

# Visa dina laster

*Ingemar Hermansson  
Pålanalys i Göteborg AB*





500 kN's påle



En påles bärförmåga  
Ett geotekniskt problem  
eller  
ett lastkapacitetsproblem?

# Lastkapacitet

En slagen påle kan betraktas som en av jorden sidostöttad pelare.

Lastkapaciteten beror av:

- Initialkrokighet
- Jordens hållfasthet
- Antalet slag för att slå pålen

Tabellvärden finns i Pålkommisionens rapporter samt i typgodkännanden.

# Geoteknisk bärförmåga

En slagen påles geotekniska bärförmåga är jordens och/eller bergets förmåga att ta upp påförda lasteffekter utan att det uppstår brott eller skadliga rörelser.

# Geoteknisk bärförmåga

Tumregler för pålar stoppslagna i morän enligt schabloner i Pålgrundläggningshandboken eller typgodkännanden:

Betongpålar: 1 kN per cm<sup>2</sup>

Stålpålar: 13 kN per cm<sup>2</sup>

# Geoteknisk bärförmåga

Ofta utnyttjas pålarna för högre lasteffekter, för betongpålar uppåt 1,6 kN per cm<sup>2</sup>, för stålpålar uppåt 22 kN per cm<sup>2</sup>. I regel krävs att pålarna slås till ”bra” berg för att uppnå erforderlig bärförmåga.

För att verifiera bärförmågan utförs stötvågsmätning på ett representativt antal pålar, från 5 % till 25 % beroende på pållast och mobiliserad bärförmåga.

# Geoteknisk bärförmåga

För stålpålar testas 10 % av pålarna om pållasten är max cirka 17 kN per cm<sup>2</sup> (under förutsättning att erforderlig bärförmåga kan verifieras).

För laster mellan 17 och 22 kN per cm<sup>2</sup> testas 25 % av pålarna.



# Nedåtgående våg

Tryckvåg

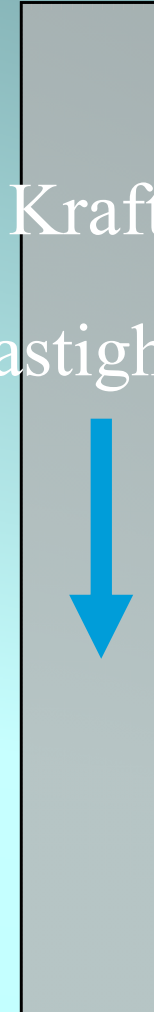
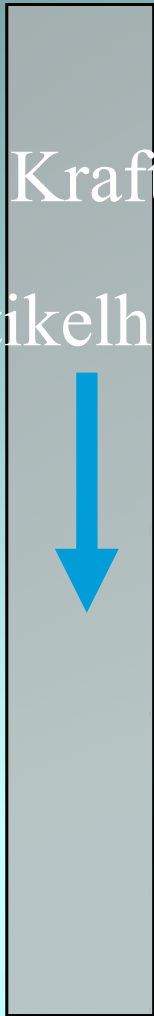
Dragvåg

Kraft +

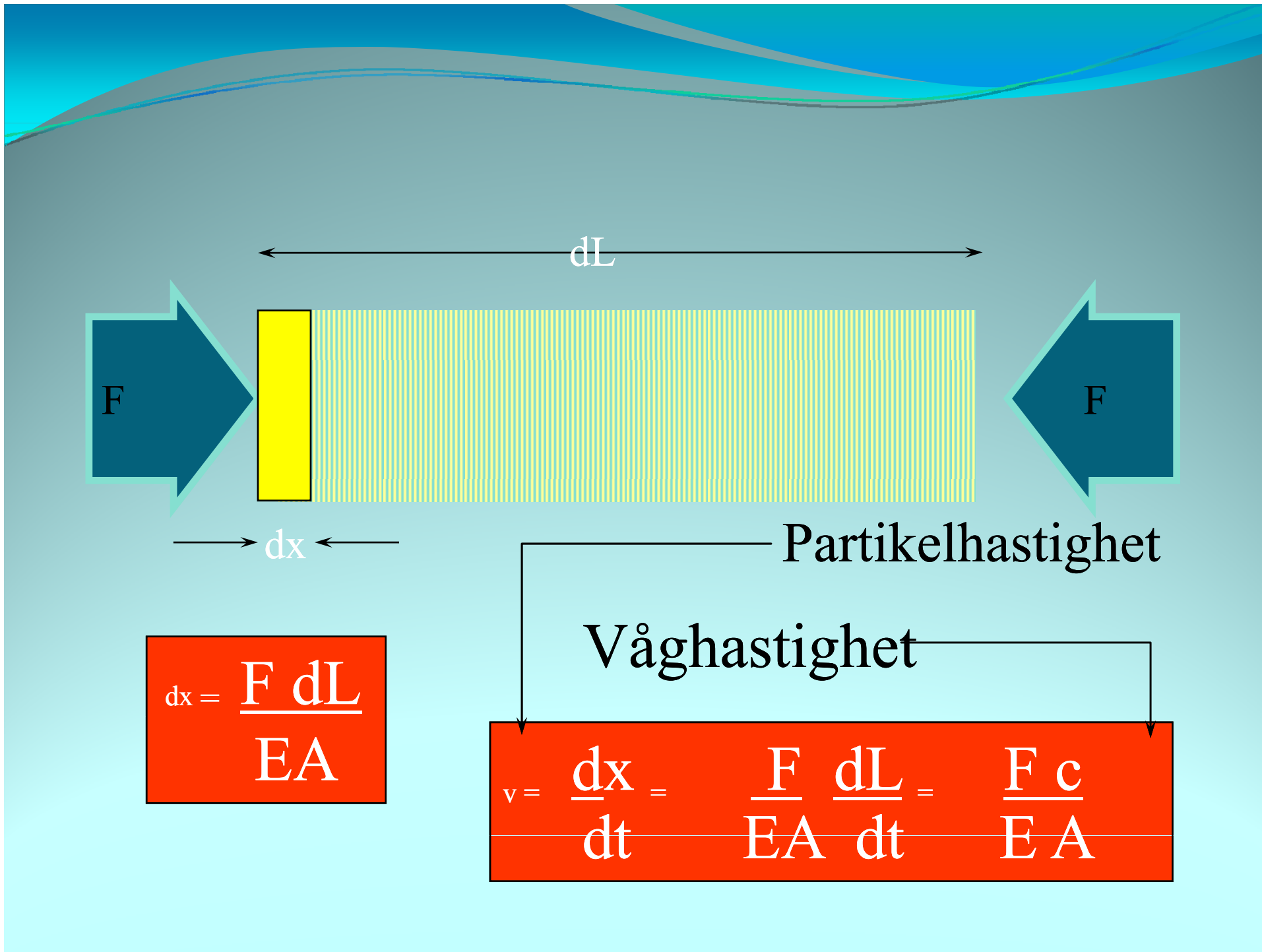
Kraft -

Partikelhastighet +

Partikelhastighet -



$$F = Zv$$
$$Z = EA/c$$







# Hejarvikt

En första förutsättning för att slå en påle till önskad pållast är att hejaren är tillräckligt tung. I typgodkännanden för slanka stålpålar finns en rekommendation att slagkolven i lätta hydraul- eller tryckluftshejare skall ha en vikt på minst 2 gånger pålens vikt per löpmeter.

# Hejarvikt – fallhöjd

För att verifiera den tillgängliga bärförmågan erfordras att pålen får en permanent sjunkning på några millimeter för mätslaget. Detta kräver såväl hejarvikt som fallhöjd.

Tumregler:

Fallhöjd 7-8 % av pällängden

Hejarvikt 2,5-3 % av pällasten

# Hejarvikt – fallhöjd

Exempel 1: Beräkning av  $Z$  ( $EA/c$ ) för stål-  
påle typ 140x8

A (Area):  $33 \text{ cm}^2$  ( $0,0033 \text{ m}^2$ )

E (Elasticitetsmodul):  $210000 \text{ MPa}$

c (Gånghastiget):  $5120 \text{ m/s}$

$Z = 210000 * 10^6 * 0,0033 / 5120 = 135000 \text{ Ns/m} =$   
 $135 \text{ kNs/m}$

# Hejarvikt – fallhöjd

Sambandet mellan anslagshastighet och fallhöjd erhålles ur energibetraktelsen:

Rörelseenergi = Lägesenergi

$$mv^2/2 = mgH$$

$$H = v^2/2g \text{ eller}$$

$$v = \sqrt{2gH}$$



# Hejarvikt – fallhöjd

Om pålen ges partikelhastigheten 3 m/s  
alstras följande nedåtgående kraft i pålen:

$$F = v * Z = 3 * 135 = 405 \text{ kN}$$

För att ge pålen denna hastighet krävs en  
teoretisk fallhöjd av:

$$H = v^2 / 2g = 3^2 / 2 * 10 = 0,45 \text{ m}$$

På grund av energiförluster mellan hejaren  
och pålen måste fallhöjden vara högre.

# Hejarvikt – fallhöjd

Om pålen ges partikelhastigheten 6 m/s  
alstras följande nedåtgående kraft i pålen:

$$F = 6 * 135 = 810 \text{ kN}$$

För att ge pålen denna hastighet krävs en  
teoretisk fallhöjd av:

$$H = v^2/2g = 6^2/2*10 = 1,8 \text{ m}$$

På grund av energiförluster mellan hejaren  
och pålen måste fallhöjden vara högre.

# Hejarvikt – fallhöjd

För pålar som stoppslås mot berg överlagras nedåt- och uppåtgående vågor så att en högre bärförmåga än den nedåtgående kraften i pålen kan uppmätas. Detta är speciellt tydligt för korta pålar.

För att beräkna den dimensionerande bärförmågan skall den uppmätta bärförmågan divideras med en partialkoefficient, 1,5-1,85 beroende på pållast, omfattning av stötvågsmätningen m m.

# Hejarvikt – fallhöjd

Tryckspänningen i stålpålen är nära sträckgränsen vid mätslaget – viktigt att pålen är kapad med ett horisontellt snitt och att hejaren är centrerad på pålen.

# Hejarvikt – fallhöjd

Exempel 2: Beräkning av  $Z$  ( $EA/c$ ) för  
betongpåle typ SP1

A (Area):  $552 \text{ cm}^2$  ( $0,0552 \text{ m}^2$ )

E (Elasticitetsmodul):  $40000 \text{ MPa}$

c (Gånghastiget):  $3900 \text{ m/s}$

$Z = 40000 * 10^6 * 0,0552 / 3900 = 566000 \text{ Ns/m} =$   
 $566 \text{ kNs/m}$

# Hejarvikt – fallhöjd

Om betongpålen ges partikelhastigheten 3 m/s alstras följande nedåtgående kraft i pålen:

$$F=3*566=1698 \text{ kN}$$

För att ge pålen denna hastighet krävs en teoretisk fallhöjd av:

$$H=v^2/2g = 3^2/2*10 = 0,45 \text{ m}$$

På grund av energiförluster mellan hejaren och pålen måste fallhöjden vara högre.

# Hejarvikt – fallhöjd

Om betongpålen slås med fallhöjden 1,2 m erhålles följande partikelhastighet:

$$V = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 1,2} = 4,9 \text{ m/s}$$

Följande kraft alstras i pålen (bortsett från energiförluster i slagdynan):

$$F = 4,9 \cdot 566 = 2773 \text{ kN, vilket motsvarar en spänning av } 2,773 / 0,0552 = 50 \text{ MPa.}$$

Pålen klarar begränsat antal slag med den spänningen!

# Hejarvikt – fallhöjd

## **Varning!**

Moderna påmaskiner är ofta försedda med accelererande hejare. Dessa kan förorsaka stora spänningar i pålarna som i värsta fall kan överbelastas vid slagningen. Ett utredningsuppdrag i Pålkommissionen har som mål att ge riktlinjer för att reducera fallhöjden till en lämplig nivå.



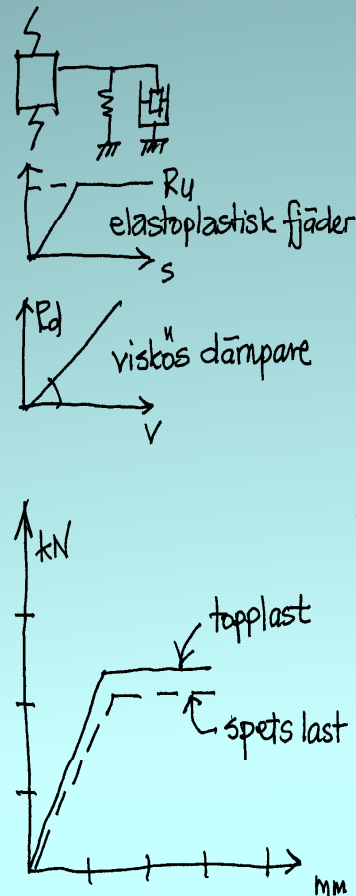
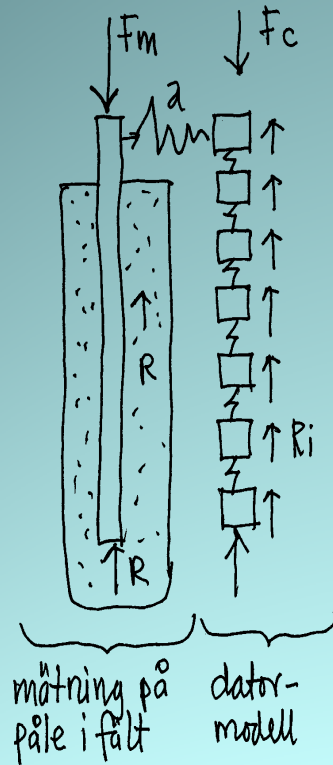
# Datorsimulering

En förfinad beräkning av erforderlig hejarvikt och fallhöjd kan utföras med hjälp av datorprogrammet WEAP (Wave Equation Analysis Program).

# Dragbärförmåga

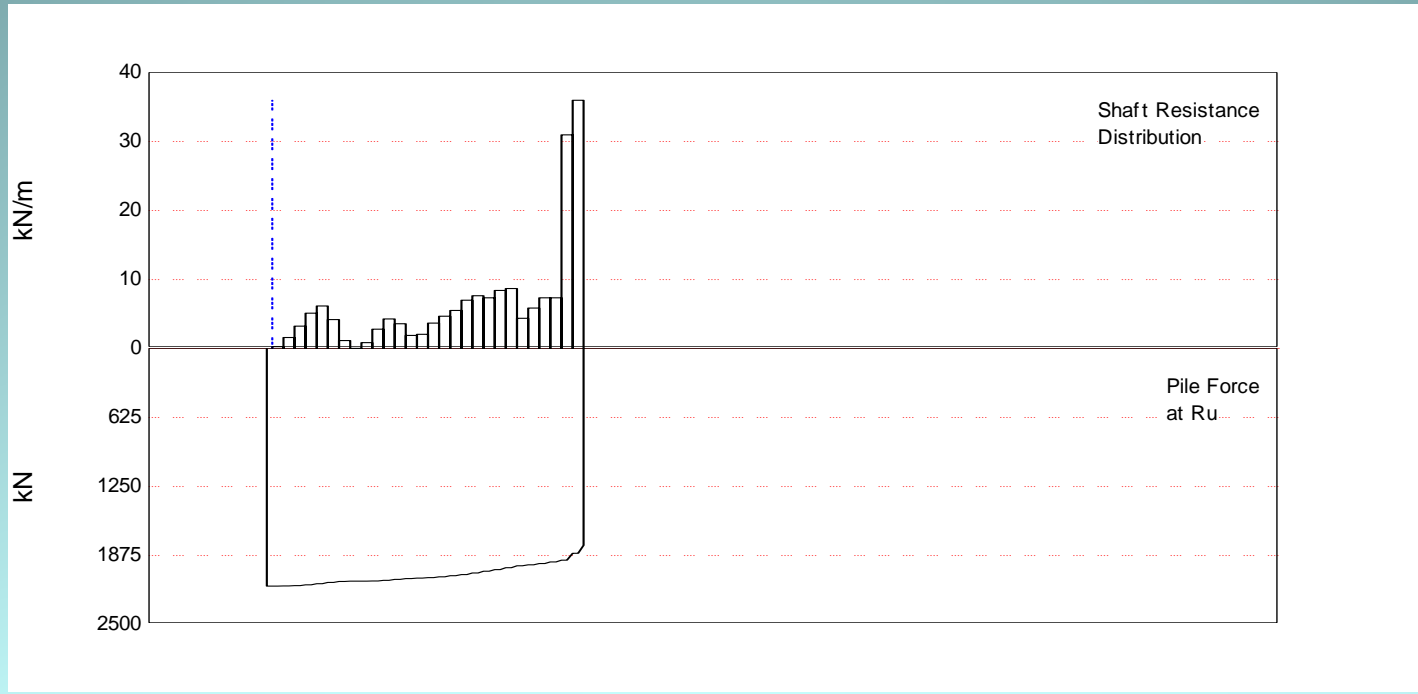
För brostöd och vindkraftverk (och även andra byggnadsverk) kan dragkraft uppträda i pålarna i vissa lastfall. Riktlinjer för beräkning av en påles dragkraft finns i BRO 2004 eller i den nya Eurokoden. Alternativt kan datorprogrammet CAPWAP användas. Om en dragkrafts-beräkning skall baseras på CAPWAP är det nödvändigt att pålarna får ”växa fast” några dagar innan mätning utföres.

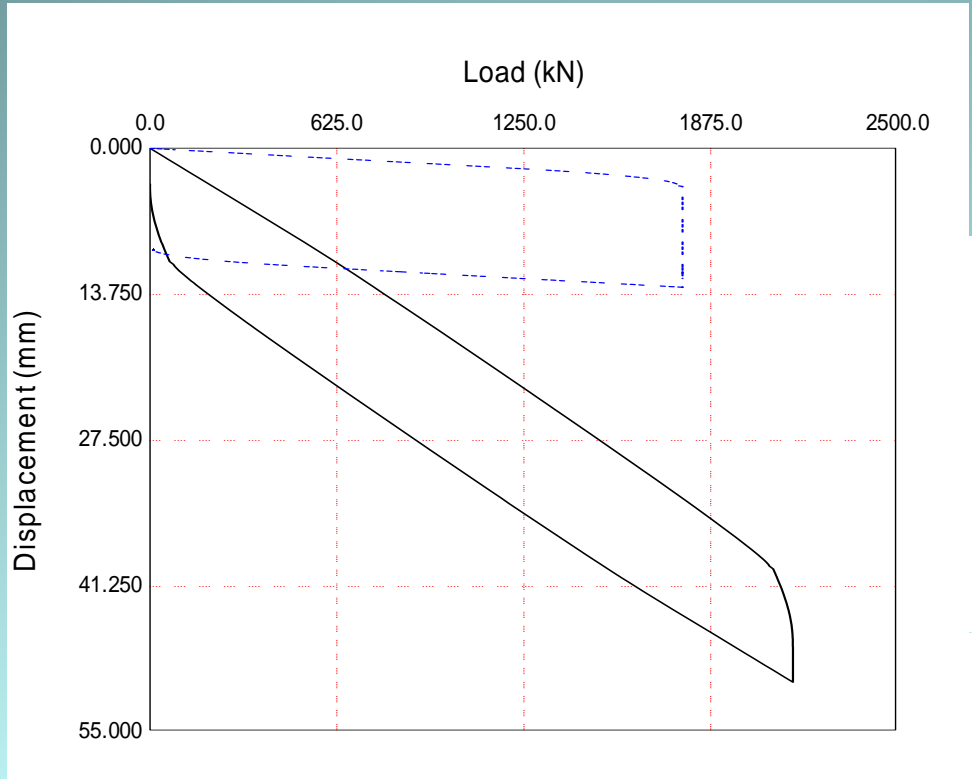
# CAPWAP



CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program) är ett datorprogram som utifrån uppmätta signaler beräknar pålens spets- och mantelbärförmåga. Dessutom erhålles last-deformations-sambandet för pålen i jorden (motsvarar en simulerad provbelastning).

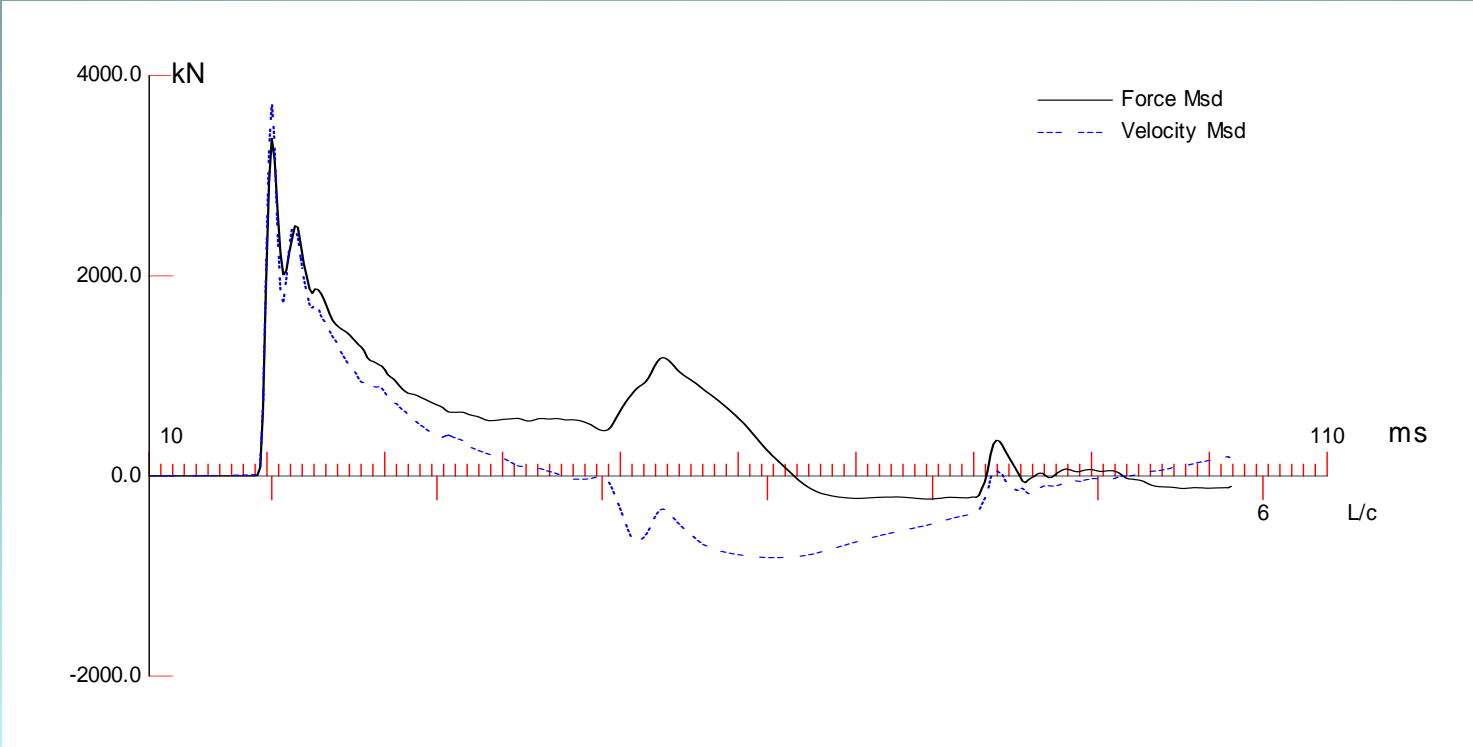
Sgmt No.	Below Gages m	Below Grade m		in Pile kN	of Ru kN	Resist. (Depth) kN/m	Resist. (Area) kPa	Damping Factor s/m
				2150.0				
1	3.0	1.5	0.6	2149.4	0.6	0.39	0.36	1.379
2	5.0	3.5	3.3	2146.1	3.9	1.64	1.49	1.379
3	7.1	5.6	6.6	2139.5	10.5	3.27	2.97	1.379
4	9.1	7.6	10.4	2129.1	20.9	5.15	4.69	1.379
5	11.1	9.6	12.5	2116.6	33.4	6.20	5.63	1.379
6	13.1	11.6	8.5	2108.1	41.9	4.21	3.83	1.379
7	15.1	13.6	2.4	2105.7	44.3	1.19	1.08	1.379
8	17.1	15.6	0.1	2105.6	44.4	0.05	0.05	1.379
9	19.2	17.7	1.8	2103.8	46.2	0.89	0.81	1.379
10	21.2	19.7	5.7	2098.1	51.9	2.83	2.57	1.379
11	23.2	21.7	8.7	2089.4	60.6	4.31	3.92	1.379
12	25.2	23.7	7.3	2082.1	67.9	3.62	3.29	1.379
13	27.2	25.7	3.9	2078.2	71.8	1.93	1.76	1.379
14	29.3	27.8	4.2	2074.0	76.0	2.08	1.89	1.379
15	31.3	29.8	7.5	2066.5	83.5	3.72	3.38	1.379
16	33.3	31.8	9.5	2057.0	93.0	4.71	4.28	1.379
17	35.3	33.8	11.2	2045.8	104.2	5.55	5.05	1.379
18	37.3	35.8	14.2	2031.6	118.4	7.04	6.40	1.379
19	39.3	37.8	15.5	2016.1	133.9	7.68	6.98	1.379
20	41.4	39.9	14.9	2001.2	148.8	7.39	6.71	1.379
21	43.4	41.9	17.0	1984.2	165.8	8.43	7.66	1.379
22	45.4	43.9	17.6	1966.6	183.4	8.72	7.93	1.379
23	47.4	45.9	8.9	1957.7	192.3	4.41	4.01	1.379
24	49.4	47.9	11.9	1945.8	204.2	5.90	5.36	1.379
25	51.4	49.9	14.9	1930.9	219.1	7.39	6.71	1.379
26	53.5	52.0	14.9	1916.0	234.0	7.39	6.71	1.379
27	55.5	54.0	62.5	1853.5	296.5	30.98	28.16	1.379
28	57.5	56.0	72.6	1780.9	369.1	35.98	32.71	1.379
Avg. Shaft			13.2			6.59	5.99	1.379
Toe			1780.9				23556.88	0.270
Soil Model Parameters/Extensions						Shaft	Toe	
Quake		(mm)				7.501	2.752	
Case Damping Factor						0.657	0.620	
Unloading Quake		(% of loading quake)				75	107	
Reloading Level		(% of Ru)				100	100	
Soil Plug Weight		(kN)					0.25	
Soil Support Dashpot						0.000	6.239	
Soil Support Weight		(kN)				0.00	11.10	





— Pile Top  
 - - - Bottom

Ru = 2150.0 kN  
 Rs = 369.1 kN  
 Rb = 1780.9 kN  
 Dy = 46.9 mm  
 Dx = 50.3 mm



# Provbelastning

Dynamisk provbelastning (stötvågsmätning) används i cirka 90 länder.

Statisk provbelastning (den traditionella metoden för att verifiera pålars bärförmåga) används fortfarande runt om i världen.





# Kuriosa

Vissa typer av byggnadskonstruktioner kan få detaljerade regelverk att framstå som mindre relevanta.

