

PÅLKOMMISSIONEN
Tekniskt PM 2:2015

Provbelastning av kohesionspålar

**En studie av dynamisk provning
jämfört med statisk
provbelastning i tryck och drag**

Utförd av

Ingemar Hermansson

Thomas Bjerendal

Mattias Grävare

1 Bakgrund

Vid Institutionen för Geoteknik med Grundläggning, Chalmers tekniska högskola, pågår ett doktorandprojekt avseende dragprovning av pålar i kohesionsjord under lång tid. Doktorand är Jorge Yannie, handledare är professor Claes Alén. Forskningsprojektet är initierat av Trafikverket med anledning av att projektering pågår för Västlänken, en tågtunnel som ska byggas under centrala delarna av Göteborg, dels för att underlätta för tåg som passerar Göteborg och dels för att möjliggöra pendeltågstrafik till stadsdelen Haga samt området kring Korsvägen. Vid byggandet av stationen intill den nuvarande Centralstationen beräknas stora lyftkrafter kunna uppkomma på grund av att stora volymer lermassor schaktas ur. Ett alternativ för att hantera lyftkrafterna är att använda kohesionspålar.

Det finns få exempel på dragprovning av pålar i kohesionsjord. I Sverige kan dock ett projekt nämnas, Hercules Grundläggning utförde dragprovning av kohesionspålar vid en entreprenad i Malmö 2013. Pålarna belastades dock inte till brott vid det tillfället. Beträffande korrelation mellan statisk och dynamisk provbelastning i tryck finns väldigt lite dokumenterat.

Mot bakgrund av ovanstående initierades ett sidoprojekt till Chalmers forskningsprojekt, som omfattar statisk provbelastning i såväl tryck som drag samt jämförelse med dynamisk provning (stöt vågsmätning). Projektet genomfördes av personal från Pålanalys i Göteborg AB och PEAB Grundläggning AB i samarbete med ovan nämnda institution vid Chalmers med ekonomiskt stöd av Pålkommissionen och PEAB Grundläggning AB. Denna redovisning avser sidoprojektet.



Figur 1. Placering av betongpålar för provbelastning. I bakgrunden syns pålar installerade för doktorandprojektet.

2 Genomförande

Provplatsen är belägen i anslutning till Trafikplats Marieholm vid väg E45 i Göteborg. Tre betongpålar med tvärsnittsmått 235 mm, längd 13 m, installerades 2014-04-15 med en Junttan med 4 tons accelererande hejare utan slagning till cirka 12 m djup. Pålarna är placerade i en rad med c/c-avstånd 2,5 m, se fig 1. Pålen till höger på bilden benämns påle nr 1. Påle nr 2 i mitten på bilden tryckprovades. Påle nr 3 till vänster på bilden är den påle som dragprovades.

Stötvågmätning har utförts på samtliga pålar vid följande tillfällen: 2014-04-16, 2014-04-22, 2014-06-12 samt 2014-10-28.

Statisk provbelastning i tryck utfördes på pålen i mitten (nr 2) 2014-10-22. Statisk provbelastning i drag utfördes på den vänstra ytterpålen (nr 3) 2014-10-24.

3 Geotekniska förhållanden

Jordlagren till 12 m djup utgöres av lera under ett tunt lager sandfyllning. Ett utdrag ur Trafikverkets förfrågningsunderlag ”6.8.3.1 Bilaga: Sammanvägda härledda värden Geoteknik” redovisas i fig 2. Pålspetsarna är ungefär på nivå 0. En beräkning av pålarnas bärförmåga baserad på den odränerade skjuvhållfastheten (okorrigerad) enligt fig 2 multiplicerad med mantelytan ger en brottlast på cirka 260 kN (med $\alpha = 1$).

Tabell 1: Valda värden på lerans hållfasthetsegenskaper Delområde A

Nivå	Jord	Tunghet γ kN/m ³	Φ' (grad)	c_u (kPa) okorrigerad	c_u (kPa) korrigerad
Fyllning	Sand	18	33	-	-
Fyllning/Lera	Lera	18	-	25	20
+10	Lera	15,3	-	16	13
+5	Lera	15,7	-	20	15
±0	Lera	15,8	-	26	20
-10	Lera	16,0	-	39	30
-15	Lera	16,5	-	46	36
-20	Lera	16,5	-	53	42
-25	Lera	16,5	-	57	46
-30	Lera	16,0	-	60	50
-40	Lera	16,5	-	80	65
-60	Lera	17,0	-	120	95
-90	Lera	17,0	-	180	140

Figur 2. Utdrag ur Trafikverkets förfrågningsunderlag 6.8.3

4 Dynamisk provning

Stötvågmätning med PDA, Pile Driving Analyzer, har utförts av pålarna. Givarna, trådtöjningsgivare och accelerometrar, var placerade på motstående sidor av pålen cirka 0,5 m nedanför påltopp. Vid mätningen slogs ett slag per påle vid de första mättillfällena. I syfte att inte störa pålarnas tillväxt beordrades låg fallhöjd, men det visade sig vara svårt att lösa med den aktuella typen av hejare, Junttan med 4 tons accelererande hejare. Fallhöjden blev betydligt högre än planerat. Detta faktum kommenteras ytterligare i avsnitt 8 nedan. För samtliga mätningar har signalmatchning utförts med datorprogrammet CAPWAP.

5 Statisk provbelastning i tryck och drag

Provbelastningen i tryck utfördes i huvudsak enligt Pålkommissionens rapport 59 med stegvis belastning. Instruktioner för provbelastning i drag saknas i rapport 59, provbelastningen utfördes med lika stora laststeg som för tryckprovningen.

5.1 Tryck

Som mothåll vid provbelastningen användes en stålbalk typ HE 340 B. Balken svetsades fast i mindre UNP-profiler se fig 3-4. UNP-profilerna var fastsatta i ytterpålarna med hjälp av kraftiga expanderbultar. Deformationen mättes med två digitala mätklockor, en på vardera sidan om pålen, se fig 5.



Figur 3. Arrangemang för statisk provbelastning i tryck.



Figur 4. Arrangemang för statisk provbelastning i tryck.



Figur 5. Placering av digitala mätklockor.

Belastningen påfördes i steg om 30 kN. Mätklockorna avlästes efter 0, 3, 6, 9, 12 och 15 minuter för varje laststeg. Provb belastningen avbröts när medelvärdet av deformationen från de båda mätklockorna översteg 20 mm (cirka 10 % av tvärsnittsmåttet), den påförda kraften var då 260 kN. Avlastningen utfördes stegvis till nivåerna 75 %, 50 %, 25 %, 10 %, 5 % av 300 kN. Mätklockorna avlästes efter 0 och 2 minuter för varje laststeg.

5.2 Drag

Vid dragprovningen var domkraftens ”angreppspunkt” placerad 0,65 m utanför ytterpålen som provades, se fig 6.

Belastningen påfördes i steg om 30 kN på samma sätt som för tryckprovningen med avläsning vid samma tidsintervall. Provb belastningen avbröts när medelvärdet av deformationen från de båda mätklockorna översteg 20 mm, den påförda kraften var då 290 kN omräknat med avseende på hävarmen till pålen från domkraftens angreppspunkt, men inte korrigerad med hänsyn till egenvikt av balk och påle (cirka 250 kN).



Figur 6. Arrangemang för statisk provbelastning i drag.

6 Resultat av dynamisk provning

I fig B1 (i Bilaga 1) redovisas exempel på resultat från stötvågmätningen av påle nr 2 vid mätningen 2014-06-12.

I fig B2 – B4 (i Bilaga 1) redovisas exempel på resultat från CAPWAP-analys av påle nr 2 vid mätningen 2014-06-12. I fig B5 – B7 finns motsvarande resultat från mätningen 2014-10-22.

Resultaten är sammanfattade i tabeller nedan

Datum	Bärförmåga total (kN)	Bärförmåga spets (kN)	Bärförmåga mantel (kN)	Sjunkning (mm/slag)
2014-04-16	130	19	111	100
2014-04-22	250	41	209	20
2014-06-12	270	34	236	8
2014-10-28	350	64	286	20

Tabell 1. Påle nr 1, utvärderad bärförmåga vid olika tidpunkter.

Datum	Bärförmåga total (kN)	Bärförmåga spets (kN)	Bärförmåga mantel (kN)	Sjunkning (mm/slag)
2014-04-16	140	23	117	60
2014-04-22	240	37	203	20
2014-06-12	270	57	213	10
2014-10-28	320	61	259	25

Tabell 2. Påle nr 2, utvärderad bärförmåga vid olika tidpunkter.

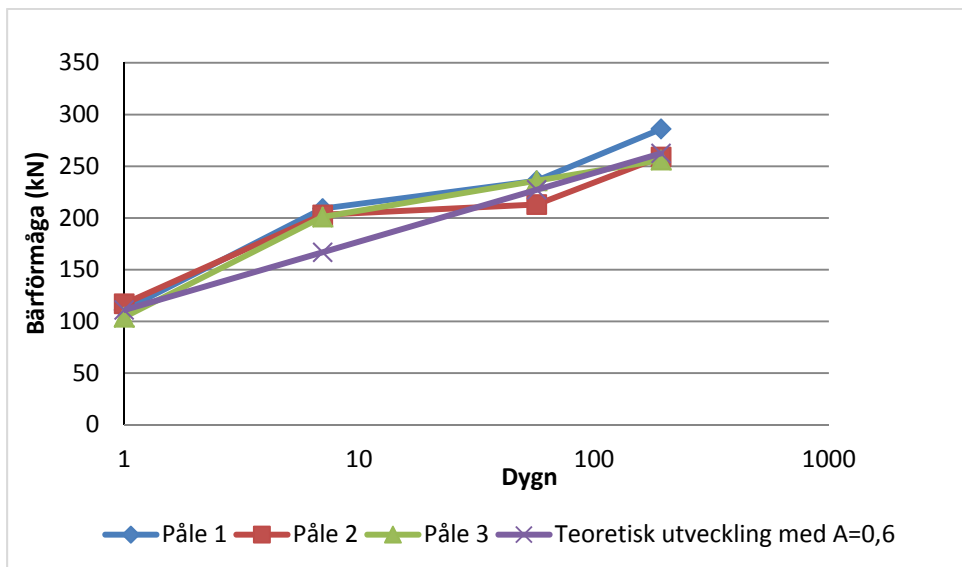
Datum	Bärförmåga total (kN)	Bärförmåga spets (kN)	Bärförmåga mantel (kN)	Sjunkning (mm/slag)
2014-04-16	130	26	104	150
2014-04-22	240	39	201	15
2014-06-12	290	54	236	15
2014-10-28	310	54	256	9

Tabell 3. Påle nr 3, utvärderad bärförmåga vid olika tidpunkter.

Datum	Bärförmåga total (kN)	Bärförmåga spets (kN)	Bärförmåga mantel (kN)
2014-04-16	133	23	111
2014-04-22	243	39	204
2014-06-12	277	48	228
2014-10-28	327	60	267

Tabell 4. Påle nr 1 2 och 3, medelvärde av utvärderad bärförmåga vid olika tidpunkter.

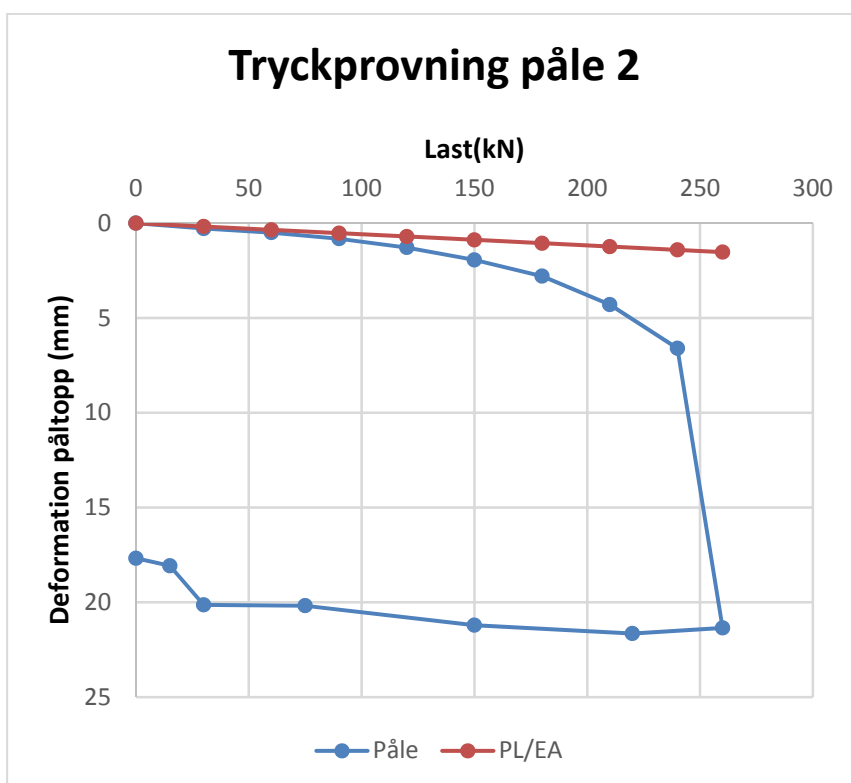
Resultaten avseende mantelbärförmåga i diagramform redovisas i fig 7. Den röda linjen avser teoretisk tillväxt med $A=0,6$ enligt en formel beskriven i avsnitt 9 nedan (motsvarar uppmätt medelvärde av bärförmågan).



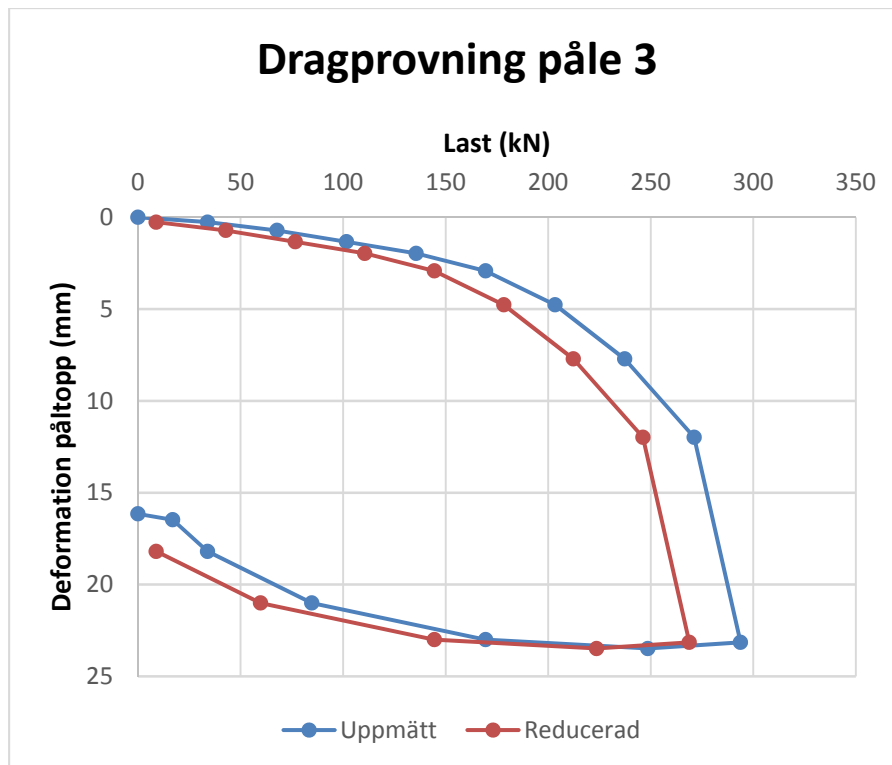
Figur 7. Uppmätt och analyserad mantelbärförmåga vid olika tidpunkter.

7 Resultat av statiska provbelastningar

Last-deformationssamband för tryckprovningen av påle nr 2 är plottat i fig 8. Motsvarande samband för dragprovning av påle nr 3 är plottat i fig 9.



Figur 8. Last-deformationssamband för tryckprovning av påle nr 2. Den röda linjen avser pålens elastiska sammantryckning med elasticitetsmodul $E = 40\,000\text{ MPa}$.



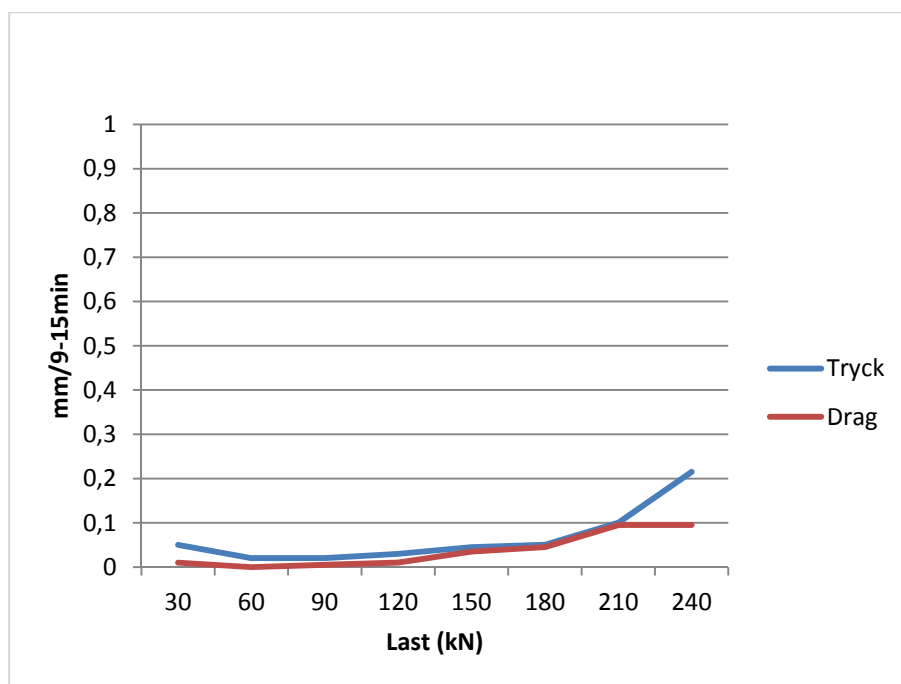
Figur 9. Last-deformationssamband för dragprovning av påle nr 3.

Två kurvor är plottade i diagrammet i fig 9, den blå kurvan visar uppmätt resultat omräknat med hänsyn till hävarmen mellan pålen och domkraftens angreppspunkt. Den röda kurvan är reducerad med pålens egenvikt samt vikten av mothållsbalken, totalt cirka 25 kN.

För att bedöma storleken av egenvikten för den del av mothållsbalken som belastar den dragna pålen, samt eventuell inverkan av att mothållsbalken var svetsad mot en UNP-profil vid den andra ytterpålen, skars svetsförbandet mellan mothållsbalken och UNP-profilen ovanför den dragna pålen loss. Därefter belastades mothållsbalken på samma sätt vid dragprovningen, stora deformationer erhöles för en last av cirka 10 kN, vilket verifierar antagandet om vikt ovan.

Eventuell lyftkraft från vattentryck är inte beaktad varken för tryck- eller dragprovning.

Uppmätt krypning för tiden 9 – 15 minuter i varje laststeg redovisas i fig 10 för såväl tryck för påle 2 som drag för påle 3.



Figur 10. Kryplastdiagram. Kryphastighet i mm under tiden 9-15 minuter/laststeg

8 Slutsatser

Resultaten från de statiska provbelastningarna i drag och tryck visar att bärförmågan är i stort sett lika stor i den aktuella leran. Överensstämmelsen blir ännu bättre om hänsyn tas till pålens egenvikt även vid tryckprovning.

En jämförelse av bärförmåga från statisk och dynamisk provning visar ett högre värde för den totala bärförmågan utvärderad från den dynamiska provningen.

För att få kommentarer kring detta kontaktades Dr Frank Rausche på Pile Dynamics Inc, Cleveland, Ohio, USA, som utvecklat datorprogrammet CAPWAP. Erfarenheterna från USA innebär att man reducerar bärförmågan utvärderad från CAPWAP med cirka 30 % för pålar i mycket plastiska jordar. En motsvarande reduktion av medelvärdet av den utvärderade bärförmågan vid provningen 2014-10-22 ger en bärförmåga på cirka 230 kN.

Alternativt subtraheras den utvärderade spetsbärförmågan (medelvärde 60 kN) från den totala bärförmågan (medelvärde 327 kN) och ersätts med en mer realistisk spetsbärförmåga. Om spetsbärförmågan beräknas som 9 gånger den odränerade skjuvhållfastheten (se Pålgrundläggningshandboken) erhålles cirka 10 kN. I detta fall erhålles en total bärförmåga på $327 - 60 + 10 = 277$ kN.

Då det visade sig vara svårt att ställa in fallhöjden på slagningsutrustningen blev i vissa fall fallhöjden för hög vilket resulterade i för stora sjunkningar. Generellt bör sjunkningen hållas under 10 mm per slag. Stora sjunkningar leder till något mer oprecisa resultat då den ingående kraften är alltför stor i förhållande till den mothållande (bärförmågan). Detta kan leda till att ett förhållandevis litet fel i den uppmätta ingående kraften slår förhållandevis stort på den

analyserade mothållande kraften. I dessa fall kan därför bärförmågan såväl över- som undervärderas.

För framtida projekt bör således den ingående kraften i mätslagen begränsas så att sjunkningen blir högst 10 mm/per slag. Resultaten från de utförda provningarna visar en god överensstämmelse mellan statisk och dynamisk provning om den senare reduceras utifrån de erfarenheter som finns från provning i liknande jordar från andra håll i världen. (Mätmetoden används i över 100 länder.)

9 Diskussion beträffande ökning av bärförmåga med tiden

Notabelt är att tillväxten i mantelbärförmåga sker snabbt, redan efter en vecka är cirka 75 % av mantelbärförmågan, som mättes upp efter den statiska provningen, uppnådd. Efter knappt två månader är motsvarande siffra cirka 85 %.

Beträffande tillväxt av bärförmåga har Rikard Skov och Hans Denver publicerat en artikel till den internationella stötvågskonferensen 1988 där följande formel presenteras:

$$Q = Q_0 (A \log (t/t_0) + 1)$$

Q = bärförmåga vid tidpunkten t . (t är antal dagar efter installation.)

Q_0 = bärförmåga (uppmätt) vid tidpunkten t_0 . För lera föreslås $t_0 = 1,0$ dag.

A beror på jordarten. För lera föreslås $A = 0,6$.

I tabell 5 och 6 redovisas beräknad och uppmätt mantelbärförmåga respektive total bärförmåga med tiden med $A=0,6$. I fig 7 (avsnitt 6) finns den teoretiska mantelbärförmågan, enligt tabell nedan, plottad tillsammans med uppmätt mantelbärförmåga för respektive påle. (En beräkning av A -värdet baserat på medelvärde av uppmätt bärförmåga för $t/t_0 = 190$ ger $A = 0,62$.)

Q_0	A	t	t_0	t/t_0	$\log(t/t_0)$	Q	Uppmätt bärförmåga
111	0,6	7	1	7	0,85	167	204
111	0,6	58	1	58	1,76	228	228
111	0,6	190	1	190	2,28	263	267

Tabell 5. Beräkning av bärförmåga med tiden baserad på medelvärde av analyserad mantelbärförmåga.

Q_0	A	t	t_0	t/t_0	$\log(t/t_0)$	Q	Uppmätt bärförmåga
133	0,6	7	1	7	0,85	200	243
133	0,6	58	1	58	1,76	274	277
133	0,6	190	1	190	2,28	315	327

Tabell 6. Beräkning enligt tabell 5 men baserad på total bärförmåga (inklusive spetsbärförmåga).

Jämförelsen visar en högre uppmätt bärförmåga efter en vecka jämfört med Skovs formel medan uppmätt och beräknad bärförmåga efter 2 respektive 6 månader ligger mycket nära varandra.

10 Sammanfattning

Tre stycken 13 m långa betongpålar av typ SP1 (tvärsnittsmått 235 mm) har slagits ned i kohesionsjord vid trafikplats Marieholm vid väg E45 i Göteborg. Pålarna är installerade i anslutning till ett forskningsprojekt avseende långtidsbelastning av pålar utsatta för dragkraft som Institutionen för Geoteknik med grundläggning vid Chalmers genomför. Resultaten från Chalmers projekt kommer att presenteras i en doktorsavhandling.

Projektet som beskrivs i denna rapport genomfördes av personal från Pålanalys i Göteborg AB och PEAB Grundläggning AB med ekonomiskt stöd från Pålkommissionen och PEAB Grundläggning AB.

Pålarna testades med dynamisk provning (stötvågsmätning) vid fyra olika tidpunkter. På en av pålarna genomfördes en statisk provbelastning i tryck medan en annan av pålarna provbelastades i drag. Den sista dynamiska provningen genomfördes efter de statiska provbelastningarna.

Resultaten från statisk provbelastning visar att bärförmågan i tryck och drag är ungefär lika stora.

Bärförmågan utvärderad från den dynamiska provningen är högre än för den statiska provbelastningen. Vid konsultation med Pile Dynamics, Inc, Cleveland, Ohio, USA beträffande erfarenheter från tester på pålar i plastiska jordar föreslogs en reduktion av bärförmågan från den dynamiska provningen. Efter reduktionen är bärförmågan från den dynamiska provningen i ungefär samma storlek som bärförmågan som uppmättes vid den statiska provbelastningen.

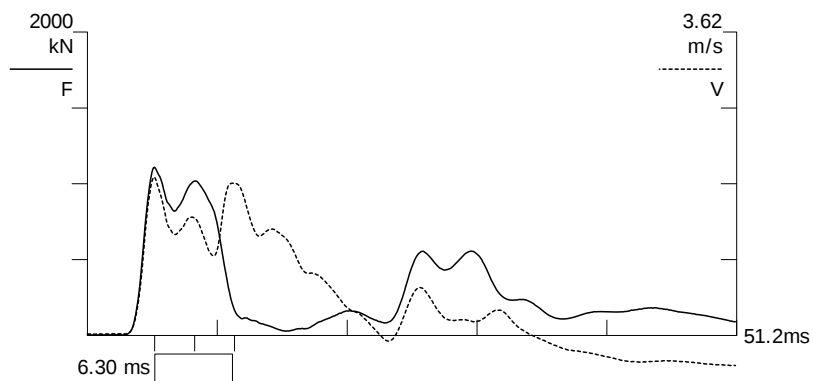
PÅLKOMMISSIONEN
Tekniskt PM 2:2015

Bilaga 1

PDE

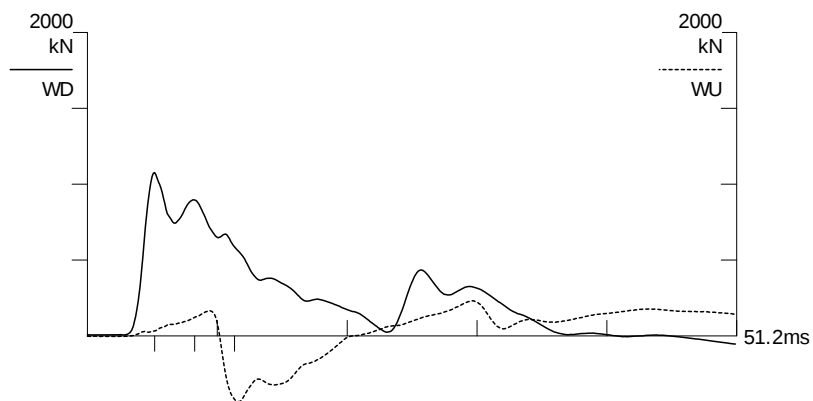
CTH
PDA OP: Palanalys

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2014.118
2



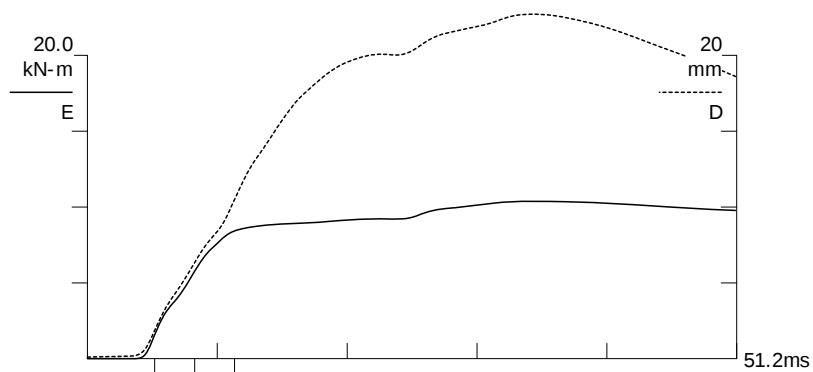
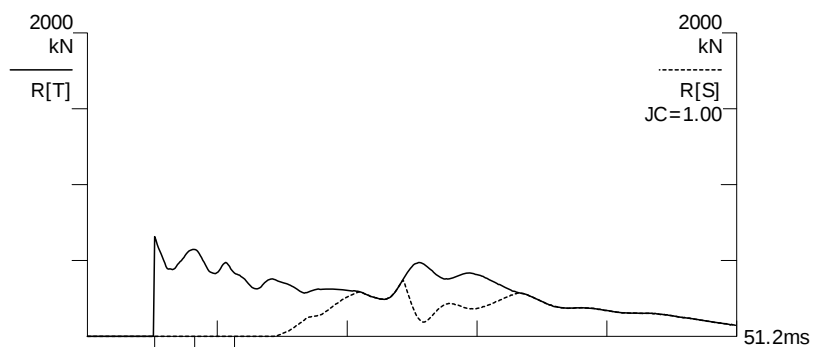
BN 2
2014-06-12 09:59:46
RMX 371 kN
VMX 1.89 m/s
EMX 10.4 kN-m
DMX 23 mm
CSX 20.1 MPa
CSI 21.9 MPa
DMX 23 mm
RX7 372 kN
SFR 247 kN

LE 12.5 m
AR 552.00 cm²
EM 40000 MPa
SP 24.5 kN/m³
WS 4001.4 m/s
EAC 552 kN-s/m



F12 A12

F1: [A748] 93 (1)
F2: [C883] 94 (1)
A1: [17976] 1070 g's/v (1)
A2: [78417] 1080 g's/v (1)



Figur B1. Exempel på resultat från stötvågmätning, påle nr 2 vid mätning 2014-06-12

I figur på föregående sida återfinns följande kurvor (uppifrån):

- kraft och hastighet (F resp v)
- nedåt- och uppåtgående stötvåg
- jordens motstånd beräknat för olika värden på jordkonstanten
- rörelse och energi under slaget (D resp E)

Följande beteckningar används i utskriften:

VMX: max partikelhastighet

FMX: max kraft

EMX: max överförd energi

DMX: max rörelse under slaget

RMX: bärförmåga beräknad med jordkonstant enligt vidstående diagram

CSX: max tryckspänning, medelvärde

CSI: max tryckspänning för enskild givare

RX7: bärförmåga beräknad med jordkonstant 0,7

SFR: bedömning av mantelbärförmåga

I figurer på följande sidor redovisas resultat från några CAPWAP-analyser dels i tabellform och dels som grafer. Följande grafer är plottade i fig B4 och B7:

- datorberäknad och uppmätt kraft (Force Cpt resp Force Msd)
- uppmätt kraft och hastighet (For. Msd resp Vel. Msd)
- last-deformationssamband, "simulerad" provbelastning
- lastfördelning längs pålen (Shaft Resistance Distribution)

CTH; Pile: 2
; Blow: 2
Palanalyt

Test: 22-Apr-2014 09:06:
CAPWAP(R) 2006-3
OP: Palanalyt

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity:			239.9; along Shaft		202.6; at Toe		37.3 kN	
Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				239.9				
1	2.1	1.4	20.9	219.0	20.9	14.75	15.69	0.537
2	4.2	3.5	34.1	184.9	55.0	16.11	17.14	0.537
3	6.3	5.7	37.4	147.5	92.4	17.67	18.80	0.537
4	8.5	7.8	38.9	108.6	131.3	18.38	19.55	0.537
5	10.6	9.9	36.9	71.7	168.2	17.43	18.55	0.537
6	12.7	12.0	34.4	37.3	202.6	16.25	17.29	0.537
Avg. Shaft			33.8			16.88	17.96	0.537
Toe			37.3				675.72	0.867
Soil Model Parameters/Extensions					Shaft	Toe		
Quake		(mm)			2.013	8.686		
Case Damping Factor					0.197	0.059		
Damping Type						Smith		
Unloading Quake		(% of loading quake)			100	30		
Reloading Level		(% of Ru)			100	100		
Unloading Level		(% of Ru)			89			
Resistance Gap (included in Toe Quake)		(mm)				7.682		
Soil Plug Weight		(kN)				0.58		
CAPWAP match quality		=	3.50	(Wave Up Match); RSA = 0				
Observed: final set		=	25.000 mm;	blow count	=	40 b/m		
Computed: final set		=	27.567 mm;	blow count	=	36 b/m		
max. Top Comp. Stress		=	16.5 MPa	(T= 25.4 ms, max= 1.000 x Top)				
max. Comp. Stress		=	16.5 MPa	(Z= 1.1 m, T= 25.4 ms)				
max. Tens. Stress		=	-2.33 MPa	(Z= 9.5 m, T= 25.9 ms)				
max. Energy (EMX)		=	11.23 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=31.27 mm				

Figur B2. Exempel på resultat av signalmatchning med CAPWAP, påle nr 2 vid mätning 2014-06-12.

CTH; Pile: 2
; Blow: 2
Palanalys

Test: 22-Apr-2014 09:06:
CAPWAP(R) 2006-3
OP: Palanalys

EXTREMA TABLE

Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.1	912.0	-74.1	16.5	-1.34	11.23	1.9	31.125
2	2.1	848.8	-75.2	15.4	-1.36	11.23	2.0	31.055
3	3.2	808.0	-63.9	14.6	-1.16	10.25	2.0	30.994
4	4.2	822.3	-64.5	14.9	-1.17	10.24	2.1	30.930
5	5.3	778.1	-48.1	14.1	-0.87	8.64	2.2	30.880
6	6.3	784.6	-48.6	14.2	-0.88	8.64	2.2	30.826
7	7.4	704.4	-33.6	12.8	-0.61	6.87	2.2	30.786
8	8.5	655.2	-34.4	11.9	-0.62	6.87	2.1	30.741
9	9.5	521.0	-128.6	9.4	-2.33	5.02	2.0	30.709
10	10.6	416.7	-112.2	7.5	-2.03	5.02	2.0	30.672
11	11.6	260.4	-107.5	4.7	-1.95	3.25	2.1	30.647
12	12.7	191.0	-10.1	3.5	-0.18	1.56	2.1	30.617
Absolute	1.1			16.5			(T =	25.4 ms)
	9.5				-2.33		(T =	25.9 ms)

CASE METHOD

J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	433.1	319.6	206.1	92.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
RX	529.5	410.2	291.0	255.9	251.0	248.7	246.7	244.6	242.5	240.5
RU	433.1	319.6	206.1	92.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

RAU = 252.2 (kN); RA2 = 252.8 (kN)

Current CAPWAP Ru = 239.9 (kN); Corresponding J(RP)= 0.17; matches RX9 within 5%

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
1.74	21.95	747.3	820.8	950.2	31.274	24.994	25.000	10.9	388.3

PILE PROFILE AND PILE MODEL

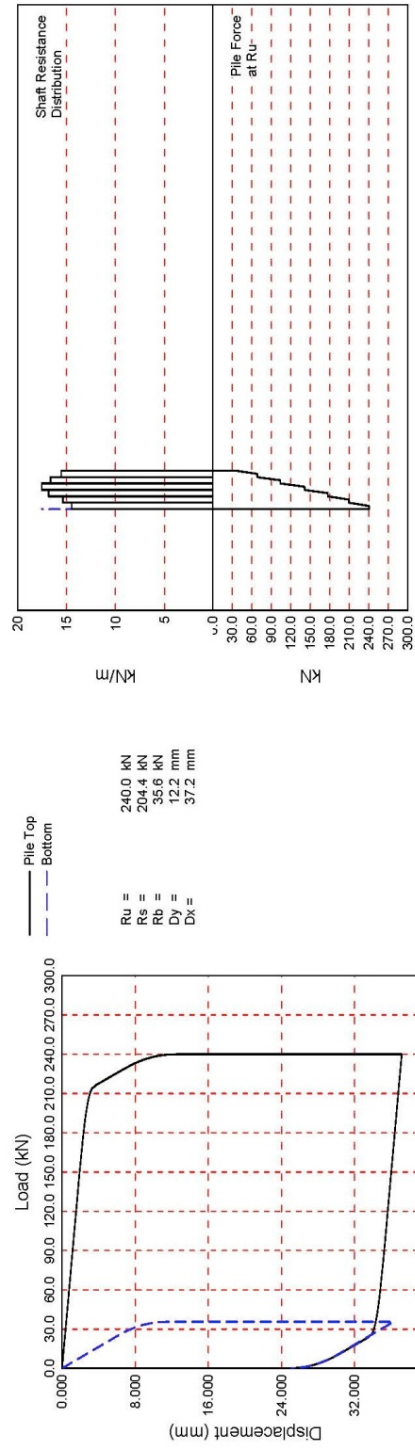
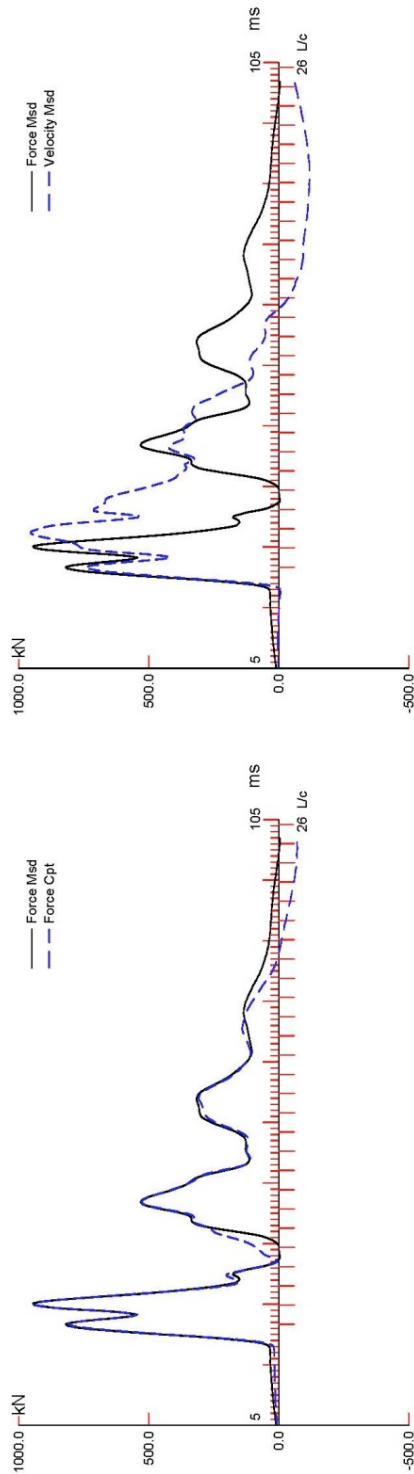
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	552.00	40000.0	24.500	0.940
12.70	552.00	40000.0	24.500	0.940

Toe Area 0.055 m²

Top Segment Length 1.06 m, Top Impedance 551.81 kN/m/s

Pile Damping 2.0 %, Time Incr 0.264 ms, Wave Speed 4001.4 m/s, 2L/c 6.3 ms

Figur B3. Exempel på resultat av signalmatchning med CAPWAP, forts påle nr 2 vid mätning
2014-06-12.



Figur B4. Exempel på resultat av signalmatchning med CAPWAP, forts påle nr 2 vid mätning 2014-06-12.

Marieholm; Pile: 2
; Blow: 4
Palanalyt

Test: 28-Oct-2014 09:11:
CAPWAP(R) 2006-3
OP: Palanalyt

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 320.2; along Shaft 258.9; at Toe 61.3 kN

Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				320.2				
1	2.1	1.6	37.5	282.7	37.5	23.68	25.20	0.602
2	4.2	3.7	38.0	244.7	75.5	18.24	19.40	0.602
3	6.2	5.7	44.3	200.4	119.8	21.26	22.62	0.602
4	8.3	7.8	53.0	147.4	172.8	25.44	27.06	0.602
5	10.4	9.9	47.8	99.6	220.6	22.94	24.41	0.602
6	12.5	12.0	38.3	61.3	258.9	18.38	19.56	0.602
Avg. Shaft			43.2			21.58	22.95	0.602
Toe			61.3				1110.51	0.105

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		7.290	31.352
Case Damping Factor			0.272	0.011
Unloading Quake	(% of loading quake)		97	289
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		50	
Resistance Gap (included in Toe Quake)	(mm)			21.463
Soil Plug Weight	(kN)			1.00

CAPWAP match quality = 4.41 (Wave Up Match); RSA = 0
Observed: final set = 33.333 mm; blow count = 30 b/m
Computed: final set = 31.284 mm; blow count = 32 b/m
max. Top Comp. Stress = 31.5 MPa (T= 21.3 ms, max= 1.009 x Top)
max. Comp. Stress = 31.8 MPa (Z= 2.1 m, T= 21.6 ms)
max. Tens. Stress = -4.97 MPa (Z= 11.5 m, T= 25.1 ms)
max. Energy (EMX) = 23.14 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)=40.82 mm

Figur B5. Exempel på resultat av signalmatchning med CAPWAP, påle nr 2 vid mätning 2014-10-22.

Marieholm; Pile: 2
; Blow: 4
Palanalys

Test: 28-Oct-2014 09:11:
CAPWAP(R) 2006-3
OP: Palanalys

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	1736.8	-77.6	31.5	-1.41	23.14	3.2	40.025
2	2.1	1752.6	-47.8	31.8	-0.87	23.13	3.3	39.998
3	3.1	1694.9	-87.8	30.7	-1.59	20.23	3.2	39.978
4	4.2	1711.7	-77.4	31.0	-1.40	20.22	3.2	39.947
5	5.2	1656.9	-78.8	30.0	-1.43	17.21	3.5	39.918
6	6.2	1676.8	-31.9	30.4	-0.58	17.20	3.8	39.878
7	7.3	1615.1	-66.2	29.3	-1.20	13.60	4.0	39.849
8	8.3	1635.3	-11.0	29.6	-0.20	13.58	3.9	39.814
9	9.4	1553.6	-217.4	28.1	-3.94	9.18	3.7	39.792
10	10.4	1460.0	-243.6	26.4	-4.41	9.17	3.7	39.762
11	11.5	1085.2	-274.6	19.7	-4.97	5.09	4.2	39.741
12	12.5	557.6	-43.4	10.1	-0.79	1.39	4.7	39.709
Absolute		2.1		31.8			(T =	21.6 ms)
		11.5			-4.97		(T =	25.1 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	1022.2	776.9	531.6	286.3	40.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
RX	1022.2	776.9	531.6	466.2	463.2	460.2	457.2	454.2	451.4	451.4
RU	1022.2	776.9	531.6	286.3	40.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
RAU = 240.8 (kN); RA2 = 248.4 (kN)										

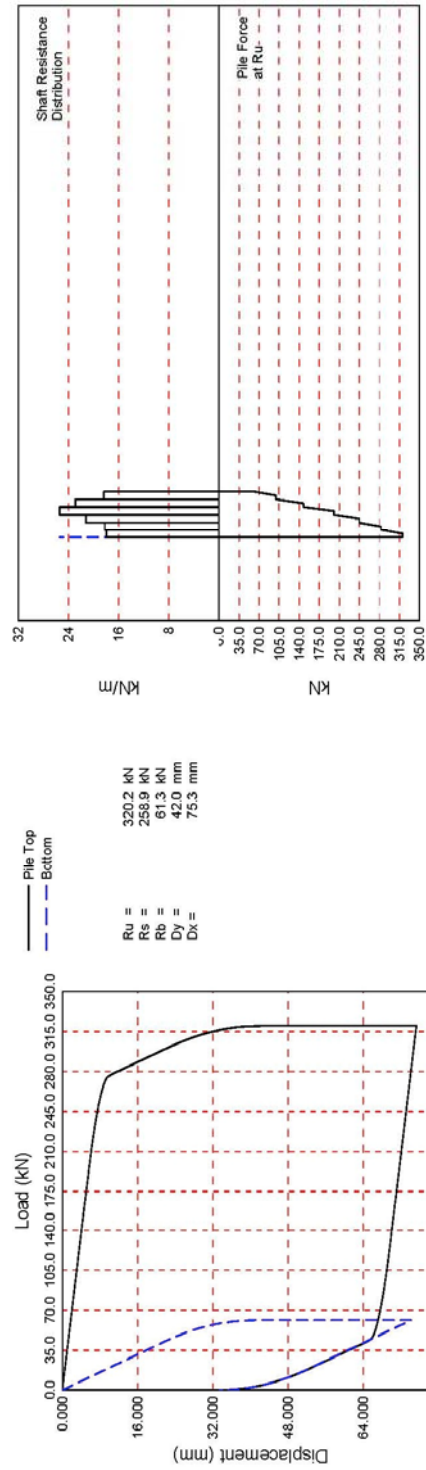
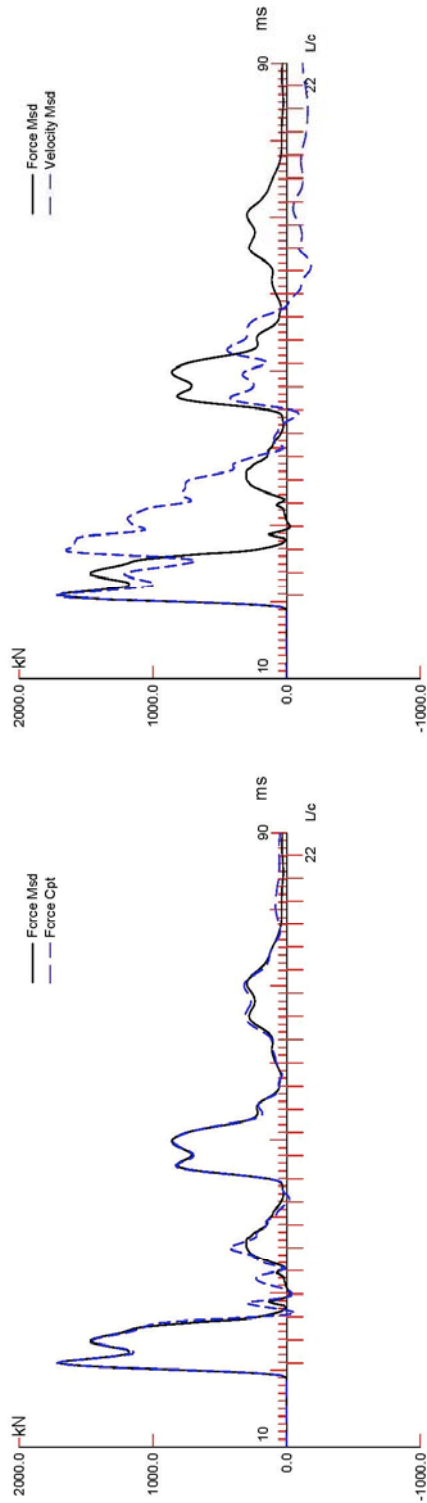
Current CAPWAP Ru = 320.2 (kN); Corresponding J(RP)= 0.29;

RMX requires higher damping; see PDA-W

VMX m/s	TVP ms	VT1*Z kN	FT1 kN	FMX kN	DMX mm	DFN mm	SET mm	EMX kJ	QUS kN
3.06	21.09	1750.9	1724.5	1726.1	40.824	33.069	33.333	22.2	598.8

PILE PROFILE AND PILE MODEL					
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m	
0.00	552.00	43000.0	24.500	0.940	
12.50	552.00	43000.0	24.500	0.940	
Toe Area		0.055	m ²		
Top Segment Length		1.04 m,	Top Impedance 572.13 kN/m/s		
Pile Damping	2.0 %,	Time Incr 0.251 ms,	Wave Speed 4148.7 m/s,	2L/c	6.0 ms

Figur B6. Exempel på resultat av signalmatchning med CAPWAP, forts påle nr 2 vid mätning 2014-10-22.



Figur B7. Exempel på resultat av signalmatchning med CAPWAP, forts påle nr 2 vid mätning 2014-10-22.