

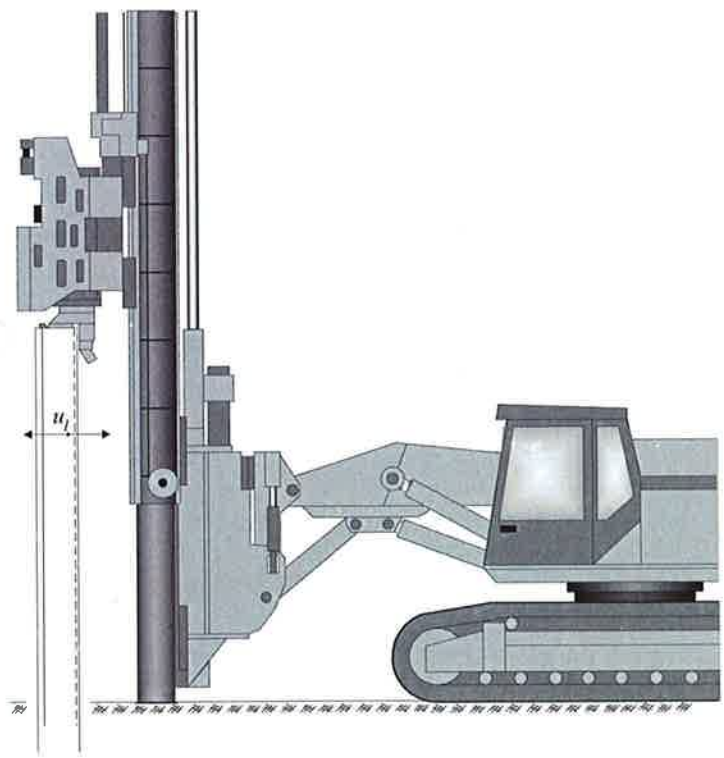
09011



Vibro-driveability

- a field study of vibratory driven sheet piles in non-cohesive soils

KENNETH VIKING



PhD Thesis
Division of Soil and Rock Mechanics
Royal Institute of Technology
Stockholm, Sweden 2002

SAMMANFATTNING

Föreliggande avhandling berör ämnet vibrodrivning av spont i friktionsjord. Vibreringsteknikens ökande användning bottnar i huvudsak i att den i de flesta fall är en överlägsen metod att installera spont jämfört med konventionell fallhejare. Den begränsade erfarenheten av vibreringstekniken både nationellt och internationellt har i stort sätt begränsat användningen av tekniken till enbart installation av spont. En av de primära svårigheterna är förståelsen av jordens reducerade penetrationsmotstånd under själva drivförloppet.

Avhandling utgör slutrapportering av forskningsprojektet *Vibrodrivning och dynamiskt jordmotsånd i friktionsjord* inom (SBUF) Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond. Denna studie har genomförts med syfte att skapa en djupare insikt i ämnesområdet, samt ökad förståelse av den dynamiska samverkan av vibro-driven spont i friktionsjord, samt identifiera de primära faktorerna som inverkar på vibro-drivbarheten (neddrivnings hastigheten). Studien är uppdelad i följande tre huvuddelar: (i) en litteratur studie, (ii) en experimentell del, samt en (iii) analytisk del, där resultatet av två existerande prediktions modeller för vibro-drivbarhet har jämförts med resultaten från det experimentella arbetet.

Avhandlingen presenterar resultaten av de i fält uppmätta storheterna av; dynamiskt jordmotsånd, effekter av friktion i spontlås, samt uppmätta markvibrationer, vilka kontinuerligt dokumenterats i samband med de genomförda fältförsöken. Med bakgrund av tidigare genomförda studier, och i fält observerade resultat, diskuteras i avhandlingen hur komplexiteten med vibro-drivning kan delas upp i tre huvuddelar, nämligen; vibrator-relaterade, spont-relaterade, samt jord-relaterade faktorer.

De grundläggande mekanismerna bakom reducerat jordmotsånd i samband med vibro-installation av spont i friktionsjord förklaras. Den grundläggande parametern bakom friktionsjordars reducerade skjuvhållfasthet är inte enbart relaterad till jordförvätskning (liquefaction) i vattenmättat tillstånd, då fenomenet med skjuvreduktion också återfinns i laboratorieförsök i torr friktionsjord.

Tidigare försummade effekter av såväl vibrator-relaterade som spont-relaterade faktorer, båda med påtaglig inverkan på såväl vibro-drivbarheten som omgivningspåverkan, diskuteras utifrån de i fält registrerade resultaten.

De dokumenterade storheterna på dynamiskt jordmotstånd och neddrivningshastighet har korrelerats med simuleringsresultaten av två existerande modellers, predikterade värden av vibro-drivbarhet (neddrivningshastighet) och predikterat jordmotstånd.

Thi
coh
the
app
vibr

Thi
clea
of f
ligh
indi
par:

The
syst

In t
use
she:
stre
equi
are:

The
Uni
pre:
stuc

Key
vibr
liqu

St

ff

K

ke

Re

TABLE OF CONTENTS

Foreword	v
Summary	vii
Sammanfattning	ix
Table of Contents	xi
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Background.....	1
1.2 The main objective and scope of the study.....	2
1.3 Structure of the thesis and related comments.....	3
Chapter 2 Literature review	5
2.1 Introduction to vibratory driving.....	5
2.2 Historical development.....	6
2.2.1 International developments.....	6
2.2.2 Developments in Sweden.....	8
2.3 Modern vibratory-systems.....	9
2.3.1 Machine systems.....	10
2.3.2 Vibratory drivers.....	14
2.3.3 Main parameters of modern vibratory systems.....	16
2.4 Vibro-driveability tests.....	24
2.4.1 Vibro-driveability.....	25
2.4.2 Conceptual-model testing.....	25
2.4.3 Pile-soil-interface testing.....	26
2.4.4 Reduced-scale tests.....	27
2.4.5 Full-scale tests.....	27
2.5 Factors found to affect the vibro-driveability.....	32
2.5.1 Vibratory-related factors.....	33
2.5.2 Pile-type and profile-related factors.....	39
2.5.3 Soil-related factors.....	48
2.6 Vibro-driveability models.....	56
2.6.1 Types of models.....	56
2.6.2 Parametric methods.....	57
2.6.3 Force-equilibrium models.....	57
2.6.4 Energy-balance methods.....	60
2.6.5 Momentum-conservation models.....	61
2.6.6 Integration models of the mechanical action.....	62
2.7 Conclusions from the literature review.....	94
2.7.1 Vibratory-related factors.....	94

2.7.2	Sheet-pile-related parameters	94
2.7.3	Soil-related parameters	95
2.7.4	Predictive methods of vibro-driveability	96
Chapter 3 Discussion regarding primary mechanisms and simulation of vibro-driveability		97
3.1	Chapter introduction	97
3.2	Kinematics of the vibrator, sheet pile and soil system	98
3.2.1	General nature of the system	98
3.2.2	Penetrative motion of the system	100
3.2.3	Driving forces	100
3.2.4	Resisting forces	101
3.3	A more detailed discussion on primary factors influence on vibro-driveability	104
3.3.1	Section introduction	104
3.3.2	Primary vibrator-related factors effecting vibro-driveability	104
3.3.3	Primary sheet-pile-related factors affecting vibro-driveability	107
3.3.4	Primary subsoil-related factors affecting vibro-driveability	116
3.4	Vibro-driveability simulations applied in the discussed Vibdrive and Vipere models	122
3.4.1	Section introduction	122
3.4.2	Input parameters for simulations	123
3.4.3	Evaluation of the driving forces	124
3.4.4	Evaluation of the dynamic soil resistance	125
3.4.5	Evaluation of the penetration speed	126
3.4.6	Discussion on the results of vibro-driveability simulations	129
3.5	Concluding remarks	131
3.5.1	General remarks	131
3.5.2	Kinematics of the vibrator, sheet pile and soil system	131
3.5.3	Primary factors influencing vibro-driveability	132
3.5.4	Vibro-driveability simulations	133
Chapter 4 Experimental work		137
4.1	Introduction to the chapter	137
4.2	Materials and methods	138
4.2.1	Location of the field tests	138
4.2.2	Field-test chronology	139
4.2.3	Soil conditions	141
4.2.4	The vibratory-driver system	145
4.2.5	The sheet piles	149
4.3	Instrumentation and calibration	151
4.3.1	Vibrator instrumentation	155
4.3.2	Sheet-pile instrumentation	157
4.3.3	Soil instrumentation	166
4.3.4	Data-acquisition equipment	167
4.3.5	Calibration of the instruments	171
4.4	Analysis and post-analysis methods	182
4.4.1	General data-reduction procedures	182
4.4.2	Vibratory driver data	183
4.4.3	Sheet pile-related data	184
4.4.4	The vibro-driveability-related data	189
4.4.5	Ground vibrations due to sheet-pile installation	192

4.5	Concluding remarks on the experimental work	193
4.5.1	Material and methods	194
4.5.2	Instrumentation and calibration	194
4.5.3	Analysing methods and data collected	194
Chapter 5	Results and Analyses	197
5.1	Chapter introduction	197
5.2	Results and general analysis of the field tests	197
5.2.1	Vibro-driveability	198
5.2.2	Forces and accelerations	202
5.2.3	Ground vibrations	217
5.2.4	Dynamic load transfer curves	226
5.2.5	Discussion of the field test results	229
5.3	Comparison of the simulations with the field tests	234
5.3.1	Section introduction	234
5.3.2	Evaluation of input parameters used in the comparisons	235
5.3.3	Evaluation and comparison of driving forces	236
5.3.4	Evaluation and comparison of dynamic soil resisting forces	236
5.3.5	Evaluation and comparison of simulated penetration speed	240
5.3.6	Discussion on the comparison of simulations and field results	242
5.4	Concluding remarks about the results	244
5.4.1	In general	244
5.4.2	Field observations of hypothesised factors	244
5.4.3	Field test and simulation results	245
Chapter 6	Conclusions	247
6.1	Conclusions	247
6.1.1	Chapter introduction	247
6.1.2	Factors concluded to influence the vibro-driveability	247
6.1.3	Field test results	248
6.1.4	Vibro-driveability simulations	249
6.2	Comments and scope for future work	251
	References	253
Appendix A	Justified simplification of the vibrator from 2 to 1 degree system	261
A.1	The two-degree freedom system	261
A.1.1	Justified simplification into a SDOF system	262
Appendix B	Justified simplification of the sheet pile behaviour as an axial rigid body	267
B.1	Vibration in rods	267
B.1.1	Displacement solution	267
B.1.2	Boundary condition	268
Appendix C	Results from: Calibrations and CPTu tests	271
C.1	Accelerometers	271
C.2	Strain gauges	275
C.3	CPT-1 results	280
Appendix D	The companion CD-rom, entitled: Vibro-driveability - and environmental studies of vibratory installed sheet piles	281

D.1	The MATLAB TM -files	281
D.1.1	Work-space files	281
D.2.2	M-files	281
D.2	The raw-data Binary-files	281
D.1.1	Helgeansholmen	281
D.2.2	Värby	281
D.3.3	PCscan program	281