

PÅLKOMMISSIONEN
Tekniskt PM 1:2012

Accelererande hejare
En studie av effektiviteten
utvärderad från stötvågsmätningar

Utförd av

Ingemar Hermansson

Mattias Grävare

Thomas Bjerendal

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid
1. Bakgrund.....	3
2. Tillvägagångssätt.....	3
3. Testade påltyper	4
4. Testade hejare.....	5
5. Sammanställning av mätresultat.....	6
6. Påmaskin med justerbart laddningstryck....	10
7. Iakttagelser – slutsatser.....	13
8. Kommentarer från Junttan.....	13
9. Sammanfattning	14

Accelererande hejare - en studie av effektiviteten utvärderad från stötvågsmätningar

1. Bakgrund

Pålkommissionen tillsatte 2009 en utredning avseende effektiviteten hos de accelererande hejarna, som finns på marknaden sedan ett antal år tillbaka. Utredningen riktas speciellt mot Junttan, eftersom det är den mest förekommande pålmaskinen i Sverige. Anledningen till utredningen är att hejarna är så effektiva att en avsevärt lägre fallhöjd måste användas under drivning och stoppslagning jämfört med konventionell hydraulhejare för att inte pålarna ska utsättas för alltför stora spänningar och – i värsta fall – slås sönder.

Erfarenheten tyder på att man bör reducera fallhöjden till kanske 50 – 60 % jämfört med slagning med traditionell hejare i stoppslagningsskedet. Målet med denna utredning är att komma fram till om det går att föreslå någon generell reduktion av fallhöjden eller om detta måste bedömas från maskin till maskin.

I en utredning av denna karaktär är det nödvändigt att ha en dialog med maskintillverkaren om hur fallhöjden kan väljas och kontrolleras etc.

2. Tillvägagångssätt

Stötvågsmätning med PDA, Pile Driving Analyzer, med olika fallhöjd har utförts i anslutning till "ordinarie" stötvågsmätningar, oftast i samband med efterslagning av pålar. Flertalet av testerna innebar att fältpersonalen ombads slå enstaka slag med förutbestämd fallhöjd. Vid enstaka slag är det svårare att få till en förutbestämd fallhöjd än när hejaren är inställd på automatik och slår en serie slag. Den verkliga fallhöjden bedömdes visuellt och i något fall även från pålmaskinens mätinstrument.

Stötvågsmätning genomfördes även för några pålmaskiner med konventionell hydraulhejare för att få jämförelsematerial.

Vid utvärderingen studerades i första hand pålens partikelhastighet och överförd energi, som integralen av kraft multiplicerad med hastighet fram till den tidpunkt då partikelhastigheten blir negativ. Den överförda energin är alltså beroende av pålens längd, fördelningen av mantelbärförmåga med mera.

Följande begrepp används i redovisningen:

v:	Uppmätt partikelhastighet (m/s)
Bedömd fallhöjd:	Enligt pålpersonal på plats
v_{teor} :	Beräknad anslagshastighet från bedömd fallhöjd enligt $v = \sqrt{2gH}$. Anslagshastigheten bör vara något högre än partikelhastigheten i pålen eftersom slagdynan dämpar stötvågen.
E:	Uppmätt energi (kNm)
E_{teor} :	Hejarvikt multiplicerad med bedömd fallhöjd

3. Testade påltyper

Mätdata finns från cirka 130 slag på 60 pålar av följande påltyper:

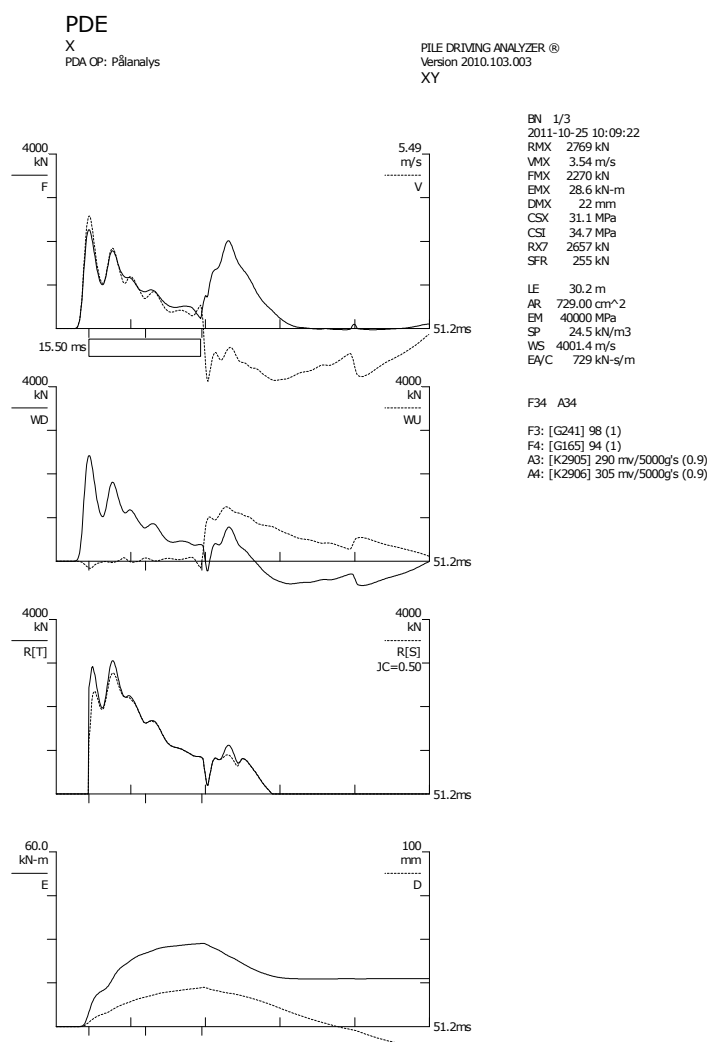
- Betongpålar med tvärsnitt 200 mm x 200 mm, 270 mm x 270 mm (kallas ofta SP2) samt 350 mm x 350 mm.
- Stålpålar med tvärsnitt HE280B, stålrör 611x10 och 911x14,2.

Ett tiotal pålar testades med konventionell hejare, resterande pålar med accelererande hejare.

4. Testade hejare

Junttan med hejarvikt 4 – 7 ton (cirka 100 slag), Banut/ABI Superram med 10 tons hejare (cirka 30 slag). Fallhöjden varierar från 0,1 m till 1,4 m.

Exempel på resultat från stötvågsmätningen redovisas i figur 1.



Figur 1. Exempel på resultat från stötvågsmätning

I varje figur 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

5. Sammanställning av mätresultat

Resultaten redovisas i diagramform.

I figur 2 redovisas kvoten v/v_{teor} i förhållande till bedömd fallhöjd. Av figuren framgår att spridningen för partikelhastigheten är mycket stor för samtliga fallhöjder, möjligen med något mindre variation för de största fallhöjderna. Medelvärdet för kvoten $v/v_{\text{teor}} = 1,07$ för accelererande hejare respektive 0,95 för konventionell hejare. Variationskoefficienten är 19 % för accelererande hejare respektive 16 % för konventionell hejare. Antalet analyserade slag är dock betydligt större för accelererande hejare.

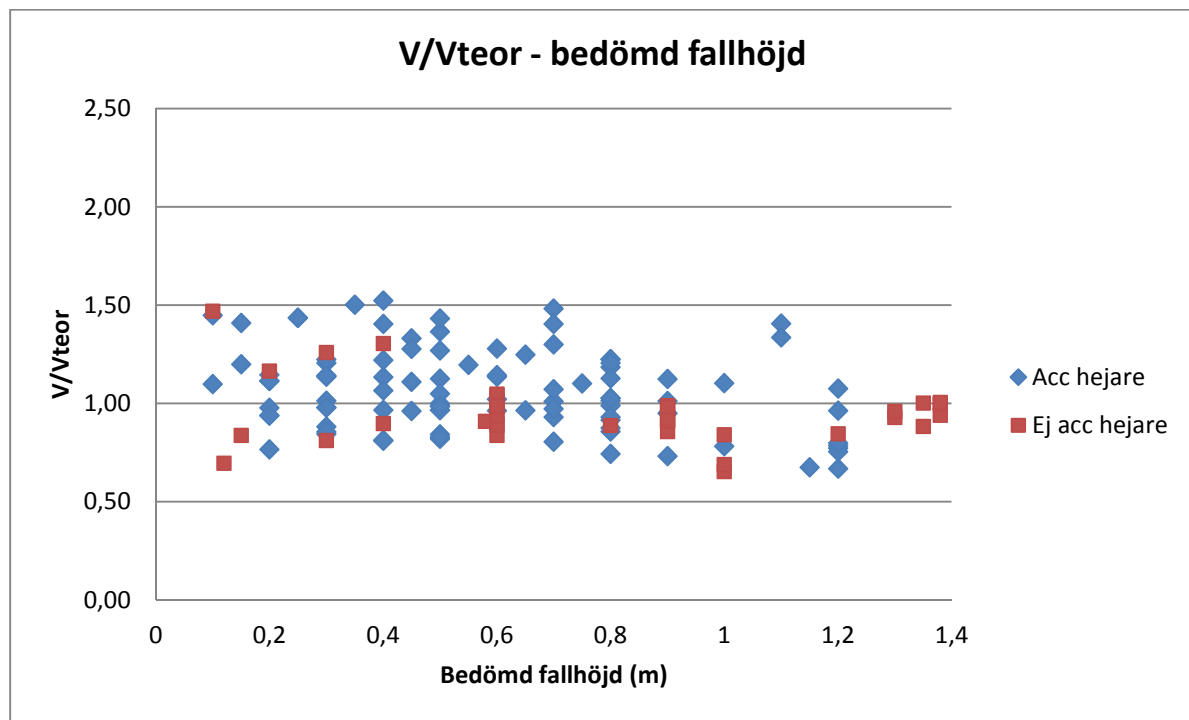
I figur 3 redovisas kvoten E/E_{teor} i förhållande till bedömd fallhöjd. Noterbart är att spridningen är betydligt lägre för stora fallhöjder än för små. Medelvärdet för kvoten $E/E_{\text{teor}} = 1,11$ för accelererande hejare respektive 0,83 för konventionell hejare. Variationskoefficienten är 32 % för accelererande hejare respektive 18 % för konventionell hejare.

I figur 4 redovisas resultat från accelererande hejare uppdelade på stål- och betongpålar. Kvoten v/v_{teor} är högre för stålplålar vilket kan bero på att något dynträ inte brukar användas vid slagning av stålplålar.

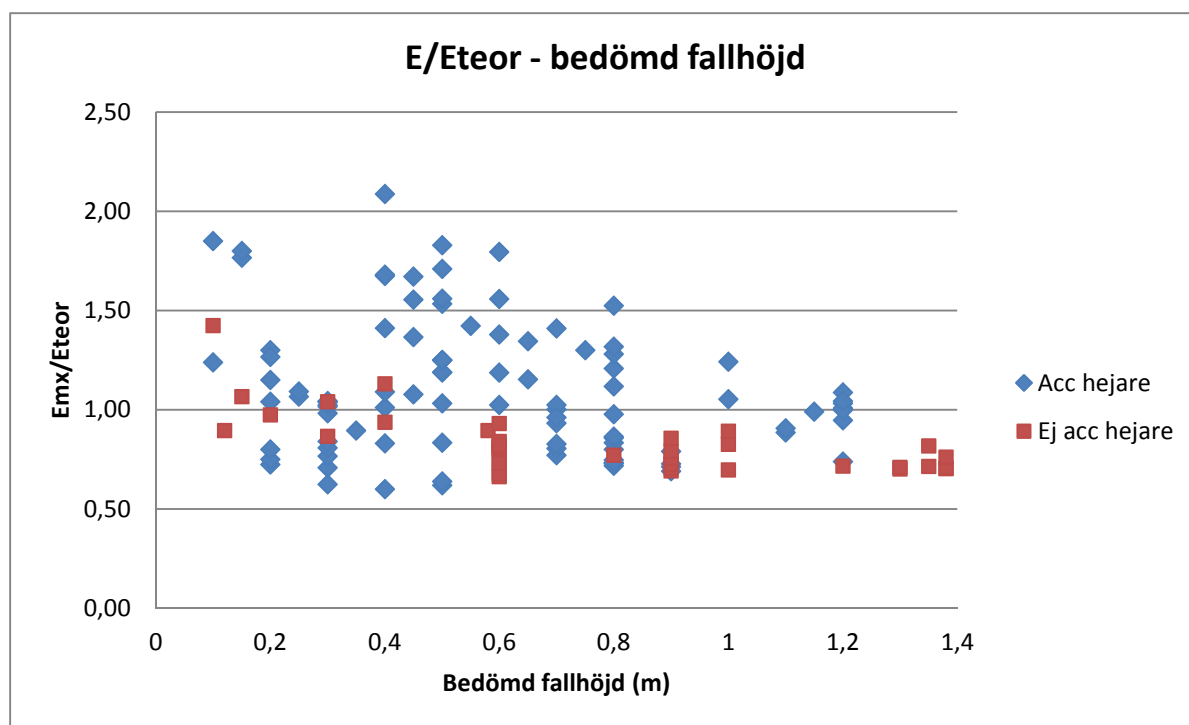
I figur 5 redovisas resultat från accelererande hejare uppdelade på stål- och betongpålar.

I figur 6 och 7 redovisas E/E_{teor} respektive v/v_{teor} i förhållande till olika hejarvikter.

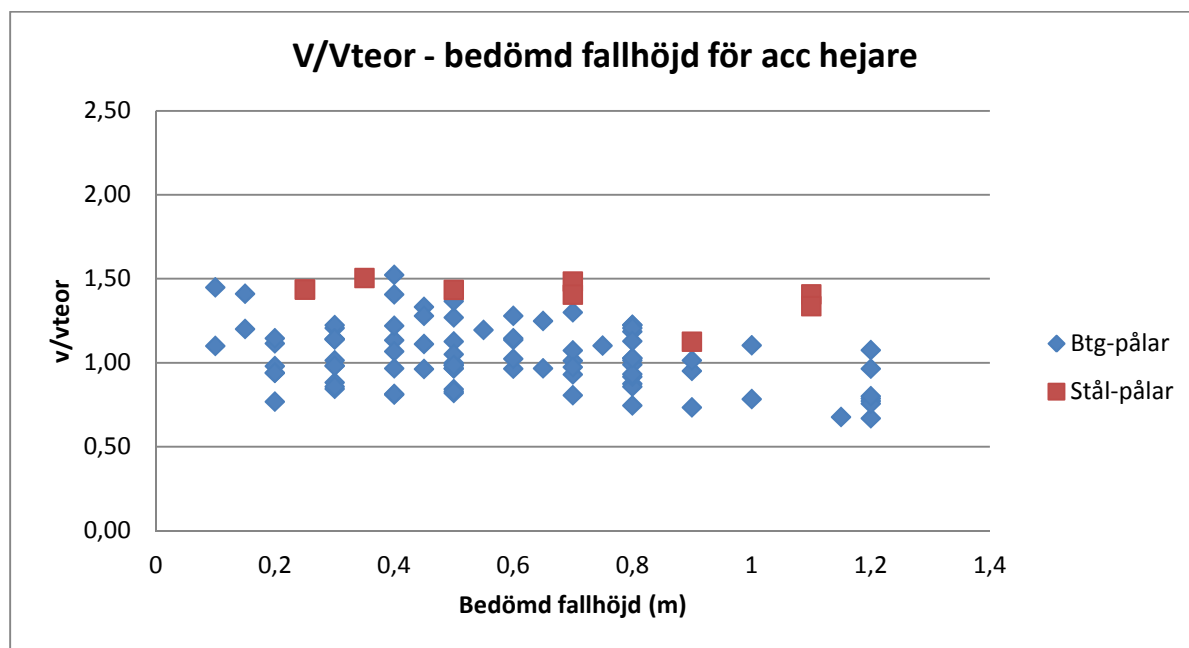
Diagrammen bekräftar den stora spridningen, speciellt för små fallhöjder.



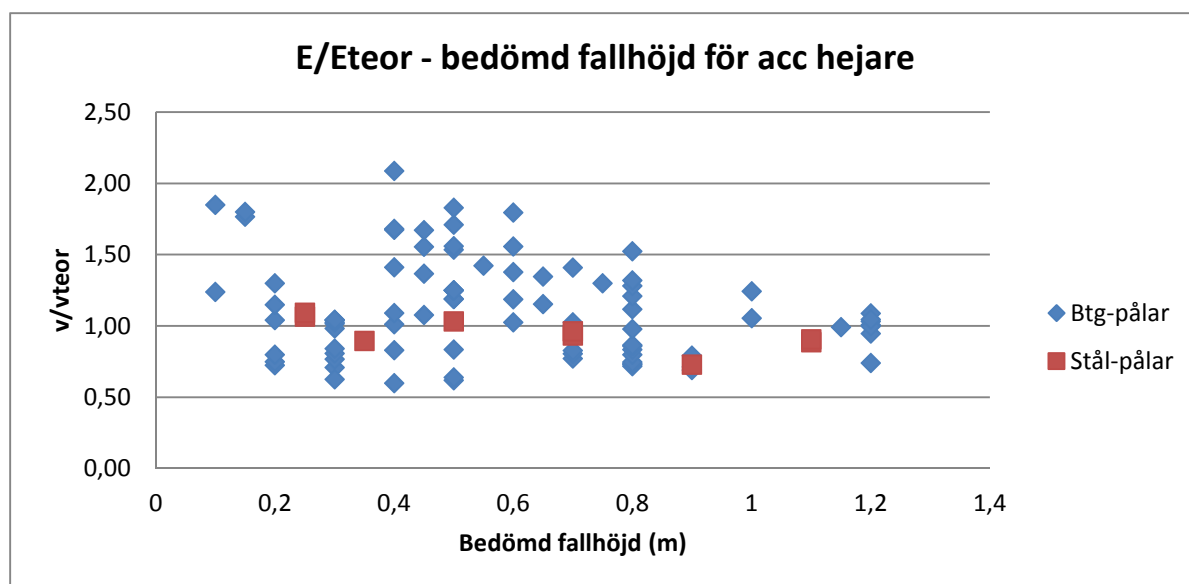
Figur 2. Kvoten v/v_{teor} för olika fallhöjder



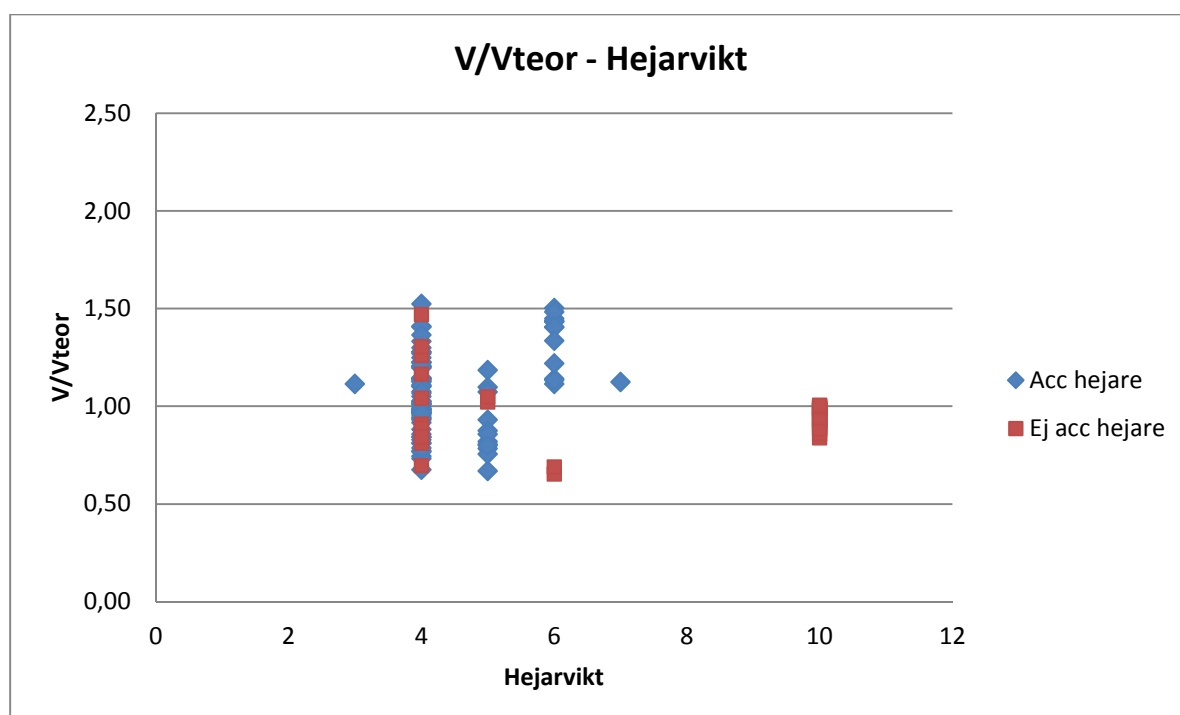
Figur 3. Kvoten E/E_{teor} för olika fallhöjder



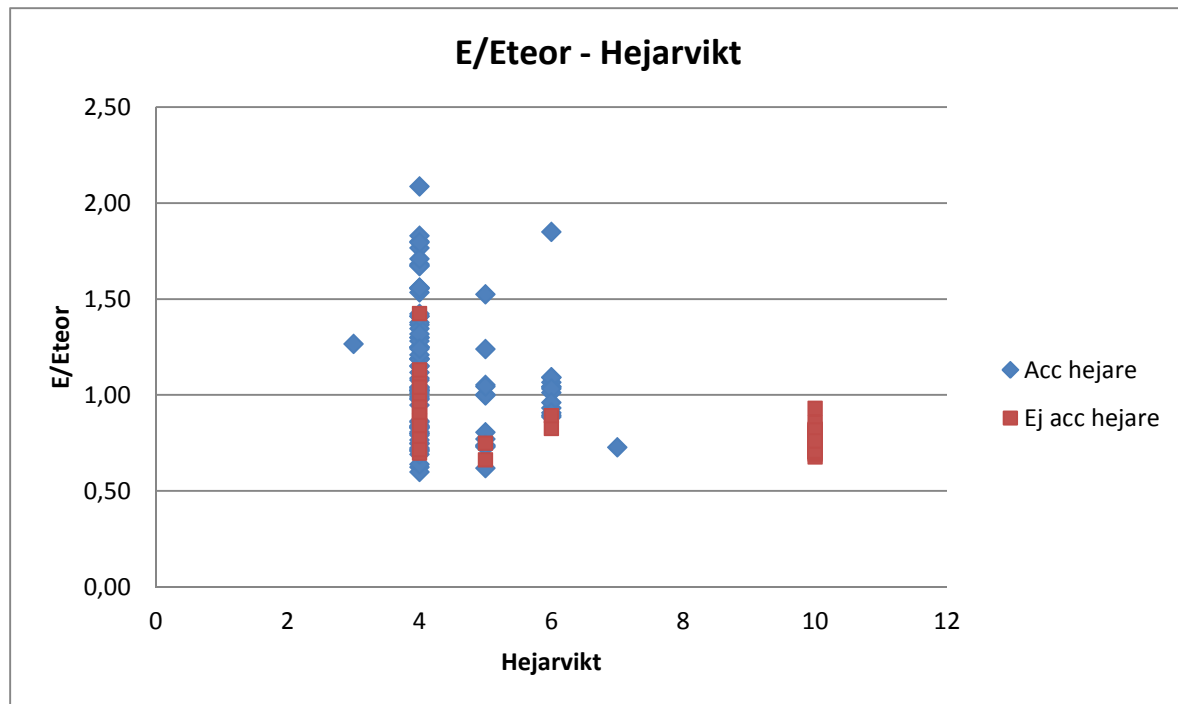
Figur 4. Kvoten v/v_{teor} för olika fallhöjder för accelererande hejare uppdelat på stål- och betongpålar



Figur 5. Kvoten E/E_{teor} för olika fallhöjder för accelererande hejare uppdelat på stål- och betongpålar



Figur 6. Kvoten v/v_{teor} för olika hejarvikter



Figur 7. Kvoten E/E_{teor} för olika hejarvikter

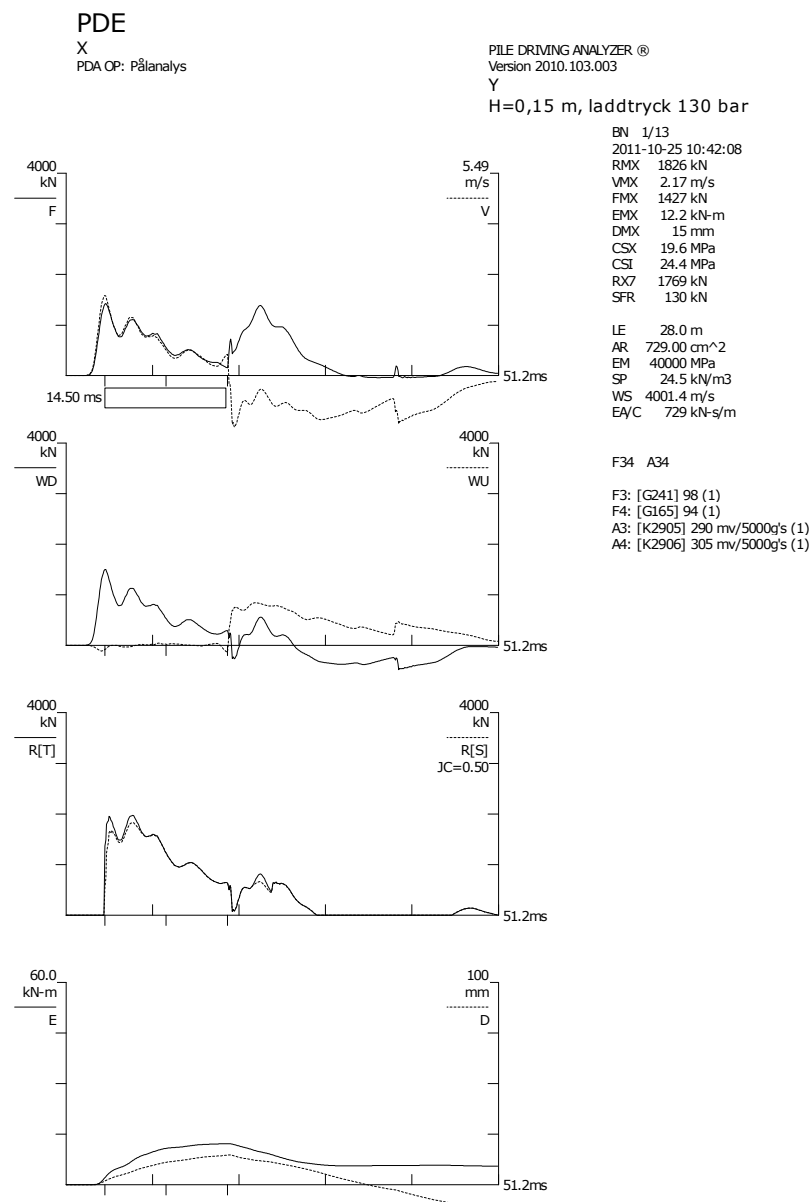
6. Påmaskin med justerbart laddningstryck

Efter att mätdata sammanställts utfördes stötvågsmätning på en ny version av Junttan, kallad "Shark", med justerbart laddningstryck. Enligt manualen ska laddningstrycket ställas in på ett visst värde för den aktuella hejarvikten. Nedan redovisas resultat från en mätning där laddningstrycket varierats för samma hejarvikt, 4 ton. Detta är inte korrekt att göra enligt manualen men redovisas för att illustrera hur en inställning av hejaren kan påverka energiöverföringen. Mätresultaten visar en stor variation i såväl partikelhastighet som i energi för samma fallhöjd när laddningstrycket ändras.

För laddtryck 130 bar erhålls partikelhastighet $v = 2,17$ m/s och energi $E = 12,2$ kNm.

För laddtryck 170 bar erhålls partikelhastighet $v = 2,98$ m/s och energi $E = 21,2$ kNm.

I exemplet är den uppmätta partikelhastigheten 37 % högre, den uppmätta energin 74 % högre för laddtryck 170 bar jämfört med 130 bar för samma fallhöjd.



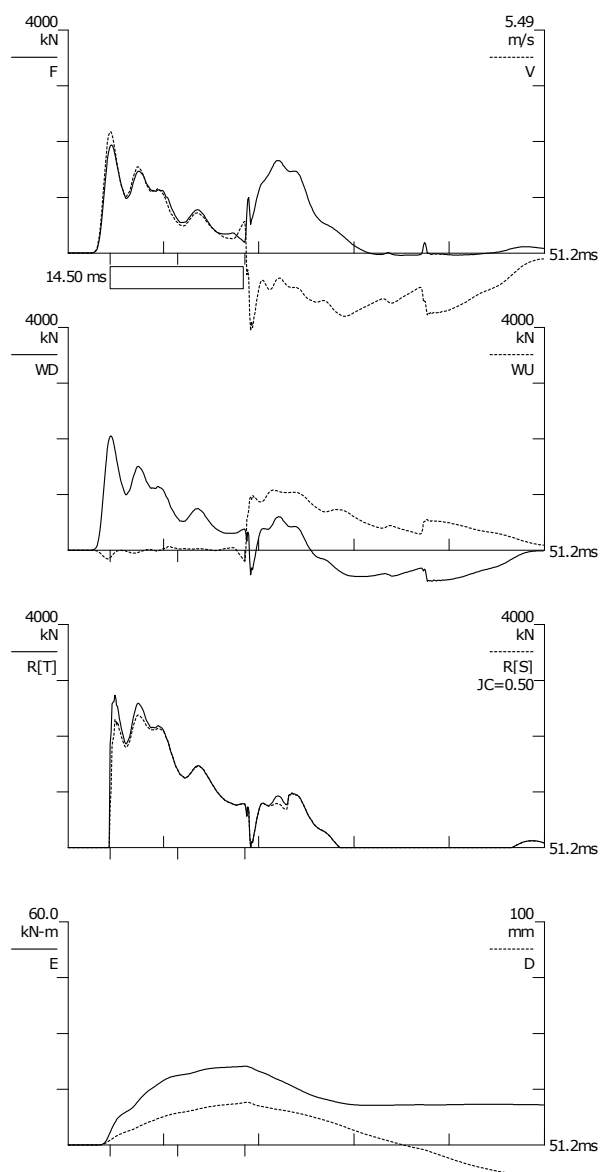
Figur 8. Mätresultat från påmaskin modell "Shark". Falhöjd 0,15 m, laddningstryck 130 bar.

PDE

X
PDA OP: Pålanalys

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2010.103.003

Y
H=0,15 m, Laddtryck 170 bar



BN 1/7
2011-10-25 10:40:41
RMX 2378 kN
VMX 2.98 m/s
FMX 1940 kN
EMX 21.2 kN-m
DMX 19 mm
CSX 26.6 MPa
CSI 30.2 MPa
RX7 2292 kN
SFR 169 kN

LE 28.0 m
AR 729.00 cm²
EM 40000 MPa
SP 24.5 kN/m³
WS 4001.4 m/s
EA/C 729 kN-s/m

F34 A34

F3: [G241] 98 (1)
F4: [G165] 94 (1)
A3: [K2905] 290 mv/5000g's (1)
A4: [K2906] 305 mv/5000g's (1)

Figur 9. Mätresultat från påmaskin modell "Shark". Falhöjd 0,15 m, laddningstryck 170 bar.

7. Iakttagelser - slutsatser

- Spridningen för såväl partikelhastighet som energi är så stor att det inte är realistiskt att upprätta en "Stoppslagningsstabell" för olika fallhöjder.
- Fallhöjden kan oftast inte observeras eller mätas från förarhytten.
- Faktorer som inställning av laddningstryck påverkar effektiviteten avsevärt.
- "Praxis" för stoppslagningsfallhöjd för påltyp SP2 (tvärsnitt 270 mm x 270 mm) är 0,2-0,25 m enligt uppgift från flera pålkransförare.
- Spridningen av kvoterna vid små fallhöjder kan också relateras till att eventuella avläsningsfel på fallhöjden slår hårdare vid små fallhöjder än samma fel vid större fallhöjd. Exempelvis innebär en verklig fallhöjd på 0,25 m ett fel på 25 % när bedömningen är 0,2 m. Samma fel vid 0,5 m fallhöjd är då "bara" 10 %.

I Sverige använder vi oss inte, som i många andra länder, av den faktiska överförda energin som ingångsvärde i energibetraktelser för beräkning av bärförmåga utan förlitar oss istället till stor del på dynamiska stötvågsmätningar. Även om stötvågsmätning i sig är en överlägsen metod jämfört med energiformler så måste man ändå säkerställa att den testade hejaren slår lika från påle till påle och att det inte är upp till känslan hos varje kranförare att ställa in maskinen rätt. Att säkerställa detta är angeläget eftersom stötvågsmätning utförs på relativt få pålar i ett projekt.

8. Kommentarer från Junttan

Personal från Junttan har tagit del av resultaten och bidragit med synpunkter som sammanfattas nedan:

Konditionen hos mellanlägget mellan slagdynan och pålen, i dagligt tal kallat dynträ, påverkar energiöverföringen. Detta är korrekt, men de allra flesta mätningarna utfördes när mellanlägget var kompakterat av ett stort antal slag.

Laddningstrycket ska ställas in för den aktuella hejarvikten och får inte ändras så länge inte hejarvikten ändras.

- Dagens avancerade teknik att accelerera hejare innebär att det är nödvändigt att mäta energin för att få en uppfattning om hur effektiva hejarna är och därmed hur hårt pålarna slås. En mätning av fallhöjden ger inte tillräcklig information om detta. Av de cirka 40 Junttan-maskinerna som används i Sverige är det bara ett fåtal som är utrustade med energimätare. Man framhäver dock att energimätare kan monteras i efterhand.

9. Sammanfattning

Pålkommisionen tillsatte 2009 en utredning avseende effektiviteten hos de accelererande hejarna, som finns på marknaden sedan ett antal år tillbaka. Anledningen till utredningen är att hejarna är så effektiva att en avsevärt mindre fallhöjd måste användas under drivning och stoppslagning jämfört med konventionell hydraulhejare för att inte pålarna ska utsättas för alltför stora spänningar och – i värsta fall – slås sönder.

Traditionen i Sverige har varit att stoppslå pålar till ett sjunkningskriterium (sjunkning/10 slag) med en viss fallhöjd. Syftet med denna studie var att bedöma om det är möjligt att göra en schablonmässig reduktion av fallhöjden för accelererande hejare.

Stötvågsmätningar från såväl stål- som betongpålar slagna med olika hejartyper har utvärderats. Resultaten visar så stor spridning i såväl uppmätt partikelhastighet som överförd energi, att det inte är möjligt att föreslå en generell reduktion av fallhöjden för accelererande hejare. Personal från tillverkaren av den vanligast förekommande pålmaskinen i Sverige, Junttan, har tagit del av resultaten och tillstyrker denna slutsats. Junttans uppfattning är att de accelererande hejarna är så tekniskt avancerade att energimätning är nödvändig för att bedöma effektiviteten hos hejarna.

Om energimätning utförs bedömer utredarna det vara fullt möjligt att översätta dagens stoppslagskriterier till en ”stoppslagningstabell” baserad på energi och eventuellt hejarvikt, istället för fallhöjder. Därmed bör hävdvunnen metod kunna fortsätta att användas också för accelererande hejare. Detta kräver givetvis att tillverkarens regler efterlevs, till exempel avseende laddtryck, och att energimätningarna kan utföras på ett korrekt sätt. En kontroll av energimätningarna vid stötvågsmätningar bör därför göras kontinuerligt för att säkerställa detta. Det hela bygger också på att maskinisterna erhåller korrekt utbildning på instrumenten och att man lär sig hantera dessa.

Detta bör också kunna appliceras på regler för stoppslagskriterier och inmejsling i berg, där det är viktigt att slagenergin är låg.

Troligen kommer problem med bortslagning av pålar att kunna minska eftersom maskinisterna erhåller ett instrument för att utföra arbetet på ett bättre sätt.

I sammanhanget bör nämnas att även de konventionella hydraulhejarna visar en viss variation i partikelhastighet och energi, vilket framgår av de redovisade resultaten.