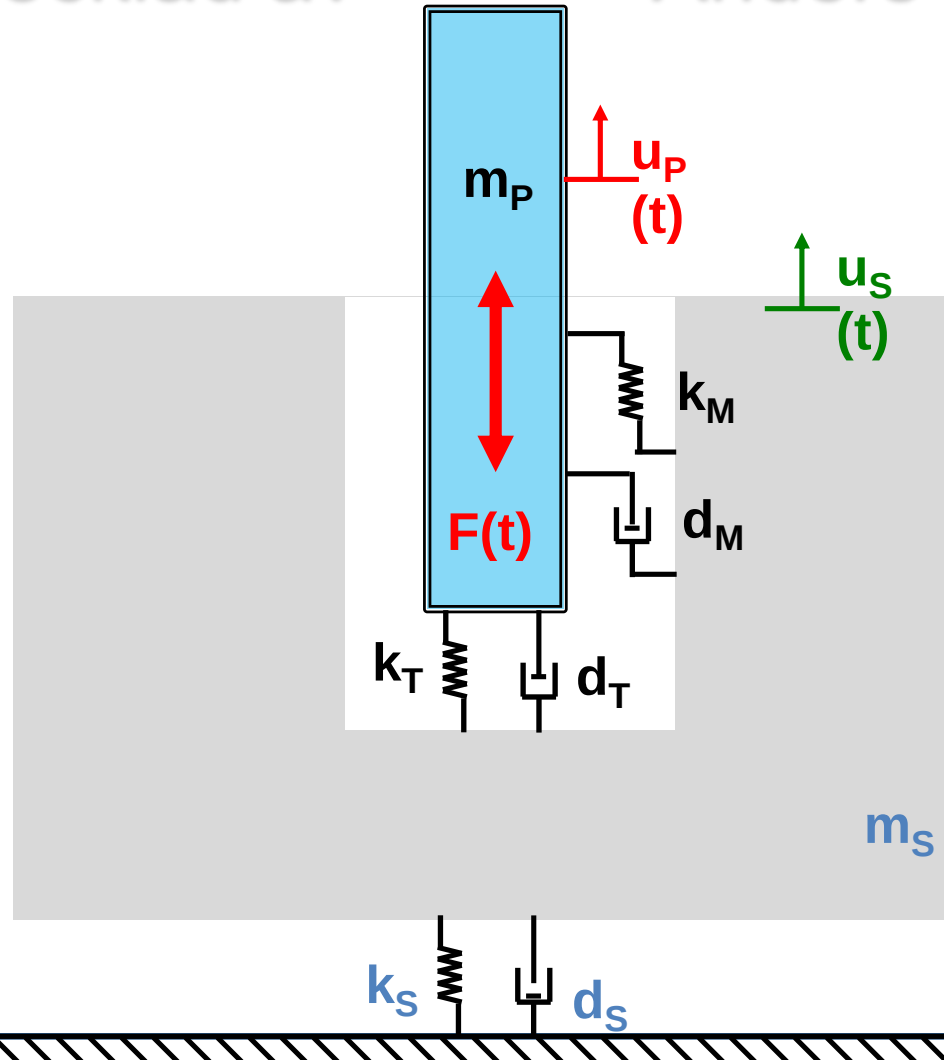
Modellförsök KTH - 1981



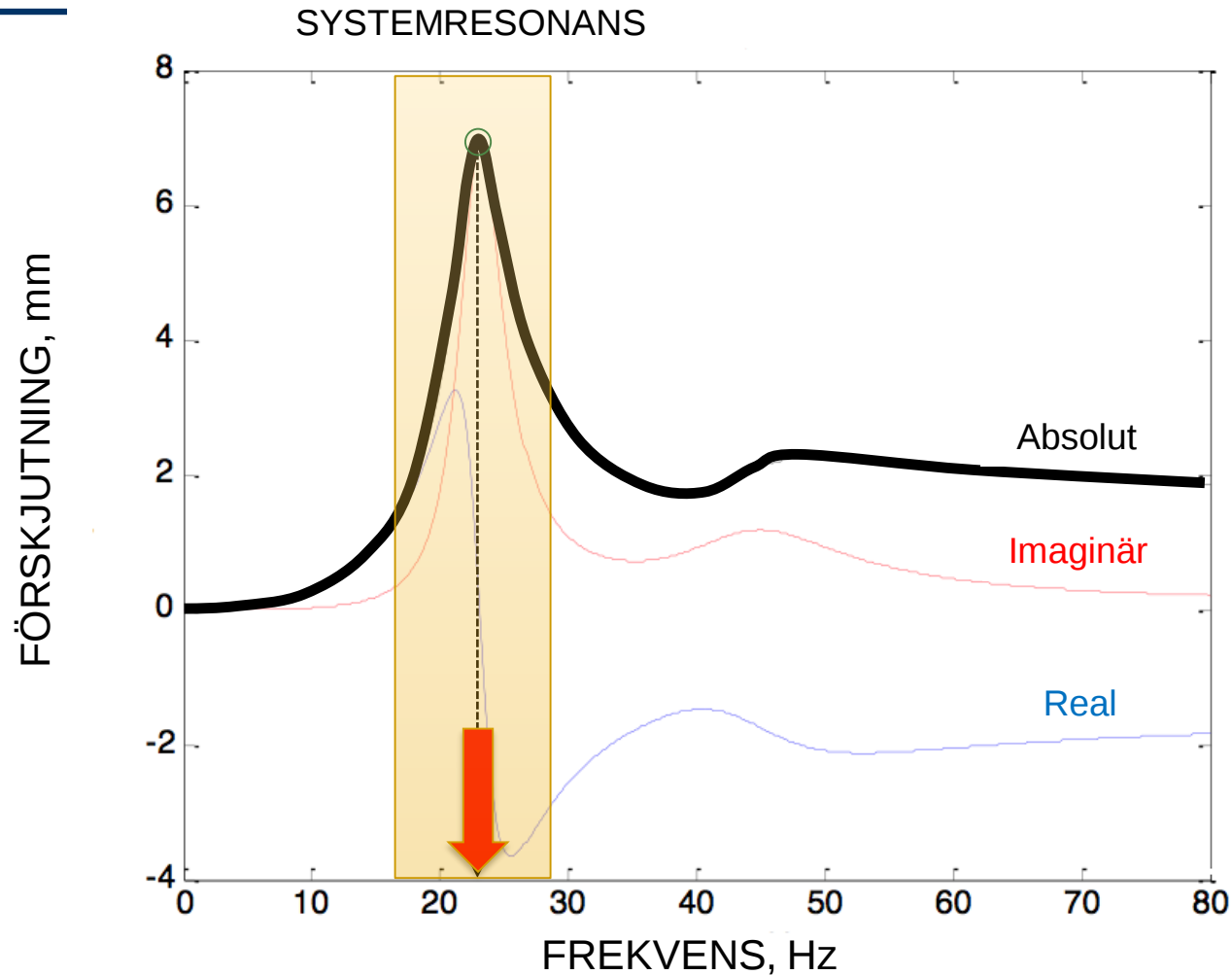
Slutsatser från modellförsöken i sand

- **Hög frekvens:** sonden sjunker snabbt och endast små markvibrationer.
- **Minskad frekvens:** sjunkningshastigheten avtar och vibrationerna ökar.
- **Resonans:** kraftiga vibrationer och långsam penetration.
- **Snabb vibrationsdrivning:** undvik resonans.
- **Jordpackning:** ska utnyttja resonansförstärkningen.

Teoretisk modell för resonansberäkning utvecklad av Anders Bodare



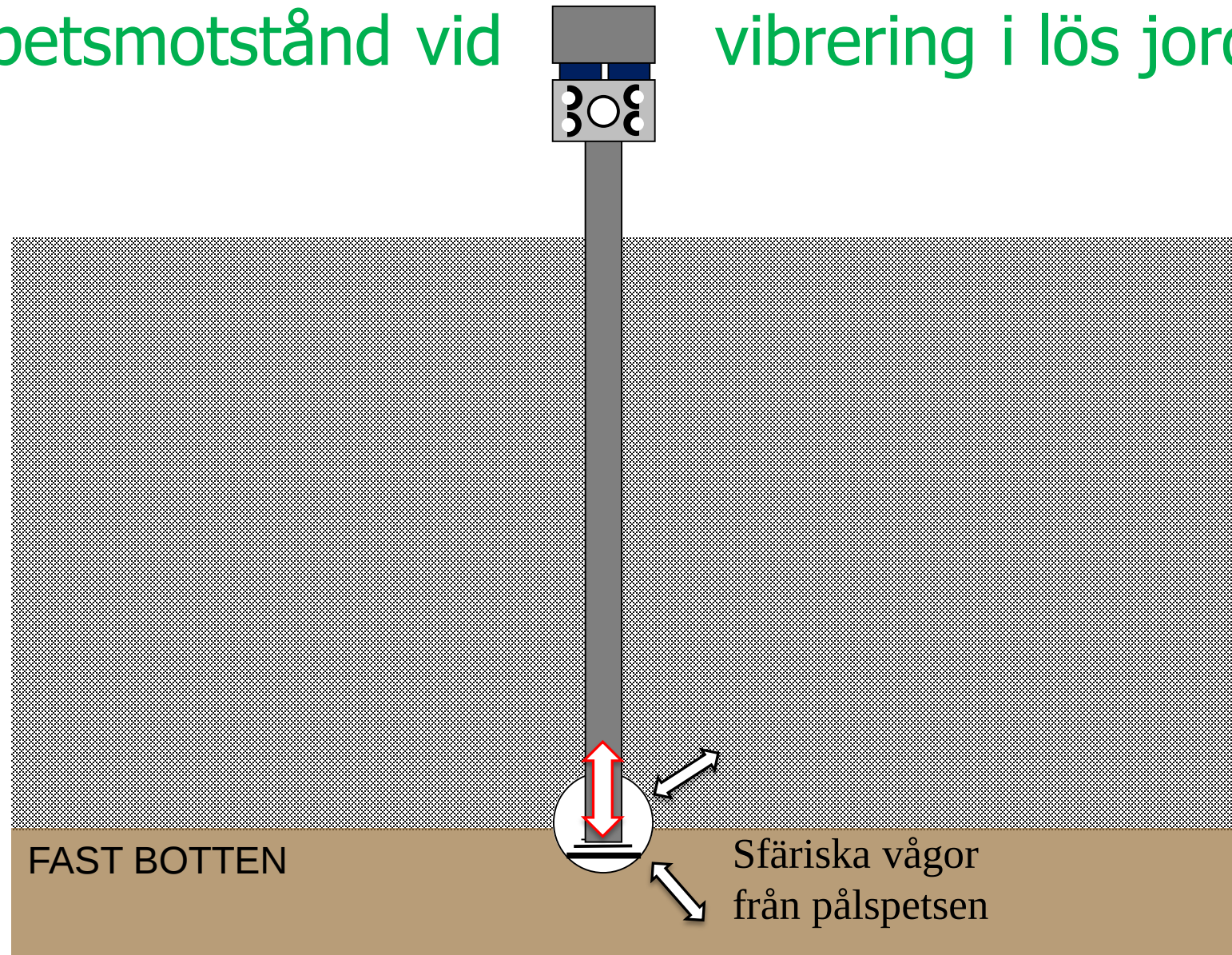
Resonansfrekvens av vibrator-på-jord system



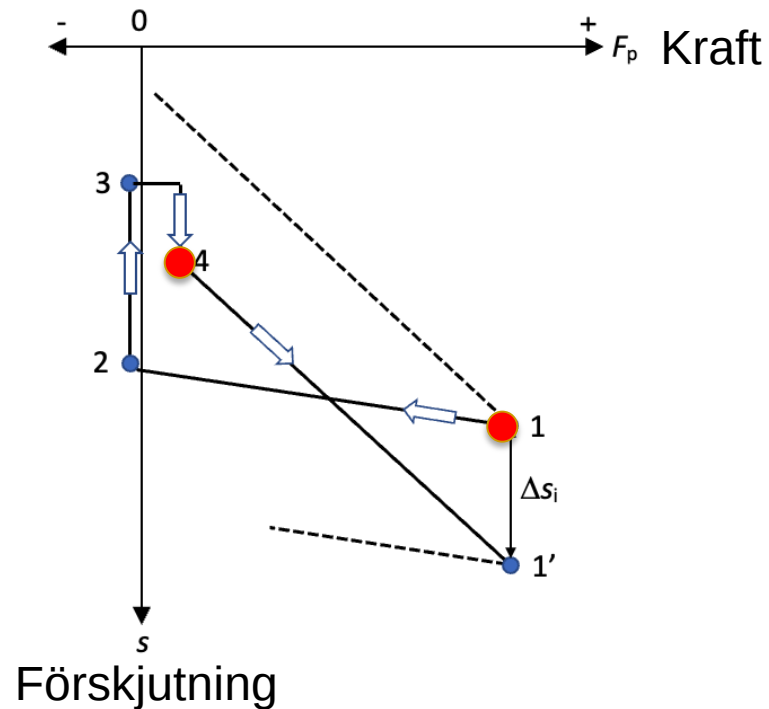
 Excent. moment: $m_e = 10 \text{ kgm}$ - Skjuvvågsfart: $c_s = 225 \text{ m/s}$:

Spetsmotstånd vid

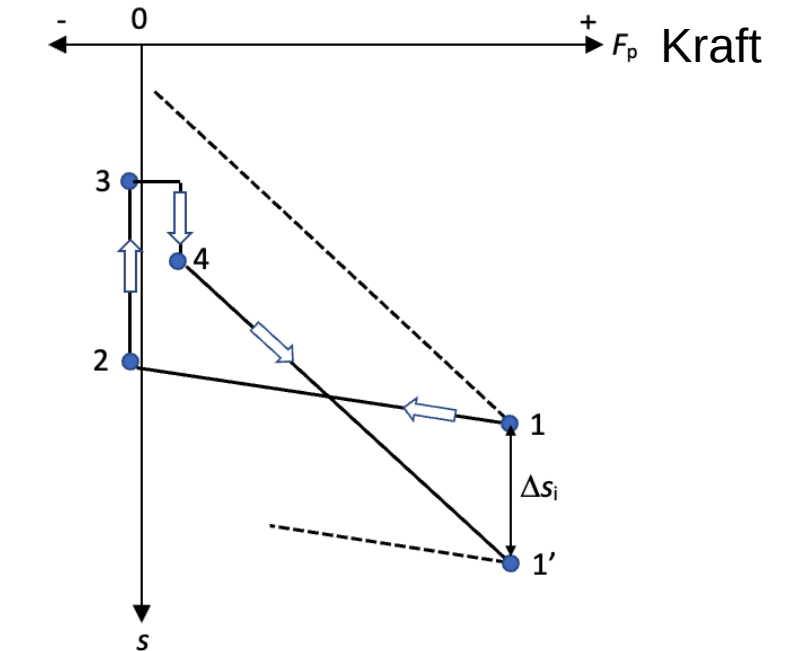
vibrering i lös jord



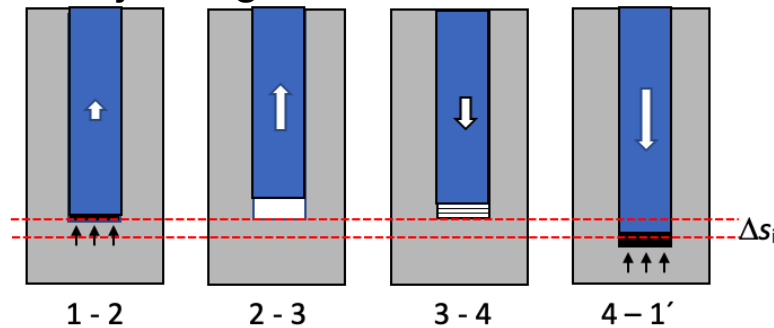
Spetsmotstånd vid vibrering



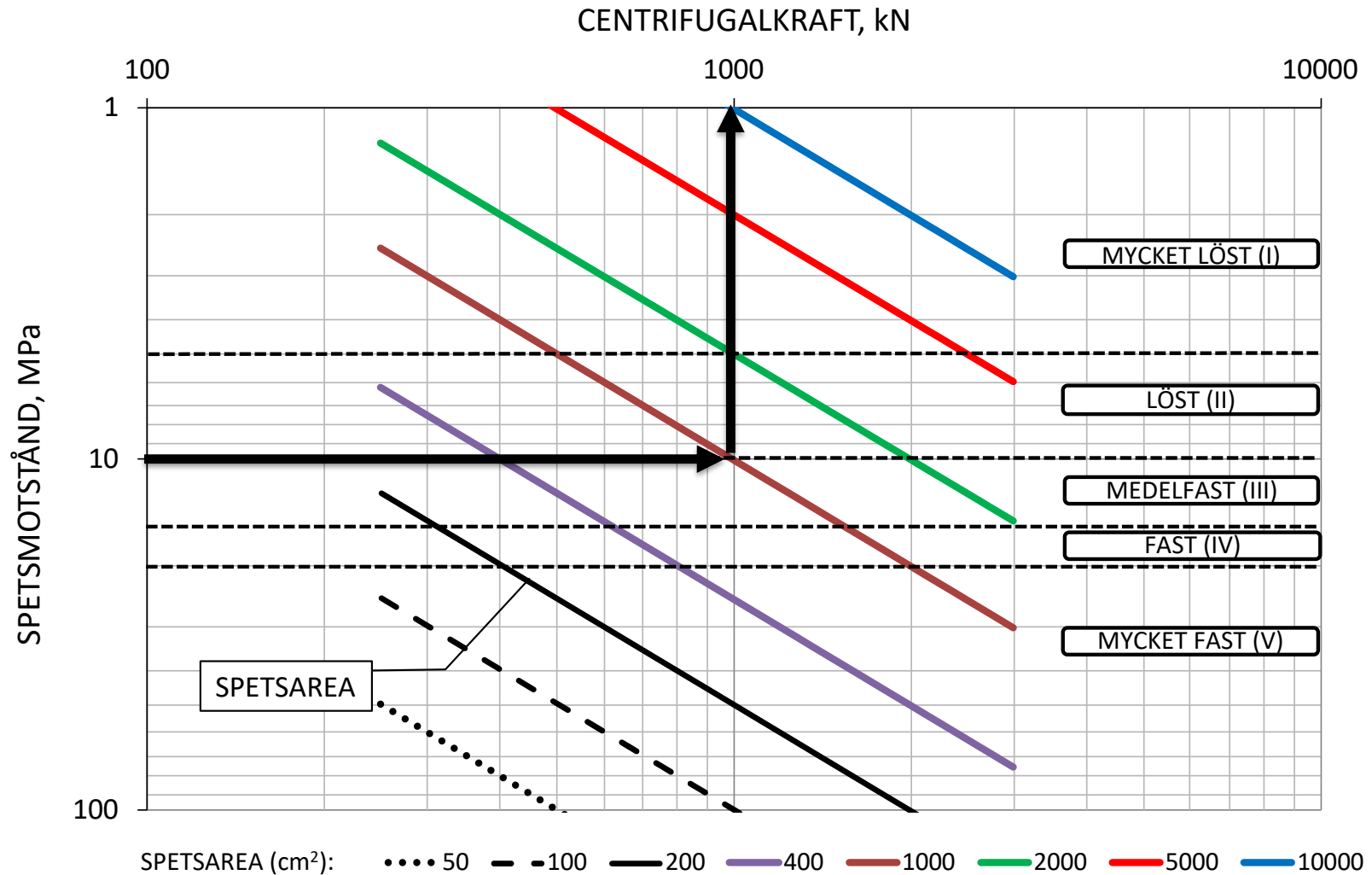
Spetsmotstånd vid vibrering



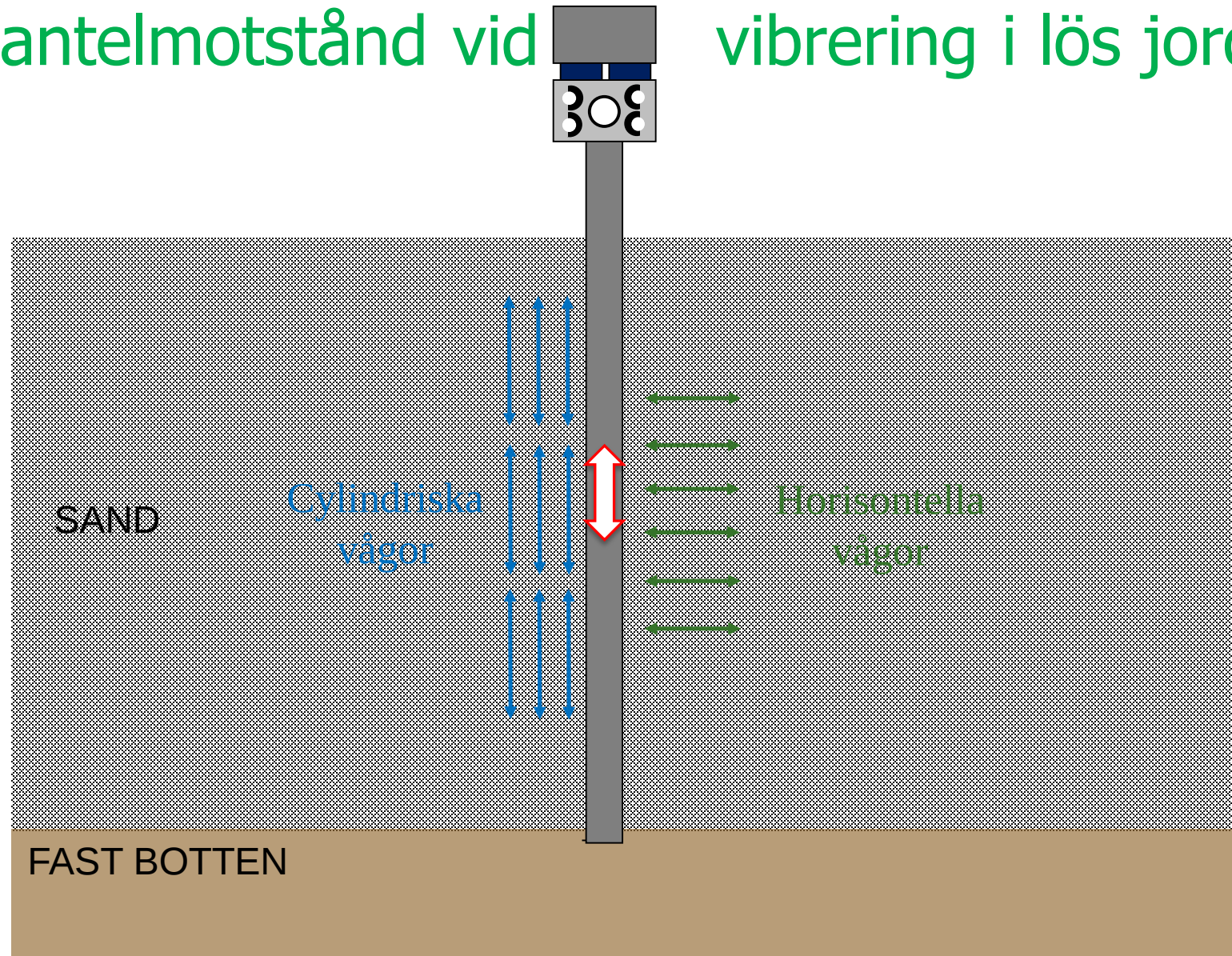
Förskjutning



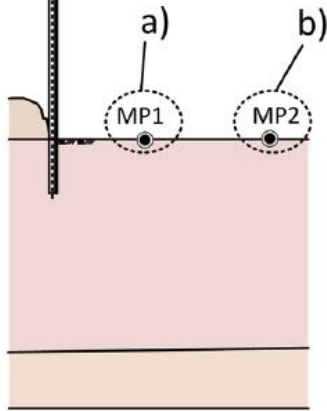
Vibrators centrifugalkraft map spetsmotstånd



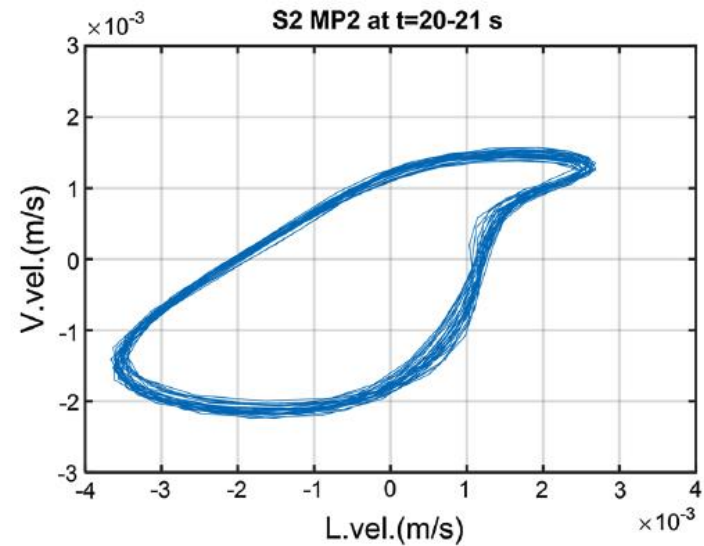
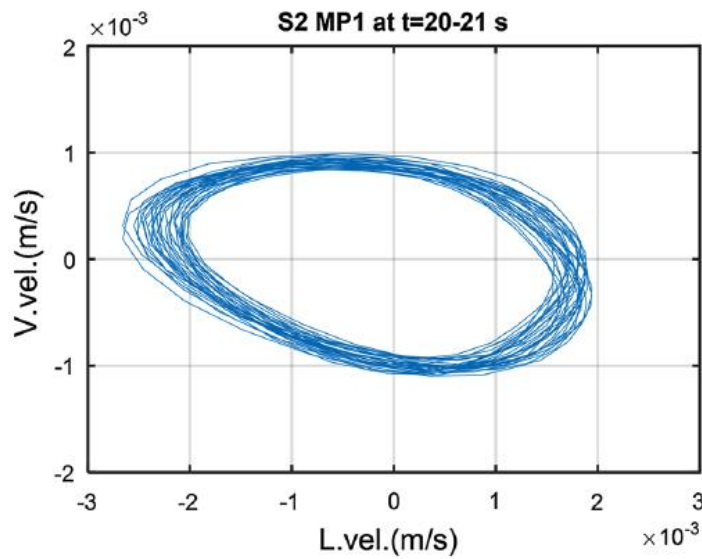
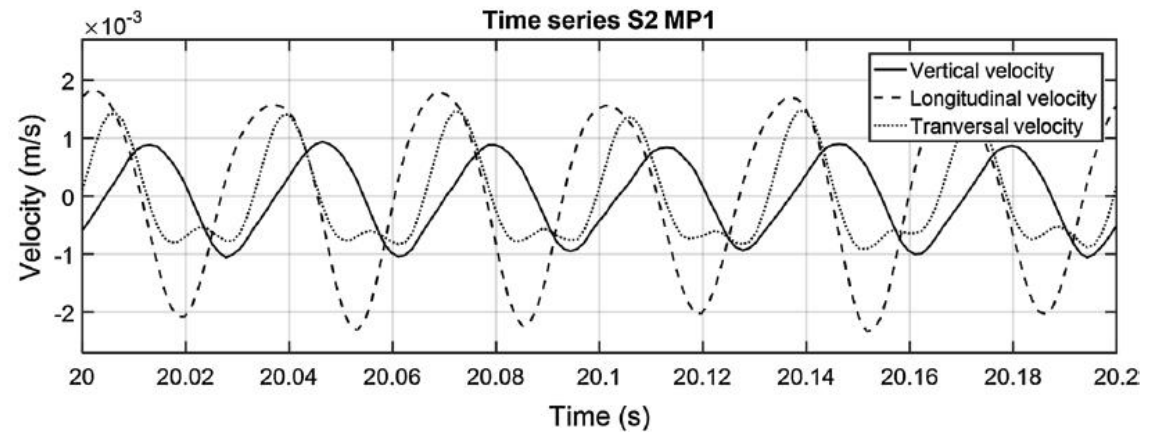
Mantelmotstånd vid vibrering i lös jord



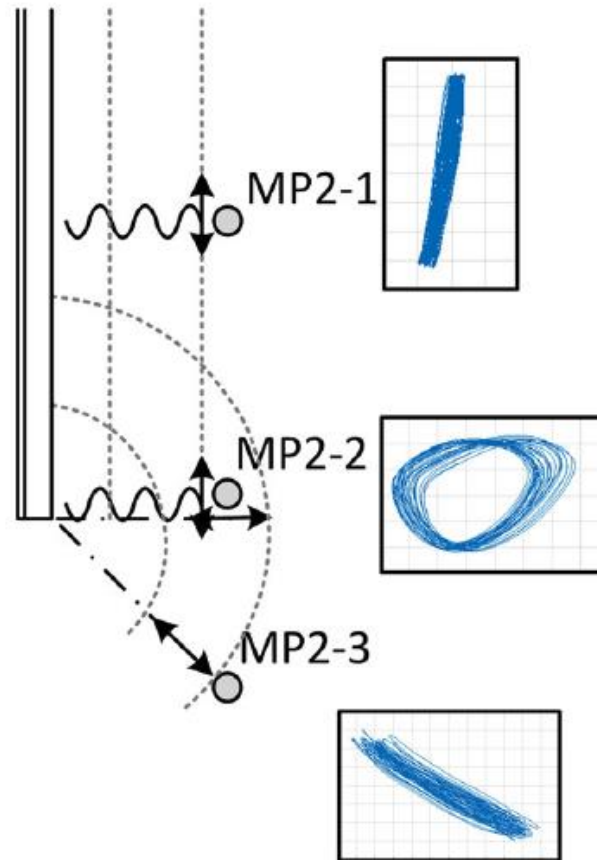
Vibrationsmätningar vid sponthning i lera



Penetration depth

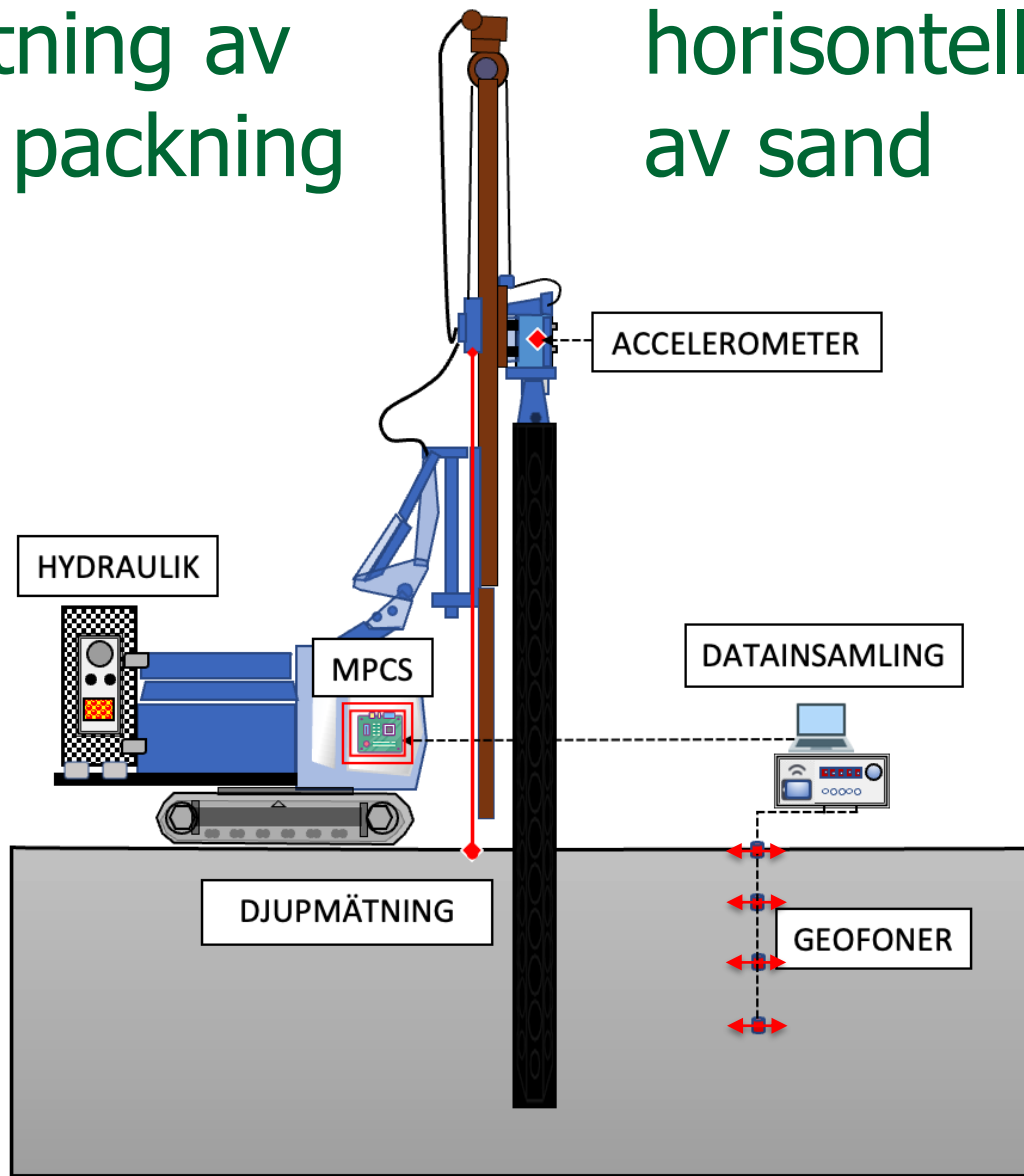


Vibrationer vid spontning i lera

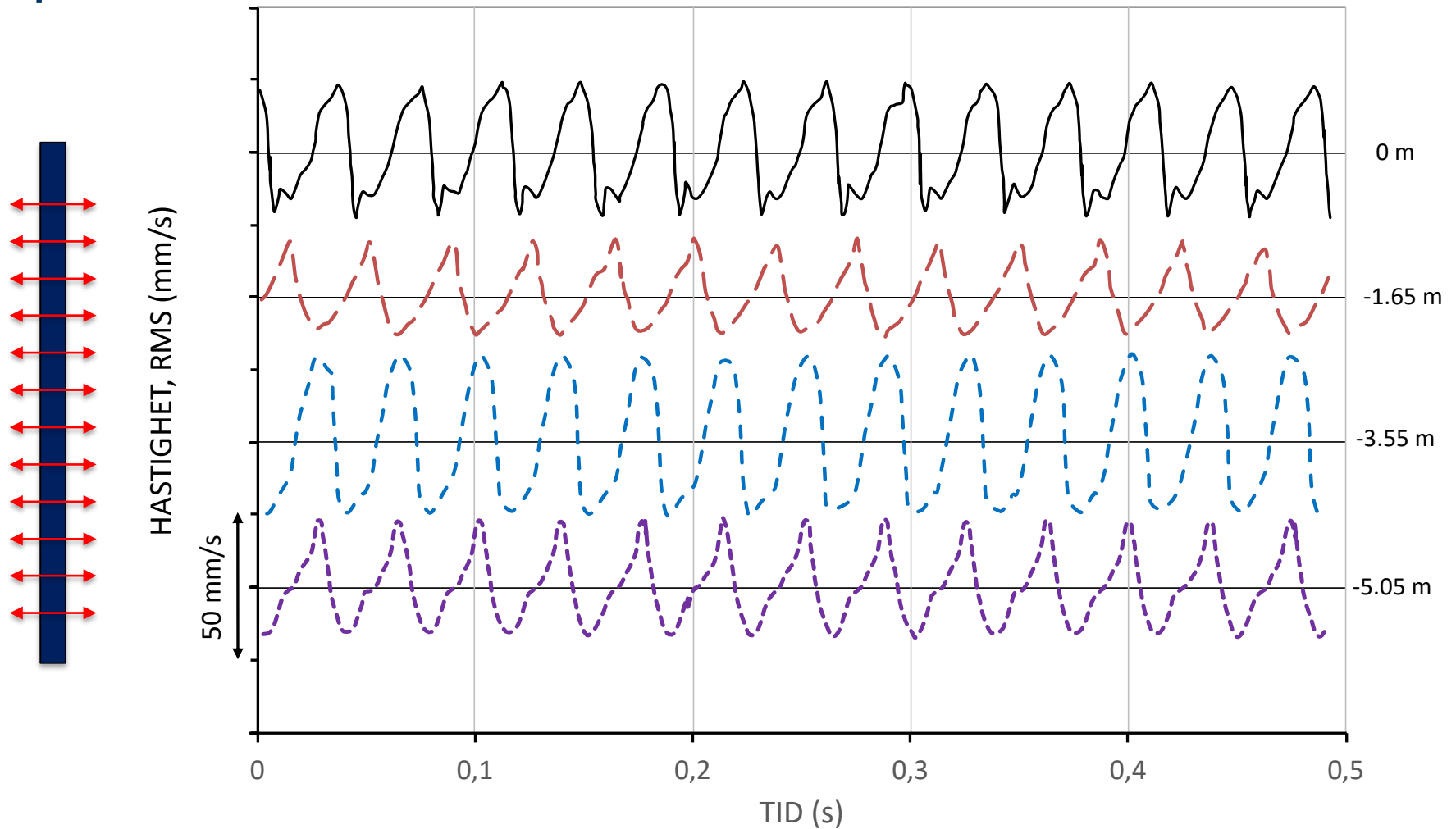


Mätning av vid packning

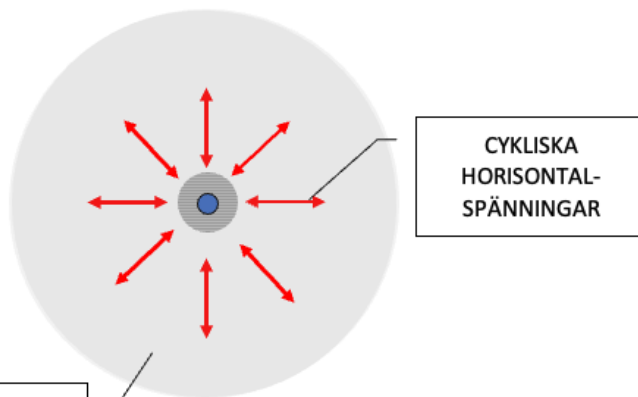
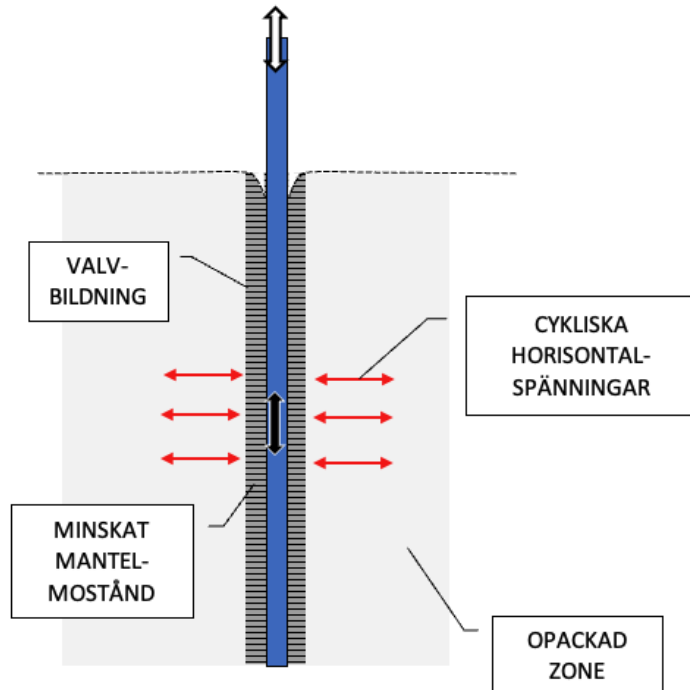
horisontella vibrationer av sand



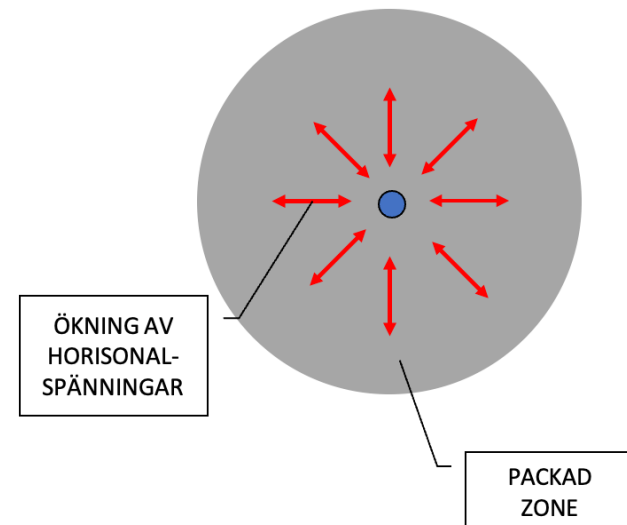
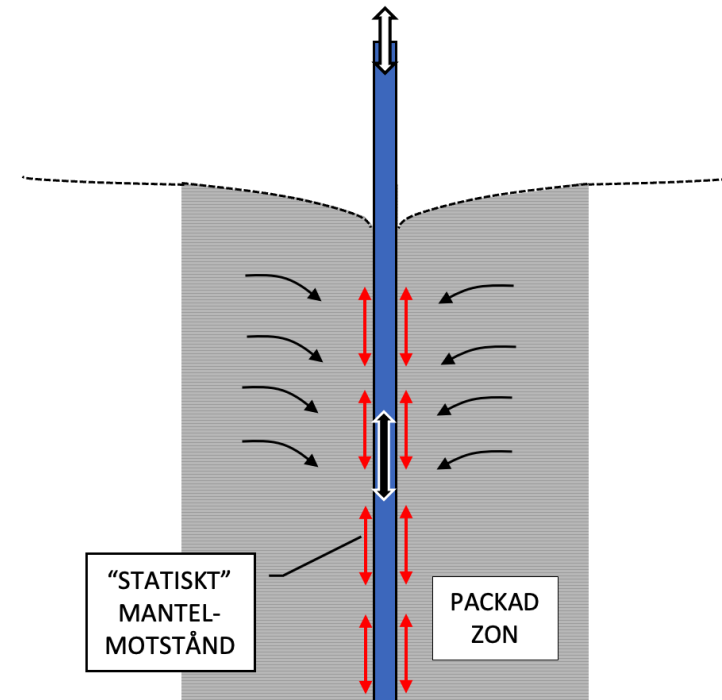
Horizontalsvängning i sand vid vibrering



HÖG FREKVENNS



RESONANSFREKVENNS



Slutsatser

- Vibrering starkt beroende av **kunnig fältpersonal**.
- **Excentriskt moment** en viktig parameter.
- Zentrifugalkraften är **frekvensberoende**.
- Förskjutningsamplituden är **frekvensoberoende**.
- Vid **systemresonans** ökar markvibrationer och pålsjunkningen minskar.
- Vid hög frekvens utbildar sig **valvspänningar kring pålen**.
- **Öka pålens bärförmåga**: avsluta med låg frekvens och låg amplitud.
- **Minska omgivningspåverkan** - undvik resonans.

Framstående svenska ingenjörer inom vibreringsområdet





FREKVENSVARIABEL
VIBRATOR



FLEXIBELT
PACKNINGSDON

RESONANSPACKNING

ANPASSNING AV VIBRERINGS- FREKVENNS TILL PACKNINGSPROCESSEN



PACKNINGSDON

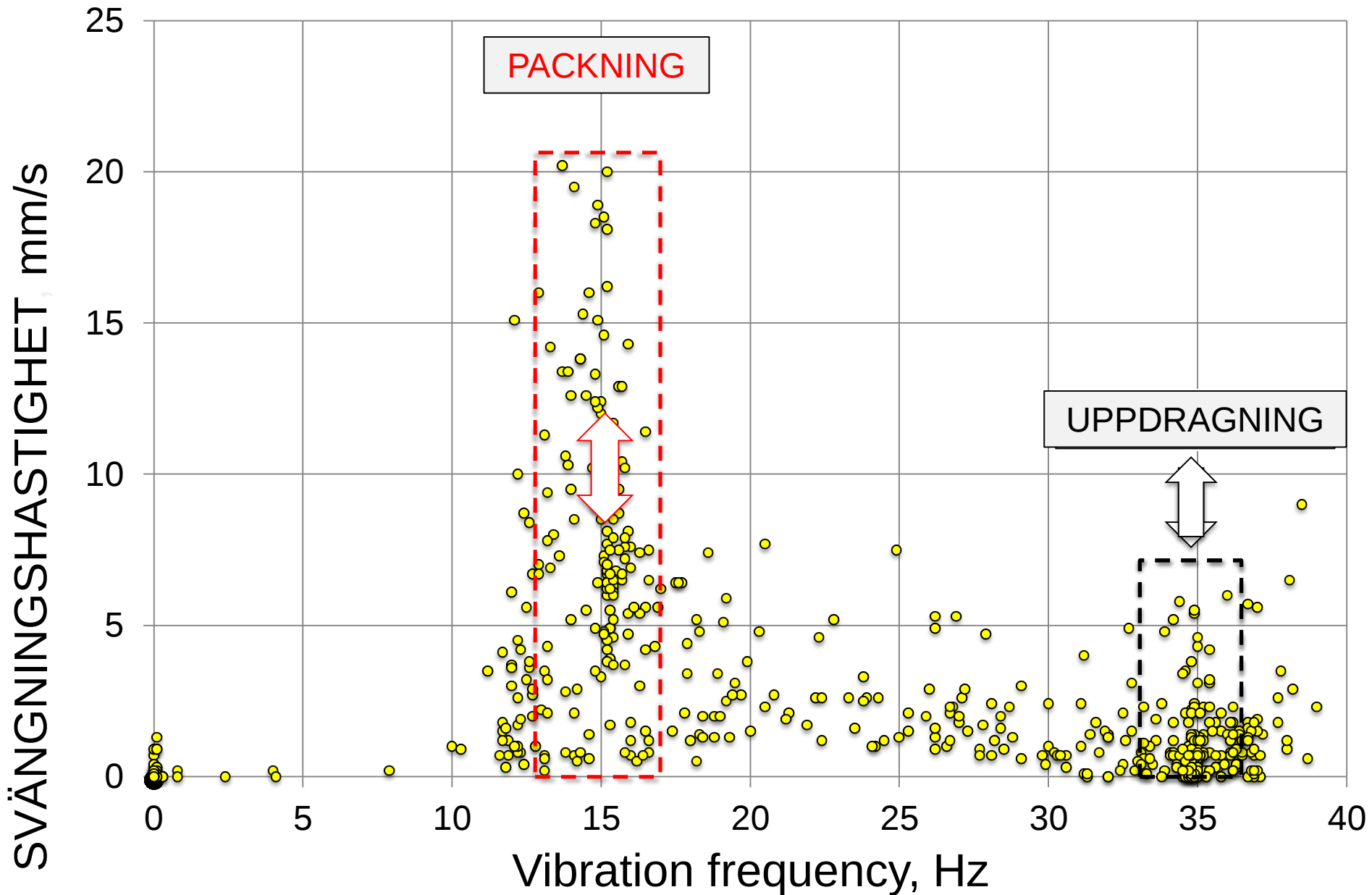


GEOFON

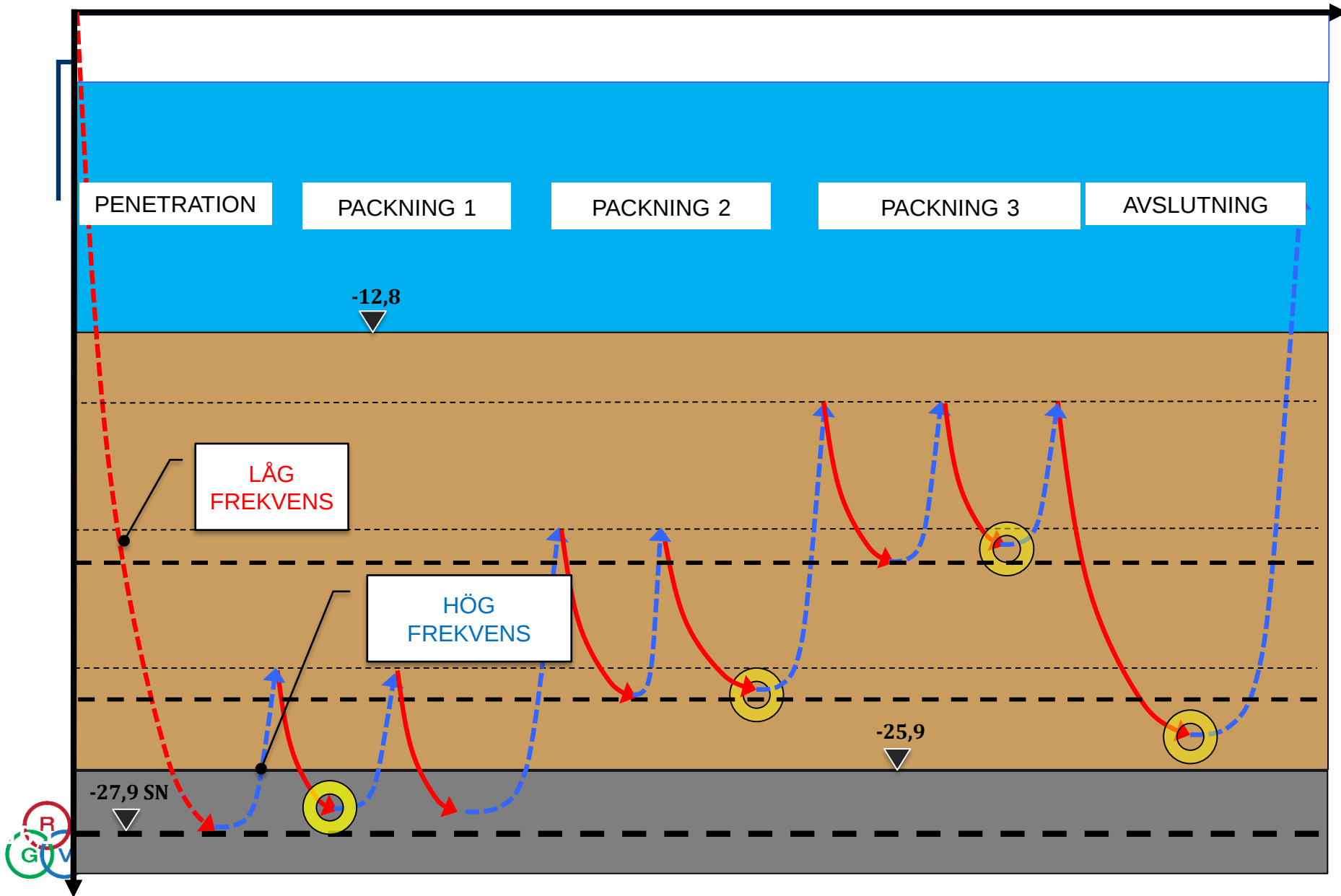
ELEKTRONISK STYRNING OCH PACKNINGSKONTORLL



BETYDELSE AV VIBRATIONSFREKVENSEN



PACKNINGSFÖRFARANDE



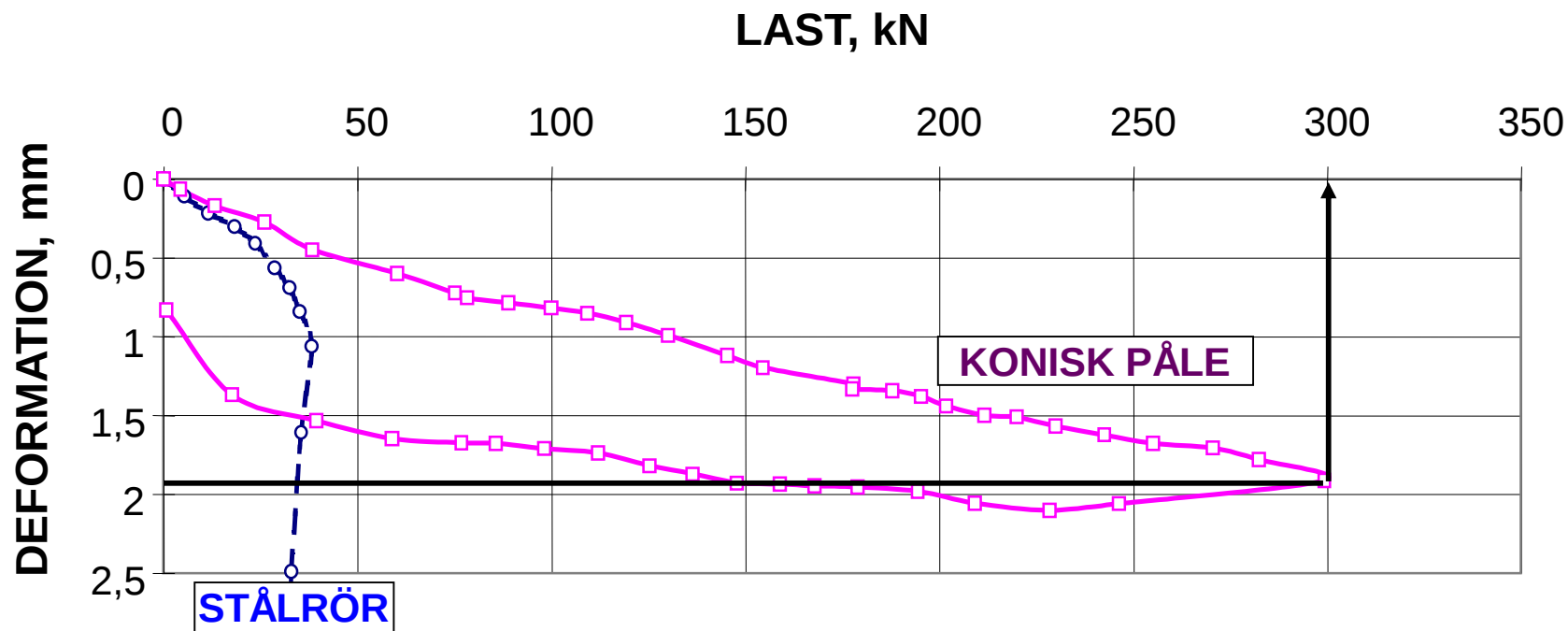
Vibrationsdrivning av konisk betongpåle



Alternativ till stenpelare i mycket lost sand med torvskikt



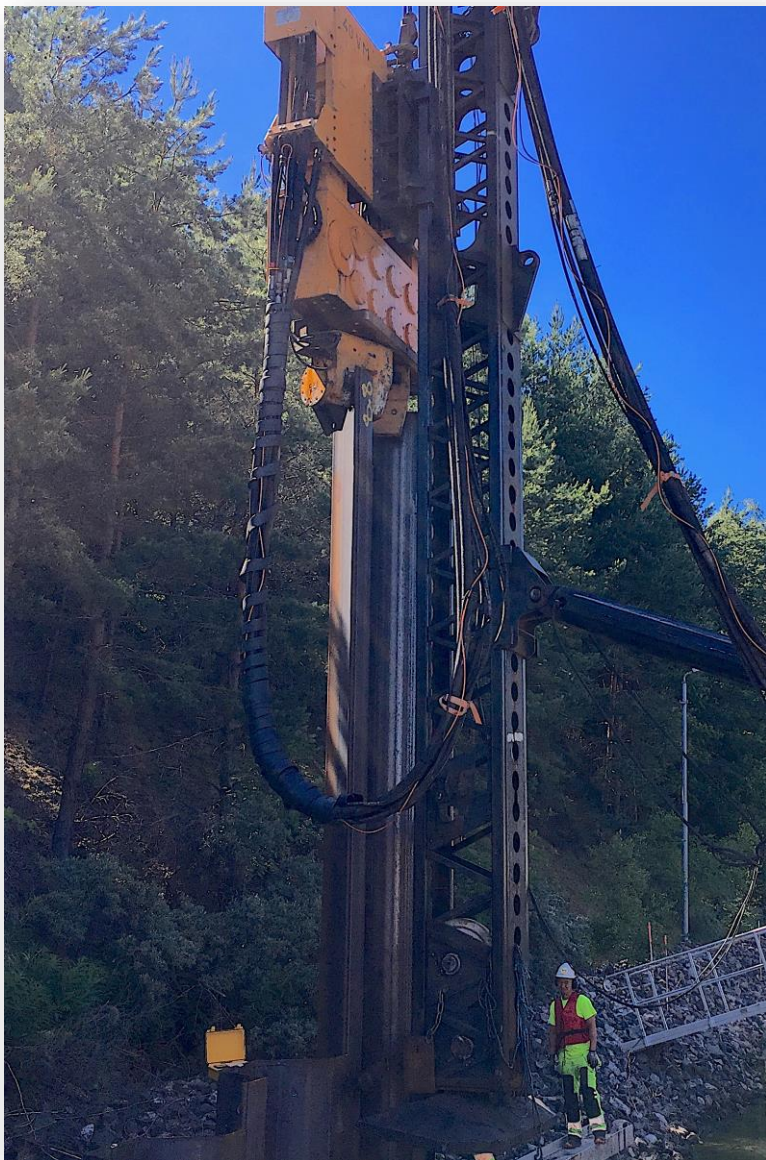
Provbelastning av konisk betongpåle och stålrörspåle



Vibreringsförsök Södertälje kanal



Vibratoregenskaper



Benämning	Mätvärde	Storhet
Dynamisk massa utan gripklo	4300	kg
Dynamisk massa med gripklo	6900	kg
Excentriskt moment	0 – 40	kgm
Max. centrifugalkraft	0 – 1775	kN
Max. frekvens	39	Hz
Max. svängnings-amplitud utan gripklo	19	mm
Max. svängnings-amplitud med gripklo	11,6	mm
Max. hydrauliskt tryck	35	MPa

Vibrationsdrivning med MPCS



Sheet ID:

04 / 24 / 2018 10:40:47 AM

Depth: -7.32m

Speed: 0cm/min

Max Depth: -7.32m

Hydr. Pressure 250bar

0 100 200 300 400

Frequency 32.2Hz

0.0 10.0 20.0 30.0 40.0 50.0

Amplitude 14.5mm

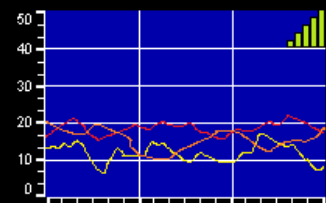
0.0 10.0 20.0 30.0 40.0 50.0

ZFF 1760kN

0 440 880 1320 1760 2200

Acceleration 5.2g

0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0

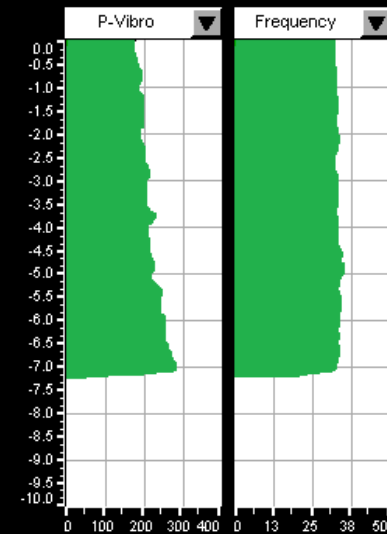


X 10.1mm/sec

Y 8.5mm/sec

Z 11.9mm/sec

0.0 4.0 8.0 12.0 16.0 20.0



Sheet ID:

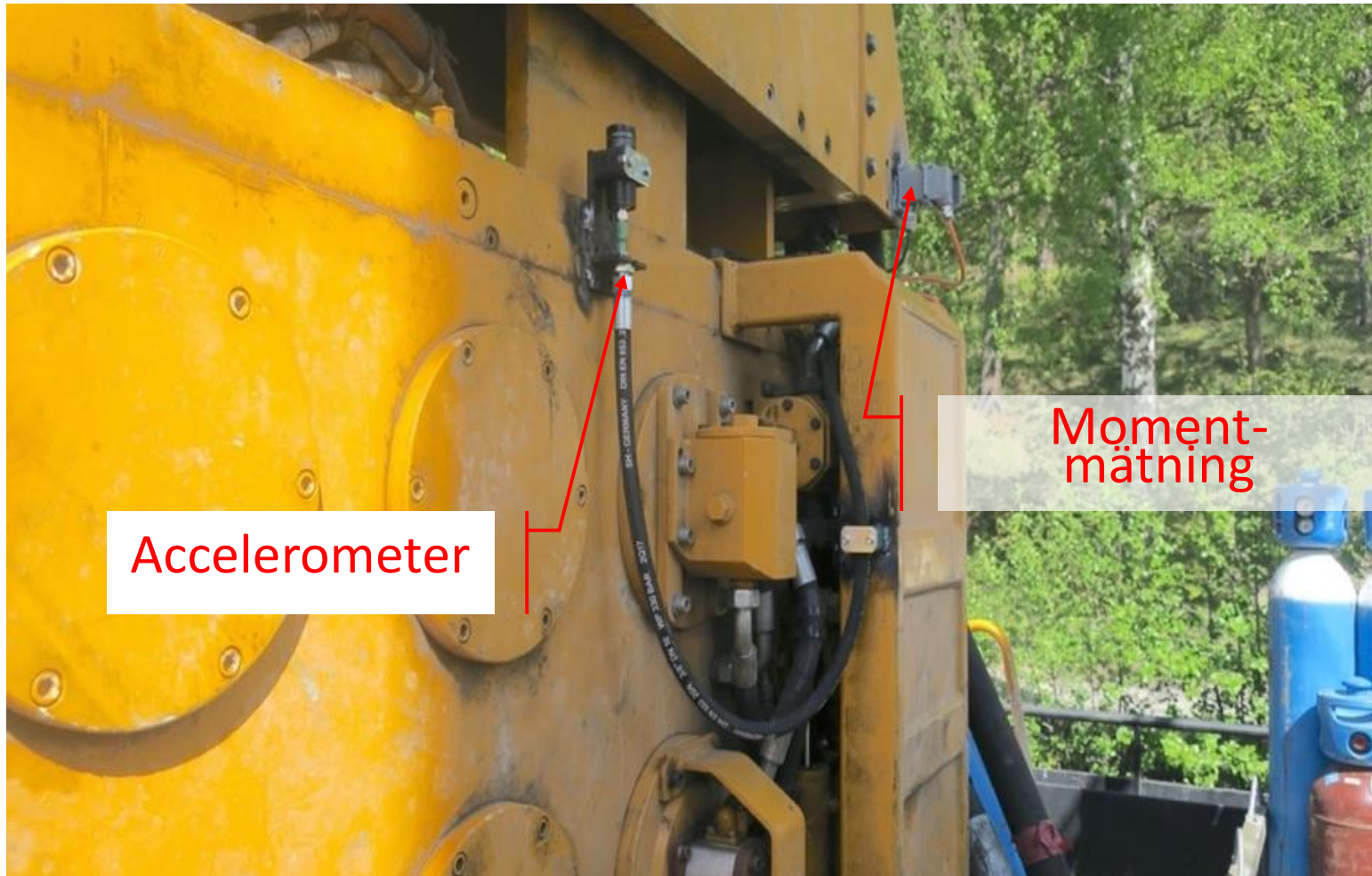
Please enter or change Sheet ID !

No errors / Sensors ok

Free Memory: 1650.4 MB

Main menu

Instrumentering på frekvens-variable vibrator



Mätning av markvibrationer intill spont



