

Markvibrationer vid vibrodrivning av spont – erfarenheter från ett fältförsök i Västerås

Inledning

Det pågår många bygg- och infrastrukturprojekt i stadsmiljö som kräver djupa schakter i närheten av befintliga byggnader och konstruktioner. Dessa projekt kräver i många fall stödkonstruktioner och närheten till bebyggelsen ställer krav på skonsamhet vid schaktning och spontning. Idag används vanligen vibrodriven spont som oftast är mest kostnadseffektivt. Installation genom vibrodrivning kan dock ge upphov till skadliga markvibrationer. Kunskapsläget om markvibrationer vid installation av spont är fortfarande relativt begränsat. Därför finns det ett stort behov av mätningar från verkligen.

Kunskapen om överföring av vibrationer från drivutrustningen till sponten och vidare till marken har studerats av Deckner (2017). I arbetet framgår att ett flertal faktorer påverkar storleken av markvibrationer. Drivutrustningen är en faktor som entreprenören kan styra i samband med installation för att minska markvibrationer. Drivutrustningen och dess inställningar är därför mycket viktiga för att minska skador, obehag och stillestånd.

Denna artikel beskriver ett fältförsök som utfördes 2019 i Västerås och presenterades som ett examensarbete vid Technical University Munich, se Kriege (2019). Fältförsöket är en del i ett större forskningsprojekt med syfte att ta fram praktiska råd för att minimera markvibrationer i samband med spontinstallation. Forskningsprojektet är ett samarbete mellan Trafikverket och Byggbranschen. Forskningsprojektet finansieras av Trafikverket genom Branschsamverkan i Grunden (BiG) och Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF).



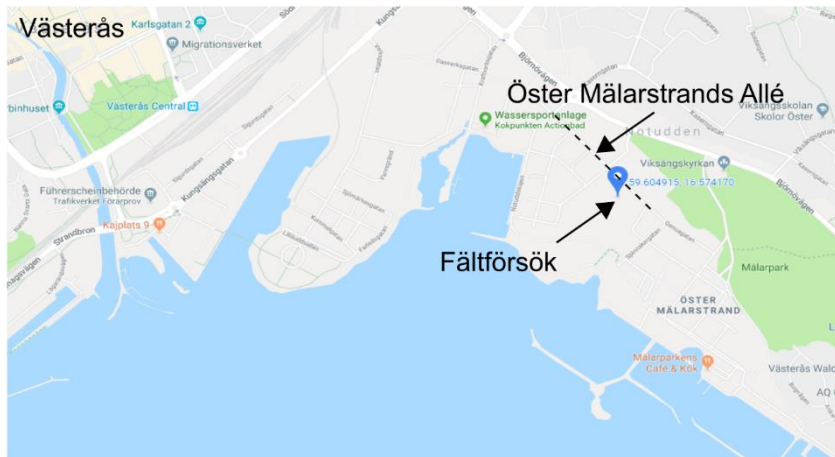
INGRESSBILD. Vid fältförsöket i Västerås 2019 användes en grävmaskinsmonterad vibrator.

Fältförsöket vid Västerås gav nya insikter om vibrodrivning av spont

I maj 2019 utfördes ett fältförsök vid Östra Mälarstrands Allé i Västerås i samband med

utbyggnaden av ett nytt bostadsområde. Området är ett tidigare industriområde som nu omvandlas till ett bostadsområde, se Figur 1.

Vid fältförsöket installerades sponten med en grävmaskinsmonterad vibrator. Denna typ av vibrator används ofta i tätbebyggda områden. Syftet med fältförsöket var att studera hur sättet att greppa spontplankan påverkar uppkomsten av markvibrationer.

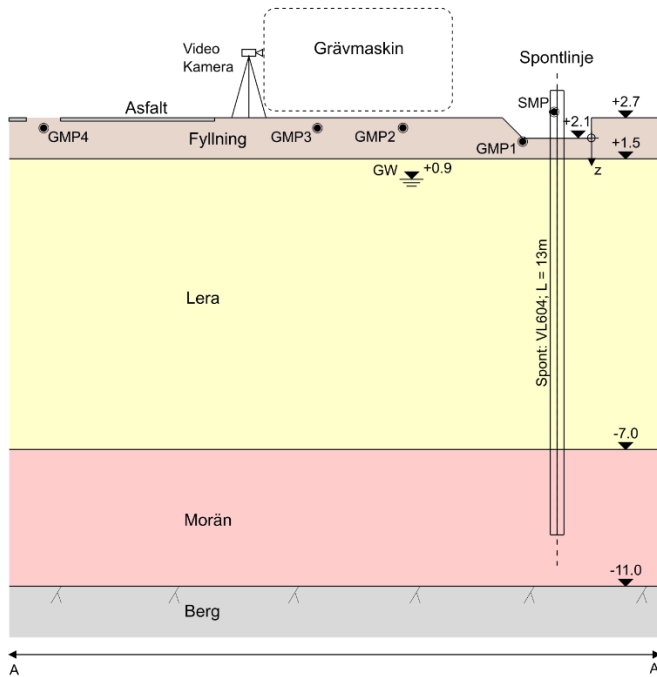


Figur 1: Fältförsöket utfördes vid Östra Mälarstrands Allé i Västerås i samband med utbyggnaden av ett nytt bostadsområde.

Jordlagerföljden är typisk för Mälardalsområdet

Jordlagerföljden i området består av fyllning på lera som överlagrar friktionsjord på berg, se Figur 2. I figuren framgår även placering av accelerometrar för den instrumentering som användes.

Fyllningen har en mäktighet av 1–1,5 m och består av sand och grus med inslag av trärester, slagg och kol. Leran har en mäktighet av 7–11 m och klassificeras som varvig lera med visst sulfidinnehåll. Lerans odränerade skjuvhållfasthet är ca 10 kPa på 2 meters djup och ökar sedan med 1,4 kPa/m mot djupet. Leran har en sensitivitet mellan 26–29. Friktionsjorden består av morän och har en mäktighet av ca 4 m. I den geotekniska undersökningen rapporteras om förekomst av block i moränen. Berget ligger ca 14 m under markytan. Grundvattnets trycknivå är belägen ca 2 m under markytan.



Figur 2. Jordlagerföljden i området och placering av accelerometrar (GMP1-4), spontlinje och grävmaskinen vid fältförsöket.

Vibratoren är monterad på en grävmaskin

Vid fältförsöket användes en grävmaskin av modell Hitachi ZX350-3 och en vibrator av modell Movax SPH-80. Utrustningen framgår av Figur 3. Vibratoren har möjlighet att hålla i sponten på två olika sätt, dels från sidan av plankan dels ovanifrån i överkant, se Figur 4. I båda fallen greppas plankan i livet med hydrauliska griplor.

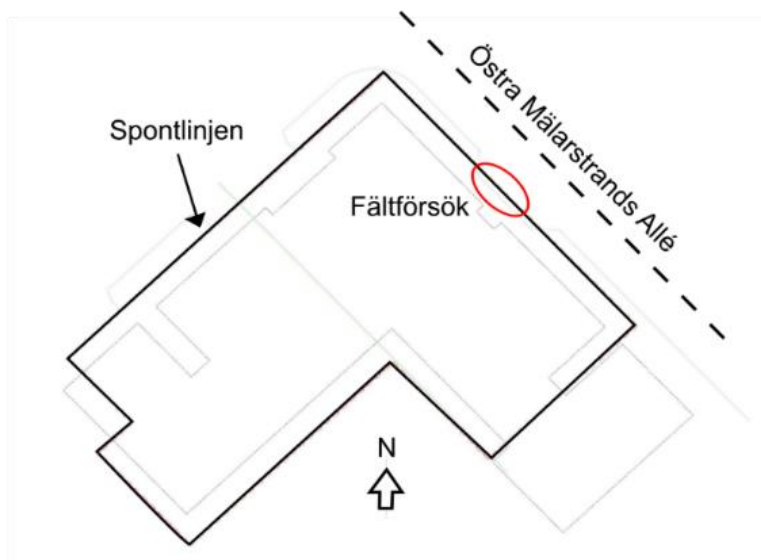
Vibratoren av typ Movax SPH-80 använder en speciell vibrationsteknik som kallas ”directional driving”. För den intresserade läsaren finns en beskrivning av denna teknik i Viking (2006). Vibratoren genererar en periodisk vibration som resulterar i två huvudfrekvenser med ungefär 30 Hz och 60 Hz.



Figur 3. Bilden visar hur den grävmaskinsmonterade vibratorn greppar plankan i livet från sidan med hydrauliska griplor.

Mätningar utfördes på sex spontplankor

Sponten som användes vid fältförsöket var av typ VL 604 och spontplankorna var ca 13 m långa. Plankorna drevs på den nordöstra sidan av arbetsplatsen. Läget i plan framgår av Figur 4.

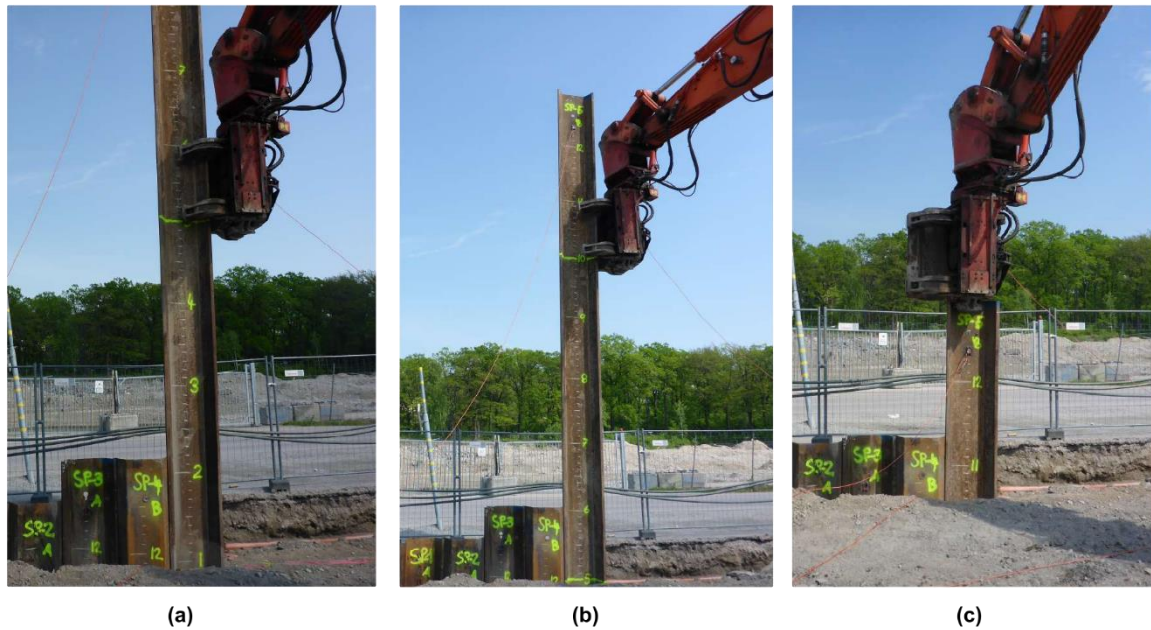


Figur 4. Läget i plan för de plankor som drevs vid fältförsöket är markerat med rött.

För att analysera hur sättet att greppa sponten vid drivningen påverkar uppkomsten av markvibrationer användes två olika greppsekvenser.

- I set-up A greppas sponten från sidan fyra gånger, varje 2,5 m.
- I set-up B greppas sponten från sidan två gånger, varje 5,0 m.

För både set-up A och set-up B så greppas spontplankan på slutet av drivningen från toppen, se Figur 5c. De tre första spontplankorna (SP1, SP2 och SP3) drevs med set-up A och de tre resterande spontplankorna (SP4, SP5 och SP6) drevs med set-up B. I Figur 5 visas drivning av spontplanka SP5 med set-up B. Samtliga spontplankor drevs i lås mot en redan installerad spontplanka.

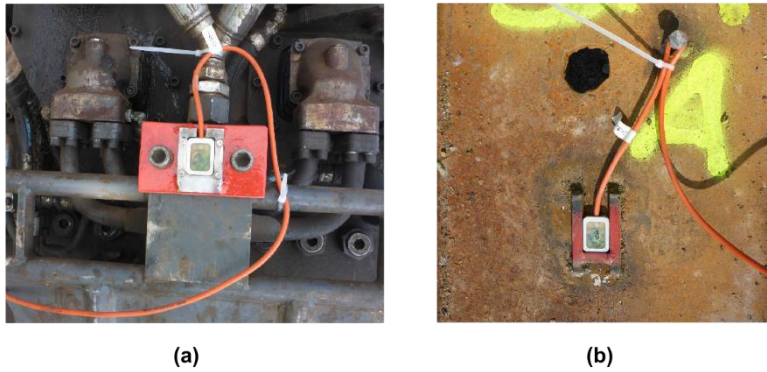


Figur 5. Bilderna visar drivning av spontplanka SP5 med set-up B. I (a) greppas plankan på 5 m, i (b) greppas plankan på 10 m och i (c) greppas plankan från toppen.

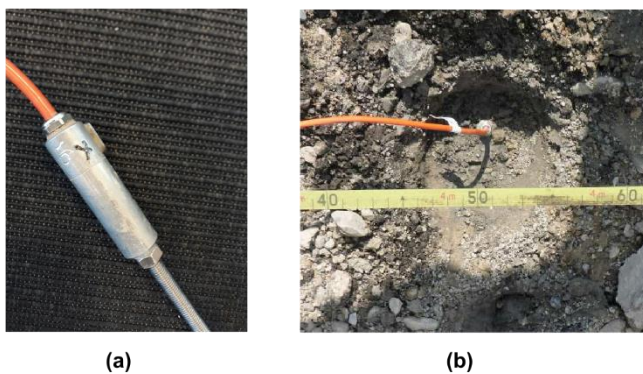
Vibrationer vid spontdrivningen mättes med accelerometrar

Instrumentering som användes för att analysera storlek på genererade markvibrationer utvecklades i samband med doktorsarbetet vid KTH Jord- och Bergmekanik, se Deckner (2017). Instrumentering även använts vid tre examensarbeten av Guillemet (2013), Daniels & Lovén (2014) och Tsegay (2018).

För att kunna mäta vibrationer i samband med drivningen så användes accelerometrar. Dessa fästes på vibratorn, på tre spontplankor samt i marken på fyra olika avstånd från spontlinjen. Figur 6 visar givare monterad på vibratorn och givare monterad på spont. Figur 7 visar accelerometer för placering i jorden.

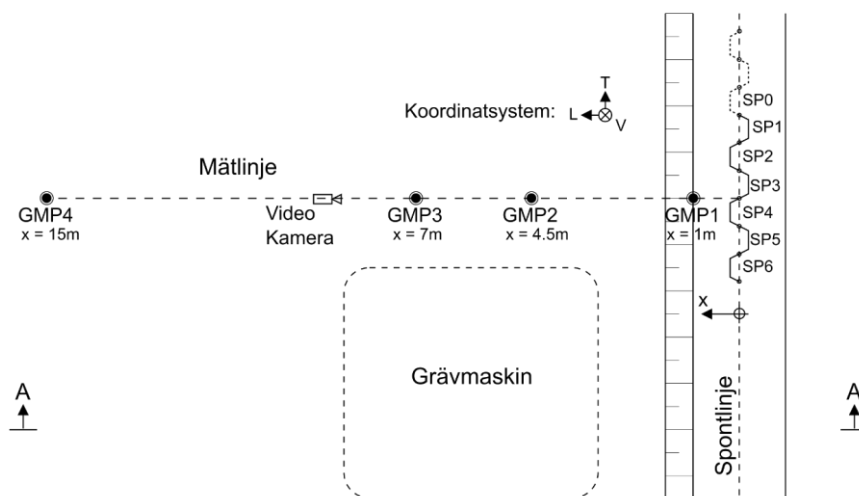


Figur 6. Accelerometer för vibrator och spont. Placering på vibratorm (a) och placering på spont (b).



Figur 7. Accelerometrar för placering i jorden (a). Placering i jorden för GMP2 (b).

De tre spontplankor som instrumenterades vid detta fältförsök var SP1, SP3 och SP5. Accelerometrar på sponten placerades ca 0,6 m från spontens överkant. Accelerometrarna i marken placerades på 1 m, 4,5 m, 7 m och 15 m från spontlinjen, se Figur 8. Resultatet från mätningarna presenteras i tre riktningar (V = vertikalt, L = vinkelrätt mot spontlinjen och T = parallellt med spontlinjen), se Figur 8.



Figur 8. Placering av de fyra givarna i plan; 1 m, 4,5 m, 7 m samt 15 m från spontlinjen.

Geotekniska förhållanden påverkar storleken av markvibrationer

I lera kan det konstateras att markvibrationer inte nödvändigtvis ökar med en ökad vibration av spontplankan. Detta är något som syns i såväl fältförsöket i Västerås som i den numeriska modellering som presenterats i Deckner et al. (2019). I fältförsöket är vibrationer på sponten större vid installation av SP1 än vid installation av SP5 och SP6. Ändå är vibrationerna i jorden av samma magnitud vid drivning av alla tre spontplankorna. Förklaringen till den reducerade överföringen av vibrationer från spont till jord kan troligen hittas i lerans relativt höga sensitivitet. Vibrationer på sponten minskar lerans styvhet i närheten av sponten, vilket resulterar i en minskad kapacitet att överföra vibrationer från sponten till jorden.

Vibrationsmätningar visar att markvibrationsnivån ökar när spontfoten penetrerat det fastare jordlagret. Vid ett tidigare fältförsök i Uppsala som utfördes i samband med ett examensarbete av Tsegay (2018) visade vibrationsmätningarna att spontdrivning i sand resulterar i betydligt större markvibrationer än spontdrivning i lera. Sambandet mellan jordens motstånd och nivån på markvibrationerna framgår också från vibrationsmätningar utfört av Guillemet (2013) där vibrationsnivån ökade när spontfoten penetrerade moränen. För installation av SP6 i fältförsöket i Västerås finns indikationer att markvibrationer ökar när spontfoten når moränlagret.

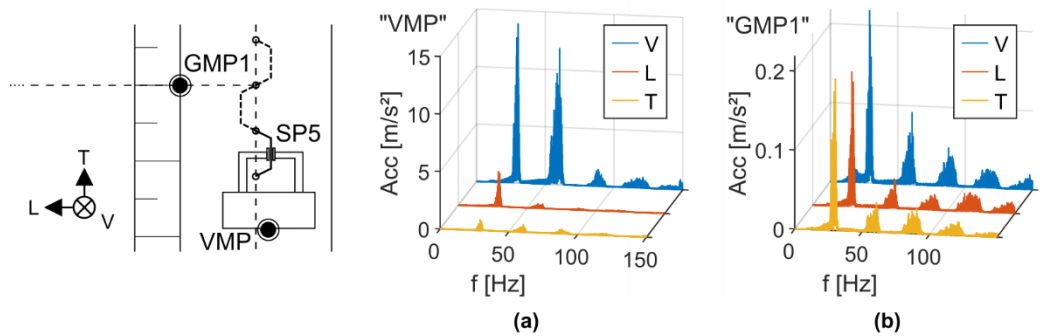
Optimalt inställda vibratorer minskar storleken på markvibrationer

De två viktigaste parametrarna i en vibrator som kan justeras av entreprenören på arbetsplatsen är det excentriska momentet och vibratorns drivfrekvens.

Påverkan av det excentriska momentet studerades i fältförsöket av Tsegay (2018) i Uppsala. Utvärderingen av vibrationsmätningen visade att drivning med ett högt excentriskt moment (amplitud) minskar uppkomsten av markvibrationer. Ett högt excentriskt moment har dessutom resulterat i en högre installationshastighet.

Studier av vibrationsfrekvensen har visat att det är fördelaktigt att använda en så hög frekvens som möjligt vid drivning, se Deckner (2017). Detta ska göras för att undvika risk för resonansproblem i jorden, byggnader eller i andra strukturer. Mätningar från fältförsöket i Västerås indikerar att en vibration med en högre drivfrekvens (i fältförsök ca. 60 Hz) överför lägre vibrationer från sponten till jorden och avtar snabbare med ökat avstånd från spontlinjen jämfört med vibration med en lägre drivfrekvens (i fältförsök ca. 30 Hz), se Figur 9.

För att minimera markvibrationer rekommenderas en så kallad resonansfri vibrator som ger möjlighet att kontrollera både excentriskt moment och vibratorns drivfrekvens. Detta ger en så skonsam spontinstallation som möjligt, såväl under drivning som under uppstart och avstängning av maskinen.

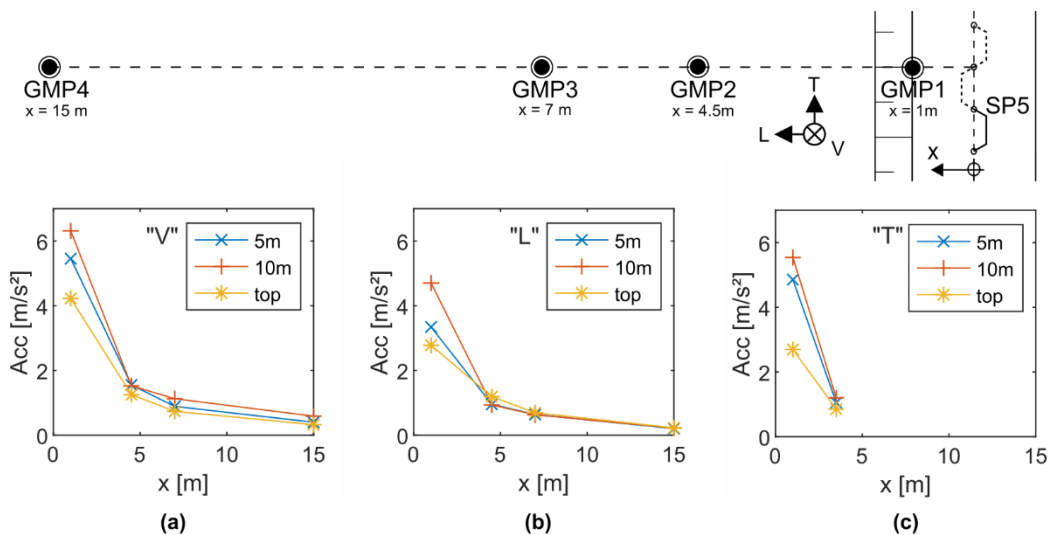


Figur 9. Frekvensanalys av vibrationer på vibratorn (a) och i jorden i GMP1 (b) vid installation av spontplanka SP5.

Markvibrationer avtar snabbt med avståndet från sponten

I fältförsöket i Västerås greppas sponten med den grävmaskinsmonterade vibron från sidan och från toppen. För drivning från toppen mäts något lägre markvibrationer samtidigt som drivningen sker mer kontrollerat än för grepp från sidan.

I Figur 10 syns att i närheten av sponten är vibrationerna mindre när sponten greppas från toppen. Vid ökande avstånd från spontlinjen utjämnas skillnaden i vibrationsnivå i samband med att vibrationer snabbt avtar. Att vibrationer avtar snabbt med avståndet från spontlinjen visade samtliga tidigare fältförsök som utfördes, vilket beskrivs i t.ex. Guillemet et al. (2014).



Figur 10. Markaccelerationer med avstånd från spontlinjen för installation av spont SP5 i riktning (a) V, (b) L och (c) T (mätningar bara för GMP1-2).

Svårigheter att installera spont i lös lera

När man driver spont i lös lera så styrs motståndet vid drivning främst av låsfraktion. Vid fältförsöket i Västerås så uppstod problem med att intelligande spontplanka börjar sjunka innan den drivna spontplankan börjar röra sig nedåt vid installationen av spontplankorna SP1-SP4. Detta problem kan kopplas till den sneda position som grävmaskinen hade mot den

drivna sponten, pga att placering av givarna hindrade placering av maskinen vinkelrätt mot den installerade spontväggen, se Figur 8. Denna placering gav föraren mindre kontroll över storleken på lutningen av spontplankan under spontinstallationen vilket ökade låsfriktionen. Dessutom har en grävmaskinsmonterad vibro som greppar sponten från sidan en ytterligare excentricitet att beakta jämfört med en gejdermonterad vibrator. Detta ger upphov till större låsfriktion.

Låsfriktion påverkar både möjligheten att få ner en spontplanka samt drivningshastigheten. Dock råder fortfarande osäkerhet kring låsfriktionens påverkan på storleken på uppkomna markvibrationer. Vid fältförsöket syns ingen märkbar skillnad i markvibrationernas storlek mellan de fall där låsfriktionen var stor jämfört med de fall där låsfriktionen var lägre.

Men då en ökad låsfriktion minskar drivningshastigheten och således ökar tiden som markvibrationer pågår finns fördelar med att minska låsfriktionen. En minskad låsfriktion kan uppnås genom att använda spontplankor med oskadade och rena lås samt noggrannhet rörande vinkelavvikelse mellan installerad spont och den spontplanka som drivs.

Åtgärder för att reducera markvibrationer

Utifrån den forskning om markvibrationer vid vibrodrivning av spont som utförts under mer än tio år på avd. jord- och bergmekanik vid KTH så presenteras en rad åtgärder som kan göras för att reducera storlek och inverkan av markvibrationer vid vibrodrivning av spont. Dessa kan sammanfattas i följande åtgärdsförslag som delas upp i fyra områden:

- Utrustning
 - Driv med ett högt excentriskt moment
 - Driv med hög frekvens
 - Använd en resonansfri vibrator
- Spont
 - Använd oskadade lås
 - Använd rena lås
 - Kontrollera riktningen
- Geoteknik
 - Undersök fyllningslager
 - Undersök friktionsjordens lagringstäthet
 - Kontrollera förekomst av block
 - Bestäm bergnivån
- Operatör
 - Grundutbildning
 - Erfarenhet
 - Löpande utbildning

Referenser

- Deckner (2017): 'Vibration transfer process during vibratory sheet pile driving – from source to soil'. PhD thesis. KTH Royal Institute of Technology, Department of Civil, Architectural Engineering, Division of Soil, and Rock Mechanics.
- Deckner, Viking, Hintze, and Johansson (2019): 'Major vibration source during vibratory sheet pile driving – shaft versus toe'. In: Proceedings of the 17th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.

- Guillemet (2013): 'Pile – Soil Interaction during Vibratory Sheet Pile Driving: a Full Scale Field Study'. M.Sc. thesis. KTH Royal Institute of Technology, Department of Civil, Architectural Engineering, Division of Soil, and Rock Mechanics.
- Guillemet, Deckner, Viking, and Hintze (2014): 'Nytt fältförsök visar en kraftigt minskad omgivningspåverkan närmast spanten'. Bygg & teknik 1/14, s. 25–30.
- Daniels & Lovén (2014): 'Differences in ground vibrations generated from installation of bored and vibrated retaining walls - A field study'. M.Sc. thesis. KTH Royal Institute of Technology, Department of Civil, Architectural Engineering, Division of Soil, and Rock Mechanics.
- Kriege (2019): 'Minimization of ground vibrations caused by vibratory driven sheet piles: a full-scale field study'. M.Sc. thesis. Technical University Munich (TUM), Centre of Geotechnics, (inte publicerat).
- Tsegay (2018): 'Vibration caused by sheet pile driving – effect of driving equipment'. M.Sc. thesis. KTH Royal Institute of Technology, Department of Civil, Architectural Engineering, Division of Soil, and Rock Mechanics.
- Viking (2006): 'The vibratory pile installation technique' Proceedings of the International Conference on Vibratory Pile Driving and Deep Soil Compaction, s. 65-82.