



**KTH Architecture and
the Built Environment**

Överföring av vibrationer i samband med vibrodrivning av spont – från källa till jord

Fanny Deckner

*Svensk sammanfattning av doktorsavhandling "Vibration transfer process during vibratory
sheet pile driving – from source to soil"*

KTH Royal Institute of Technology
Stockholm 2017

INTRODUKTION

Stödkonstruktioner är en nödvändighet i många byggprojekt i tätbebyggda områden. Vibrodriven spont är en kostnadseffektiv stödkonstruktion och i framtiden kommer den fortsatta användningen av denna metod att vara nödvändig för att minimera kostnader för byggprojekt. Vibrodriven spont är dock en källa till markvibrationer, som kan skada byggnader eller orsaka störningar. De flesta byggprojekt måste förhålla sig till strikta krav gällande vibrationsnivåer. Om risken att överstiga vibrationsnivåerna anses för hög är entreprenörerna hänvisade till andra, mer kostsamma och tidskrävande, stödkonstruktioner. Möjligheten att på ett tillförlitligt sätt förutsäga vibrationsnivåerna innan bygget startar är därför av största vikt om vibrodriven spont fortsatt ska kunna användas i tätbebyggda områden. Tillförlitlig prognos av vibrationsnivåer i samband med vibrodrivning av spont kräver god kännedom om vibrationsöverföringsprocessen, från källan till det potentiella skadeobjektet.

Det huvudsakliga syftet med denna avhandling är att öka kunskapen och förståelsen för överföringen av vibrationer i samband med vibrodrivning av spont. Avhandlingen syftar också till att fungera som en plattform för framtida utveckling av en tillförlitlig prognosmodell. Målet är att analysera överföringsprocessen, från källa till jord, för att tydliggöra betydelsefulla faktorer och parametrar, som bör inkluderas i en framtida prognosmodell.

För att öka kunskapen och förståelsen inom området vibrationsöverföring i samband med vibrodrivning av spont, startades år 2009 ett forskningsprojekt i samverkan mellan NCC, SBUF och KTH. Först genomfördes en omfattande litteraturstudie, som gav en introduktion till forskningsämnet samt presenterade underliggande teorier. Litteraturstudien pekade på nuvarande kunskapsläge och inom vilka delar fortsatt forskning var nödvändig. Efter det utfördes ett första fältförsök. Kunskapen från det första fältförsöket användes därefter för att utveckla ett mer avancerat instrumenteringssystem, vilket senare användes i två fältförsök. Slutligen togs en numerisk modell fram, baserad på tidigare teorier, erfarenheter från fältförsöken och ny teoriutveckling. Forskningsresultat från projektet har presenterats i sex vetenskapliga artiklar (fyra tidskriftsartiklar samt två konferensbidrag), såväl som i en licentiatavhandling, fyra populärvetenskapliga artiklar samt tre examensarbeten.

I denna sammanfattning presenteras överföringen av vibrationer från källa till jord, det framtagna instrumenteringssystemet och fältförsöken beskrivs kort, och den numeriska modellen presenteras i korthet. Slutligen ges de huvudsakliga slutsatserna.

ÖVERFÖRING AV VIBRATIONER

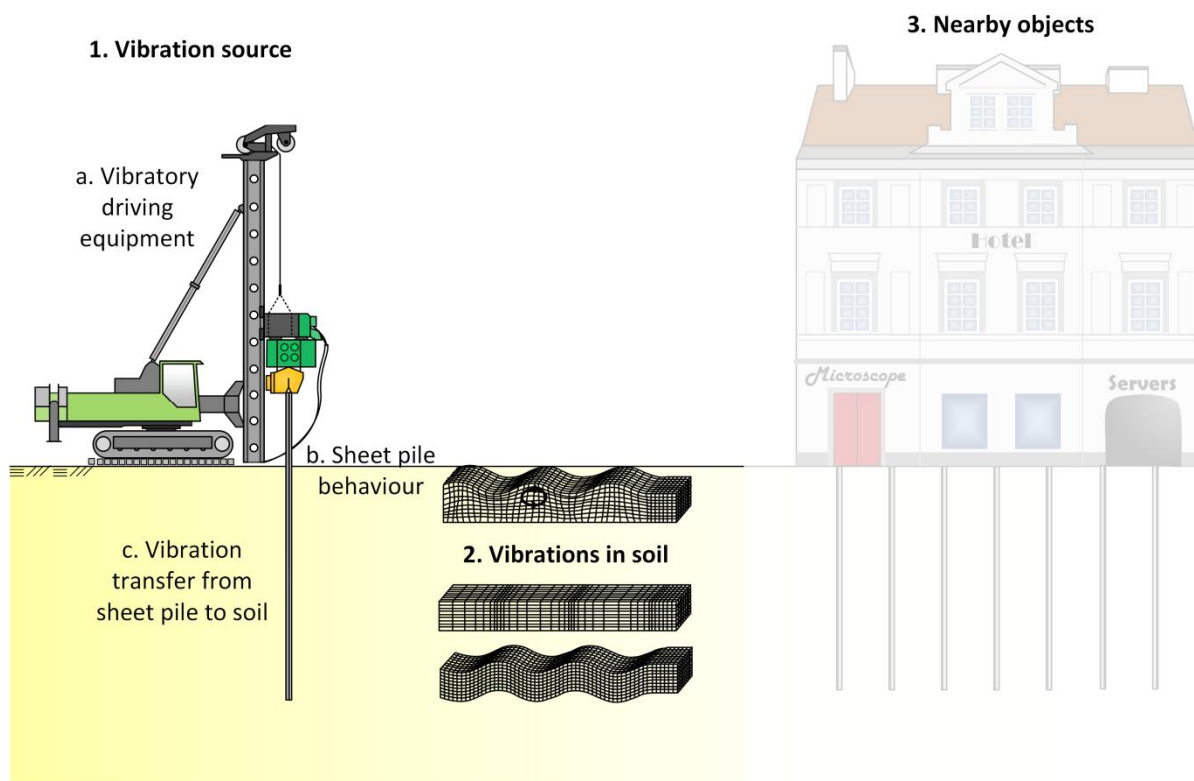
Vibrationsöverföringsprocessen i samband med vibrodrivning av spont delas in i tre huvuddelar; vibrationskällan, vibrationer i jord och närliggande objekt, se figur 1. I denna avhandling studeras de två första.

Vibrationerna som genereras vid källan beror av drivutrustningen, spontens beteende samt överföringen mellan spont och jord (se a, b och c i figur 1). Vid vibrodrivning används en vibrator, utrustad med en kraftig klämma som håller fast i spontens liv (excentrisk

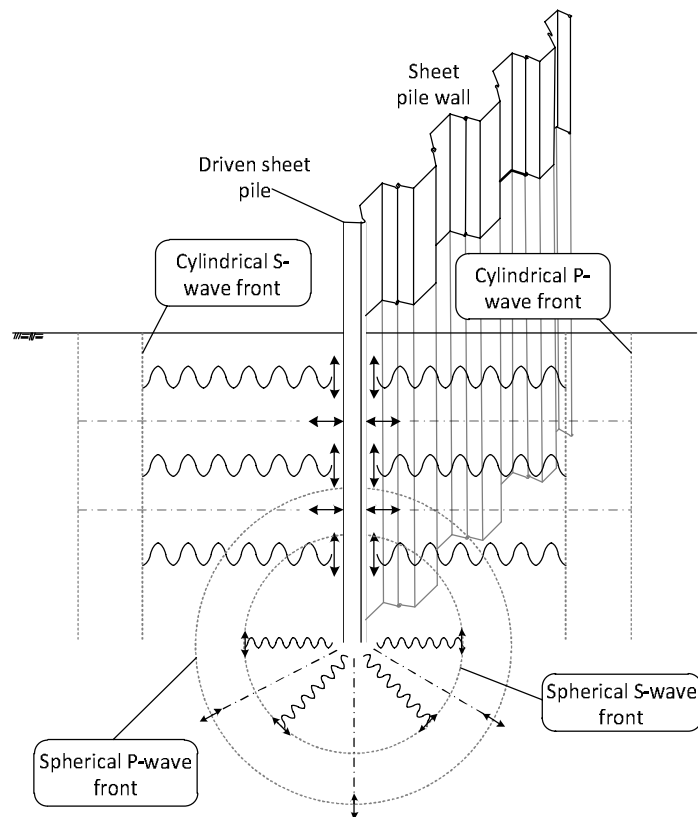
fasthållning). Vibratorn sätter sponten i rörelse och möjliggör neddrivning i jorden. Spontens beteende styrs i huvudsak av dess geometri, den excentriska fasthållningen samt drivfrekvensen. Spontprofilen är en slank konstruktion med liten tvärsnittsarea i förhållande till sin längd, vilket gör att den har lätt för att böja ut under neddrivning. När sponten tränger ner i jorden överförs vibrationer både från manteln och från tån. Glidning längs manteln och stora töjningar ger en låg skjuvmodul och hög dämpning i en zon närmast sponten. Överföringen av vibrationer från spont till jord kontrolleras till stora delar av denna störda zon.

Vibrationerna i jorden karakteriseras av propagerande vågor, det så kallade vågmönstret. Vid neddrivning av spont utgår P- och S-vågor i cylindriska vågfronter utifrån manteln samt i sfäriska vågfronter utifrån tån, se figur 2. S-vågor, eller så kallade skjuvvågor, uppkommer då sponten rör sig i jorden. P-vågor är en typ av tryckvågor som uppstår då sponten trycker undan jorden, längs tån då den trycker sig ner i jorden och längs manteln då den böjer ut i horisontell riktning.

Närmast sponten följer vågmönstret i jorden det i figur 2 redovisade, men i och med att avståndet från sponten ökar så blir vågmönstret mer och mer komplext på grund av interaktion mellan refrakterade och reflekterade vågor. I samband med att P- och S-vågorna når markytan skapas ytvågor, eller närmare bestämt Rayleigh-vågor. Dessa skapas så nära sponten som ca 0,5 m.



Figur 1 Schematisk illustration av vibrationsöverföring i samband med vibrodrivning av spont.

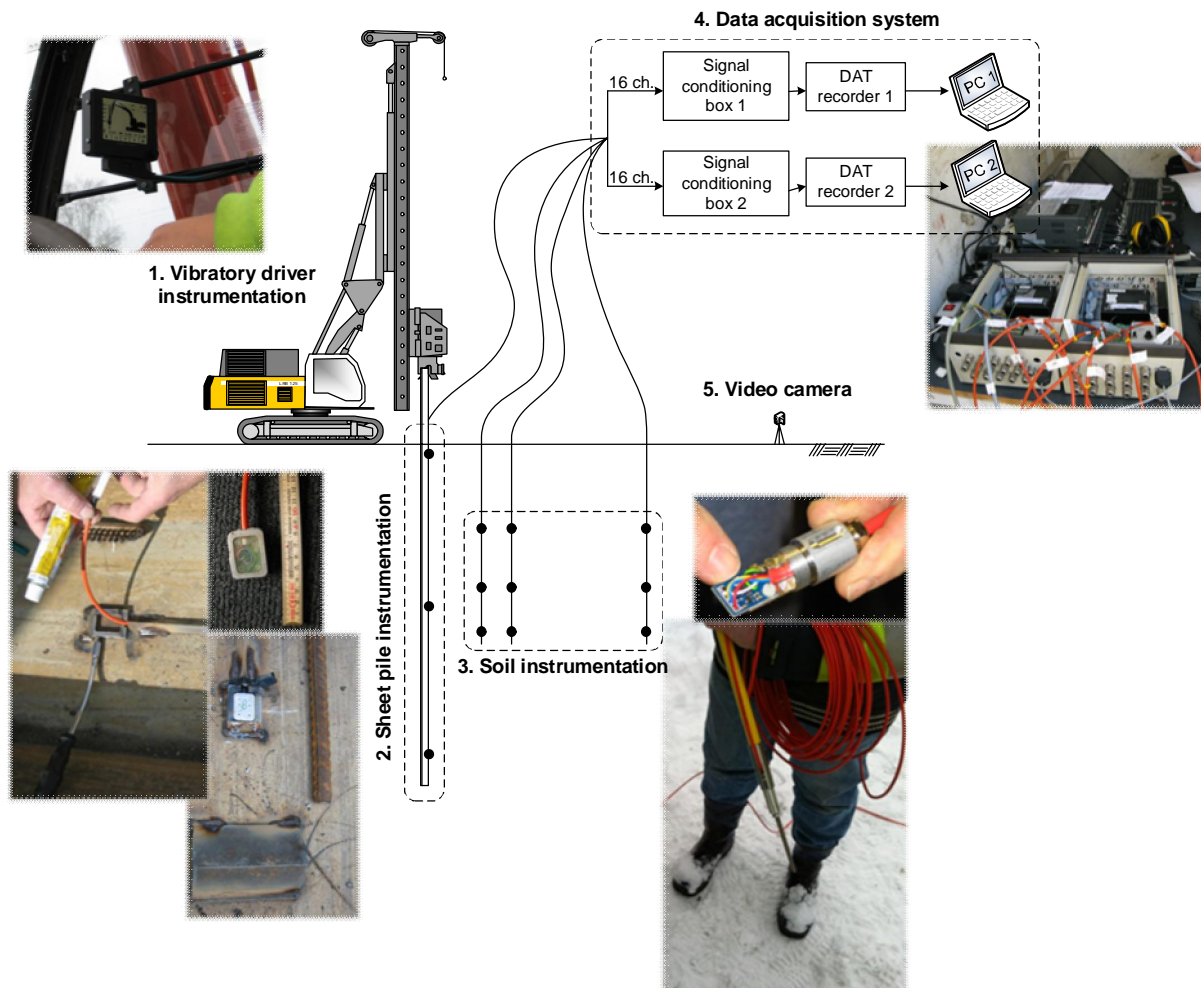


Figur 2 Teoretisk modell för vibrationsöverföring från spont till jord.

Generellt avtar vågornas amplitud med ökande avstånd från källan. Geometrisk dämpning reducerar vibrationsamplituden på grund av att energin sprids över en ökande volym. Materialdämpning reducerar vibrationsamplituden på grund av att en viss del av vibrationsenergin blir till friktionsvärme mellan partiklarna i samband med att vågen propagerar genom materialet. Hysteretisk dämpning är ett bra mått på materialdämpning. Det är ett mått på den energi som förloras i varje vibrationscykel.

INSTRUMENTERINGSSYSTEM OCH FÄLTFÖRSÖK

Inom ramarna för denna avhandling har tre fältförsök utförts och ett nytt instrumenteringssystem har utvecklats. Det nya instrumenteringssystemet användes i två av fältförsöken, och möjliggör mätning av både spontvibrationer och vibrationer på djup i jorden, under hela neddrivningsfasen. Fältförsöken syftade till att studera vibrationsöverföringen mellan spont och jord, vibrationsöverföringen inom en spontvägg samt vågmönstret i jorden under drivning.



Figur 3 Schematisk illustration av instrumenteringssystemet, inklusive foton på delar av utrustningen.

I figur 4 syns en skiss över det utvecklade instrumenteringssystemet. Systemet utvecklades för att möjliggöra mätning av vibrationer på spontprofiler samt i jord och för att underlätta datainsamling från olika mätkällor. Systemet utvecklas tillsammans med Kent Allard och Kent Lindgren. Systemet är uppdelat i fem delar (se figur 3):

1. Instrumentering av drivutrustningen
2. Spontinstrumentering
3. Jordinstrumentering
4. Datainsamlingssystem
5. Videokamera

För behandling av data användes mjukvaran Matlab.

De tre fältförsöken utfördes i Karlstad år 2010, Solna år 2013 och Värtahamnen år 2014. En sammanfattning av de tre fältförsöken återfinns i tabell 1. Tabellen innehåller den huvudsakliga informationen om varje fältförsök.

Tabell 1 Sammanfattning och jämförelse av de tre fältförsök som utförts inom ramarna för denna avhandling.

Fältförsök	Karlstad	Solna	Värtahamnen
Geotekniska förhållanden	fyll – sand (silt) – lera	fyll – lera – morän – berg	fyll – lera – morän – berg
Spontprofil	PU12	Larssen 603	Larssen 604
Spontlängd	12 m	13.8 m and 11 m	12 m
Vibrator	Dieseko 2316VM	Liebherr 1100H	ABI TM 14/17V
Drivfrekvens	28 Hz	35 Hz	36 Hz
Sensortyp	Triaxiella och enaxiella geofoner	Triaxiella accelerometerar	Triaxiella accelerometerar
Antal sensorer på spontplankor	0	9	1
Antal sensorer på djup i marken	0	9	0
Antal sensorer på markytan	3	0	3
Användande av nytt instrumenteringssystem	Nej	Ja	Ja

Tabell 2 Summering av den numeriska modellens huvudsakliga egenskaper

Typ av numerisk modell	FE
Antal dimensioner	3D
Mjukvara	COMSOL Multiphysics®
Typ av lösare	Direct (Pardiso)
Materialmodell	Linjärelastisk (stål and berg) and icke-linjärelastisk – Hyperbolic law (fyll, lera och morän)
Antal DOFs	~ 750 000
Jordprofil	Fyll – Lera – Morän – Berg
Domän	Frekvensdomän (35 Hz)
Meshtyp	Free triangular, free tetrahedral and swept
Töjningsberoende skjuvmodul	Ja
Töjningsberoende materialdämpning	Nej
Typ av materialdämpning	Hysteretisk dämpning (isotropic loss factor)

NUMERISK MODELLERING

För att studera spontens beteende under neddrivning utvecklades en numerisk modell, som också kan fungera som en bas för framtida studier. Modellen utformades för att efterlikna fältförsöket i Solna gällande geotekniska förhållanden, spontegenskaper samt lastförhållanden. Modellen utvecklades i programmet COMSOL Multiphysics®.

Modellens huvudsakliga syfte är att studera spontens beteende under neddrivning, det är därför viktigt att inkludera de delar som anses viktiga för just spontens beteende. Dessa

identifierades att vara spontgeometri, excentrisk placering av lasten samt jordens beteende i den störda zonen närmast sponten.

Modellen är unik såtillvida att den använder sig av verklig spontgeometri, ett excentriskt lastförhållande samt en ekvivalent-linjär jordmodell för att ta hänsyn till töjningsberoende. En summering av de huvudsakliga egenskaperna för modellen är listade i tabell 2.

SLUTSATSER

Denna avhandling beskriver överföringen av vibrationer från källa till jord i samband med vibrodrivning av spont. Fokus är att öka förståelsen för överföringsprocessen samt att fungera som en plattform för framtida utveckling av en tillförlitlig prognosmodell för uppkomna vibrationer.

Från litteraturstudien och de genomförda fältförsöken dras slutsatsen att de faktorer som är mest betydelsefulla för den uppkomna vibrationsnivån i jorden är:

- vibrationer genererade vid källan
- geotekniska förhållanden
- avståndet från källan

I vibrationer genererade vid källan ingår överföring av vibrationer från spont till jord. Fältförsöken och den numeriska modelleringen visade att överföringen av vibrationer från spont till jord kontrolleras till största delen av den störda zonen i jorden närmast sponten. I denna zon är skjuvtöjningarna mycket höga samtidigt som glidning och tappad kontakt leder till mycket försämrad överföring jämfört med en ostörd jord.

Vad gäller de geotekniska förhållandena kan det ses att högre vibrationsnivåer uppstår då sponttån går igenom ett styvare jordlager, exempelvis då tån går igenom en grov fyllning, ett fast sandlager eller då tån når morän vid drivningens slut.

Avståndet från källan är naturligt en stort bidragande faktor till vibrationsnivån i och med att både geometrisk dämpning och material dämpning gör att vibrationsenergin minskar med ökande avstånd. På grund av reflektion, refraktion och interaktion mellan vågor så kan vibrationsavtagandet avstanna eller till och med leda till en koncentration av vibrationsamplituder på ett visst avstånd från källan.

Avhandlingens huvudsakliga vetenskapliga bidrag är identifieringen av spontens beteende under neddrivning. För praktisk tillämpning är det huvudsakliga bidraget förklaringen av vibrationsöverföringsprocessen från källa till jord, det nya instrumenteringssystemet samt utvecklingen av den numeriska modellen.