



MODERNISERING AV GEOTEKNISK HEJARSONDERING

Kristian Eng

Avdeleningen för Teknisk geologi
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet

MSc Thesis, 30 ECTS

ISRN LUTVDG/(TVTG-5163)/1-83/(2020)



Författare

Kristian Eng 1991-

Titel

Modernisering av geoteknisk hejarsondering

Nyckelord

HfA, DPSH-A, hejarsondering, dynamisk sondering, geoteknisk undersökning, accelererad fallvikt

Keywords

HfA, DPSH-A, Swedish ram sounding, dynamic penetration test, geotechnical investigation, accelerated ram

Publicerad av

Avdelningen för Teknisk geologi
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet
Box 118
S-221 00 Lund
Sweden

Division of Engineering Geology
Faculty of Engineering
Lund University

ISRN LUTVDG/(TVTG-5163)/1-83/(2020)

Förord

Detta examensarbete har utförts på avdelningen för Teknisk geologi på Lunds Tekniska Högskola och är den avslutande delen på min utbildning till civilingenjör i Väg- och Vattenbyggnad. Idén till arbetet kom från WSP, som också varit initiativtagare till att arbetet utförs. Examinator är universitetslektor Jan-Erik Rosberg på Teknisk geologi, LTH.

Först och främst vill jag framföra ett stort tack till min huvudhandledare Peter Jonsson på Teknisk geologi, LTH, som har varit en enorm hjälp under arbetets process, både som moraliskt och tekniskt stöd. Stort tack också till Petter Liljegren på WSP som kommit med idén till arbetet, och dessutom varit min biträdande handledare och stöttat mig genom hela processen.

Dessutom vill jag tacka Mats Tingström och Martin Carlson på Geotech för att jag fick komma på studiebesök och se er verksamhet och prata om mitt arbete; Per Erik Austrell på Byggnadsmekanik, LTH, för hjälp att reda ut mekaniska problem; samtliga på avdelningen för fältgeoteknik WSP Sverige för trevliga samtal och visat intresse under fältdagarna 2019; alla som jag varit i kontakt med på SGF som hjälp till med att sprida enkäten; alla som har hjälp till genom att delta och svara på enkäten, och till sist tack till Kristina Gustafsson som har supportat mig genom hela arbetet och varit min största motivationskälla!

Lund, mars 2020

Kristian Eng

Sammanfattning

Hejarsondering är en geoteknisk undersökningsmetod som har använts inom svensk geoteknik sedan 1940-talet. På senare tid halkar dock metoden efter i sin utveckling och lever därför inte upp till de moderna förväntningarna på användbarhet och effektivitet. En modernisering av metoden ses därför som nödvändig och möjligheten att göra detta och eventuella förslag undersöks. Arbetet är utfört på avdelningen för Teknisk geologi på Lunds Tekniska Högskola i samarbete med WSP.

Metodens relevans, det vill säga om metoden fortfarande används och behövs, kontrolleras med hjälp av en enkät som skickats ut till fältgeotekniker och handläggande geotekniker i Sverige. Av denna framgår det att hejarsondering fortfarande är en relevant metod, mycket då metoden står ensam i att kunna utföra sonderingar i fastare jordar. Dessutom visar enkäten att metoden har ett relativt lågt anseende, vilket också styrker motiveringen till att utveckla metoden. Flera problem kan också identifieras från undersökningen och dessa fungerar tillsammans med litteraturstudier som grund för att komma fram till och analysera utvecklingsförslag.

Efter analys identifieras två rekommenderade utvecklingsvägar: **accelererad fallvikt** eller **ytterligare instrumentering** av metoden.

Med en accelererad fallvikt, det vill säga en lättare hejarmassa som istället accelereras med fjäder eller en elastomer, är förhoppningen att tidsåtgången för sonderingsutförandet ska kunna förkortas och eventuellt kunna göra utrustningen något lättare. Fysiken visar dock att denna lösning ger ökade energiförluster och minskad effektivitet, vilket möjligen kan avhjälpas med mellanlägg med varierande styvhet. Hur stora dessa effekter är i praktiken behandlas inte, varför ytterligare studier på detta område rekommenderas. Alternativt bör sambandet mellan resultat från hejarsondering och J_b -totalsondering undersökas ytterligare.

Med ytterligare instrumentering kan dagens data kompletteras med ytterligare mätningar och på så sätt få en bättre bild av jordens egenskaper och motivera den tidsåtgång som metoden innebär.

Nyckelord

HfA, DPSH-A, hejarsondering, dynamisk sondering, geoteknisk undersökning, accelererad fallvikt

Summary

Swedish ram sounding is a geotechnical investigation method that has been in use in Sweden since the 1940s. In later times the method has not been able to fulfill demands in utility and effectiveness, due to lack of development, and a modernisation is seen as necessary. This investigation seeks to investigate the possibility of a modernisation of the method, as well as to discuss different solutions. The work has been carried out at the Division of Engineering Geology at Lund Institute of Technology, Lund University, in collaboration with WSP.

A survey was sent out to field- and managing geotechnicians in Sweden to check if the method is still relevant and viable. The results from the survey show that the method is still in use and common, largely due to the fact that it is the only viable option for ground surveying in hard and compact soils. The survey also shows that Swedish ram sounding has a bad reputation, which further strengthens and motivates a development. Several problems can also be identified through the survey which together with literature studies act as a foundation for an analysis and for suggestions on development solutions.

Mainly two different approaches on solutions are identified after analysis: **accelerated ram** or **additional instrumentation**.

The accelerated ram, i.e. a smaller ram weight that is accelerated with the help of a spring or an elastomer, is expected to mainly reduce the time spent on probing and also possibly reduce the weight of the equipment. However, the physics suggests that this solution increases the energy losses and reduces efficiency, which may be remedied by cushions with varying stiffness. To what extent these effects affect the method in practice is not addressed in this report, why further investigations on the subject is recommended. Alternatively, further investigations should be done into the relationship between results from Swedish ram sounding and "Jb-total"-sounding.

The idea of additional instrumentation is to complement the data that the method relies on for a better survey of the soil, and thus motivate the measure time associated with the use of the method.

Keywords

HfA, DPSH-A, Swedish ram sounding, dynamic penetration test, geotechnical investigation, accelerated ram

Betecknings- och förkortningslista

Latinska bokstäver

a	- acceleration
A_a	- mätstångens tvärsnittsarea
A_k	- spetskonens basarea
A_s	- sonderingsstångens tvärsnittsarea
c	- vågutbredningshastighet
d	- medelpenetration per slag
D	- sondstångens diameter
e	- sondens nedsjunkning i ett mätintervall (nomalt 20 cm)
E	- energi
E_a	- mätstångens elasticitetsmodul
E_k	- kinetisk energi
E_m	- uppmätt slagenergi
E_{mantel}	- energi som krävs för att övervinna mantelfriktion
E_p	- lägesenergi
E_s	- sondstångens elasticitetsmodul
E_{slag}	- uppskattad slagenergi
f	- friktionsmotstånd
F	- kraft
F_i	- infallande kraft
F_r	- reflekterad kraft
F_t	- transmitterad kraft
g	- tyngdaccelerationen
h	- fallhöjd
k	- fjäderkonstant
k_H	- mellanläggets styvhet
L	- stånglängd/sonderingsdjup
m'	- total rörlig massa (stänger, slagdyna och styrstång)
m_H	- hejarens massa
m_S	- stångmassa
M_v	- vridmoment
N_{xx}	- antal slag per XX cm
N_{mantel}	- antal slag som går åt för att övervinna mantelfriktion
q_d	- dynamiskt spetstryck
r_d	- spetsens enhetsmotstånd
S	- neddrivning
t	- tid
v	- partikelhastighet
v_0	- hejarens hastighet
x	- fjäderns kompression
Z	- impedans

Grekiska bokstäver

α	- impedanskvot
γ	- energieffektivitetskvot
ε_m	- uppmätt axiell deformation
η	- energieffektivitet baserat på hejarvikt
τ	- uppmätt friktion

Förkortningar

CPT	- Cone Penetration Test
DPH	- Dynamic Probing Heavy
DPL	- Dynamic Probing Light
DPM	- Dynamic Probing Medium
DPSH	- Dynamic Probing Super Heavy
HfA	- Svensk hejarsondering, metod A
Jb-tot	- Jord-bergsondering total
SPT	- Standard Penetration Test
SGF	- Svenska Geotekniska Föreningen

Innehåll

Förord	i
Sammanfattning	iii
Abstract	v
Betecknings och förkortningslista	vi
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Problemformulering	2
1.4 Avgränsningar	2
2 Hejarsondering	3
2.1 Historik	3
2.2 Utrustning och utförande	5
2.3 Liknande metoder	7
3 Fysikaliska förklaringsmodeller	9
3.1 Slagenergi och kraftöverföring	9
3.2 Mantelfriktion	23
4 Undersökningar	25
4.1 Intervjuer	25
4.2 Enkät	29
5 Analys	37
5.1 Problemidentifiering	37
5.2 Principiella lösningar	39
5.3 Lösningsförslag	40
5.4 Exempelberäkningar - Hejare accelererad med fjäder	45
5.5 Exempel på befintliga accelererade fallvikter	48
6 Slutdiskussion och rekommendationer	50
6.1 Slutdiskussion	50
6.2 Fortsatt arbete	51
7 Slutsats	52
Referenser	53
Appendix	56

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Hejarsondering är en geoteknisk markundersökningsmetod som i Sverige har utförts sedan 1940-talet [1]. Genom att släppa en vikt (hejare) på sondstänger för att uppnå markpenetration och räkna antal slag per längd nedträngning kan information om jordens egenskaper erhållas. Metoden fick en uppdaterad standard och moderniserades på 70-talet, men sedan har utvecklingen stannat av och hejarsondering utförs idag på samma sätt som för nästan 50 år sedan.

Det missnöje mot hejarsondering som idag kan märkas av i geoteknikbranschen utgör utgångspunkten för föreliggande arbete. Metoden uppfattas ofta som svårarbetad, föråldrad och tidskrävande, och en önskan finns om att kunna ersätta eller förbättra metoden. Detta gäller också bland annat WSP, som har kommit med den ursprungliga idén till denna rapport och tagit initiativ till att detta examensarbete genomförs.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka möjligheterna att utveckla dagens hejarsondering eller att ta fram en ny metod för att kunna utföra sonderingar med samma förutsättningar, men enklare, snabbare och säkrare. I detta ingår att skapa en kunskap om hur hejarsondering används idag, vilka problem som präglar metoden när den utförs som nu, och till sist ta fram förslag till hur dessa problem skulle kunna lösas. Detta kommer att ske i tre steg:

- **Litteraturstudie:** Denna syftar till att skapa kunskap om hur metoden fungerar, och bildar grund för att bedöma de förslag som senare föreslås.
- **Undersökningar i form av intervjuer och enkät:** Ska undersöka om hur stort behovet av hejarsondering och dess utveckling är, samt identifiera de problem som de som använder metoden upplever.
- **Analys och lösningsförslag:** Baserat på de två ovanstående punkterna analyseras problemen, och lösningsförslag tas fram. Dessa värderas sedan baserat på resultaten av litteraturstudien.

Fokus ligger från början på att studera hur olika alternativ med accelererad fallvikt eventuellt kan lösa de problem som identifieras.

1.3 Problemformulering

Ett problem med hejarsondering idag, vilket bland annat har identifierats på WSP, är bristen på uppdatering och utveckling. Genom nedanstående punkter ämnar denna rapport att försöka ge förslag på att lösa detta.

- **Beskriva** hejarsondering och liknande existerande metoder.
- **Kategorisera** problem med metoden.
- **Analysa** problemen och försöka konkretisera dem och vad det är som ligger bakom.
- **Föreslå** nya lösningar/metoder.
- **Jämföra** förslagen med olika existerande alternativ.
- **Diskutera** förslagna lösningar och deras rimlighet.
- **Syntetisera** en specifikation för en utvecklad metod.
- **Värdera** den framtagna specifikationen.
- Slutligen **omsätta i handlingsförslag**

1.4 Avgränsningar

Då rapporten har ett mer övergripande förhållningssätt till hejarsonderingsmetoden, kommer endast analytiska modeller att hanteras. Tanken är att rapporten ska vara ett första steg och kunna peka i rätt riktning mot vad som kan vara rimligt att mer detaljerat arbeta med i en vidare utveckling. Mer ingående modellering av specifika delar och tester lämnas alltså till framtida arbeten.

Inte heller försök eller tester genomförs, då dessa är mycket tids- och resurskrävande, och inte har kunnat rymmas inom ramarna för detta arbete.

Arbetet syftar inte heller till att i slutändan ange en ”komponentlista” med vilken utrustning som ska användas för att förbättra metoden. Istället ligger fokus på att ta fram mer generella tekniska specifikationer, eller önskemål, som framtida utrustning bör kunna tillfredsställa.

Ursprungligen var tanken att redovisa en flödesanalys på hejardata för att identifiera felkällor i resultat, men detta har uteblivit.

2 Hejarsondering

Geoteknisk sondering är en typ av markundersökning där någon typ av spets eller spetsigt instrument förs ner i marken för att bestämma dess egenskaper, så som olika hållfasthetsparametrar och olika lagers mäktighet. Sonderingar brukar delas in i primärt två olika kategorier: statisk och dynamisk sondering, även en kombination av de båda kan förekomma. Statisk sondering genomförs genom att en kontinuerlig kraft påförs sondstängerna för att uppnå nedträngning, med andra ord trycks spetsen ner i marken. Vid dynamisk sondering slås istället spetsen ner i marken med hjälp av till exempel en (hydraulisk eller luftdriven) hammare eller som i hejarsonderingens fall, en fritt fallande vikt, även kallad hejare [2].

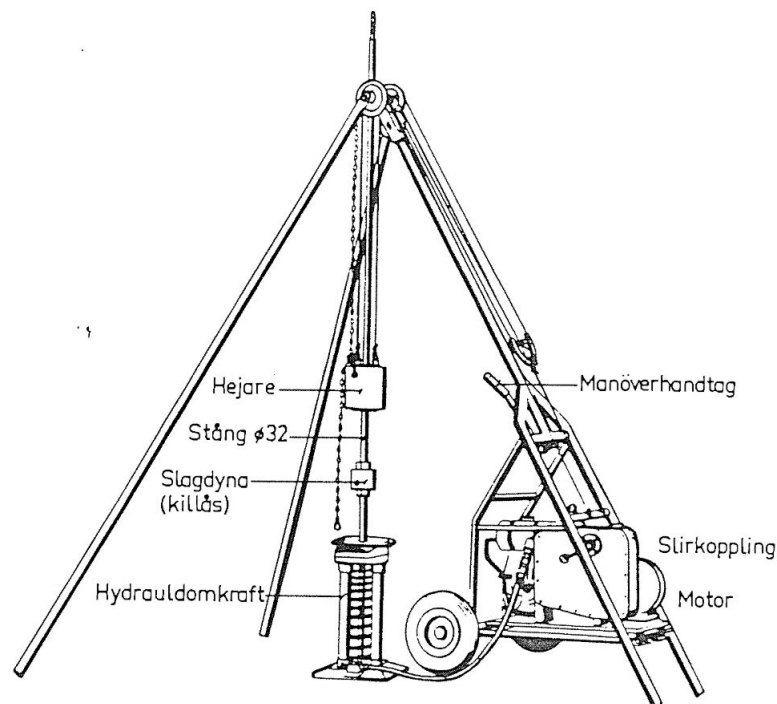
Hejarsondering används främst i grovkornig friktionsjord och morän, där andra sonderingsmetoder såsom CPT, som är en statisk sonderingstyp med elektronisk registrering av spetsstryck och portryck, får svårt att tränga ner. Utförandet sker genom att en konisk spets slås ner i marken och antal slag per 0,2 m penetration (N_{20}) registreras. Hejarsondering används ibland för att undersöka djup till spetsbärande lager inför pålning och spontning, och mätresultaten kan användas för att beräkna hållfasthets- och deformationsegenskaper hos jorden via empiriska samband [3]. Vissa reservationer mot metodens användbarhet i lösare lermorän har på senare tid rests, men det är oklart om dessa har med mätförfarandet eller metodiken att göra, se [4].

2.1 Historik

Markundersökningar med hejarsondering började utföras runt 1940 och gjordes framför allt där marken var fast, och i grövre friktionsjordar där det var svårt att få önskvärd nedträngning med till exempel viktsondering [2]. Vanligen utfördes hejarsondering med hjälp av av en *hejarbock*, ett trebent stativ som håller upppe utrustningen, se figur 1. Hejaren (vikten) var fäst i vajrar och kopplad via en trådskiva i toppen av stativet till en bensinmotor. Med hjälp av en koppling och ett handtag styrdes lyft och släpp av hejaren manuellt av operatören. Hejaren föll ner på ett killås som överförde energin från fallet till sondstängerna för att driva ner spetsen i marken. Dock kunde förfarandet och utformningen av utrustningen variera, då det innan 1964 saknades standard för utförande av hejarsondering. Den 23 april det året fastställde Svenska Geotekniska Föreningen, SGF, den första standarden som reglerade fallhöjd, hejarens vikt, stångdimensioner, sondspetsarnas utformning och slagfrekvensen [5].

Dock kvarstod det flera problem med metoden, främst relaterat till önskemålet om konsekvent slagkraft. Problemen berodde dels på att hejaren var fäst i vajrar istället för att falla fritt, dels på grund av att utförandet fortfarande var till stor del manuellt, och resultatet berodde på operatörens reflexer och erfarenhet. Om operatören slirade med kopplingen så att den inte frikopplade helt när hejaren skulle falla, höll vajrarna tillbaka vikten och bromsade denna så att full slagkraft inte erhöles. Även för stor slagkraft kunde uppnås på grund av för hög fallhöjd, då

det var upp till operatören att bedöma fallhöjden och manuellt frikoppla hejaren, vilket kunde leda till att hejaren släpptes senare (d.v.s. högre upp) än vid den angivna fallhöjden. Även slagdynans infästning i form av ett killås var ett problem. Slagdynan behövde flyttas upp i samband med att sonderingsstängerna drevs ner i marken, men i samband med flytten fästes killåset ofta löst och absorberade slagenergi från de första slagen innan det satt sig ordentligt [5]. 1971 fastslår SGF en ny standard för hejarsondering, metod A eller HfA [5]. Denna standard baseras på försök som Ulf Bergdahl och Rune Dahlberg gjorde under andra halvan av 60-talet, där de särskilt fokuserat på att erhålla en konstant fallhöjd, en fritt fallande hejare och att slagdynan inte påverkar slagenergin beroende på var i slagserien man är, med andra ord att i så stor utsträckning som möjligt eliminera den mänskliga faktorn.



Figur 1: Traditionell hejarsondering i form av hejarbock. [5]

Utredningen visade också att vridning av stängerna hade en stor inverkan på neddrivning av hejarsonden. Genom att vrida stängerna mellan slagen kunde mantelfriktionen minskas och större sonderingsdjup kunde uppnås. Kompletteringar med regelbundna mätningar av vridmomentet då sondstängerna roteras i sonderingshålet kunde ytterligare förbättra mätresultaten, genom att mantelfriktionen kan uppskattas och räknas bort. Därmed uppnås ett bättre värde på spetsmotståndet, och ett bättre värde på jordens fasthet. Det går också att få en indikation på om sonderingen går rakt. Om sonden inte går rakt, ökar både neddrivningsmotstånd och rotationsmoment [6].

Resultatet av utvecklingsarbetet gav den typ av hejarsondering vi känner igen idag: en fritt fallande hejare, en fast slagdyna som är direkt gängad på stängens och mellanlägg gjorda av uretångummi, se figur 3. Vissa justeringar infördes i en ny standard 1979 [6] för att anpassa metoden till den europeiska standarden, men metoden förblir i det stora hela oförändrad [7].

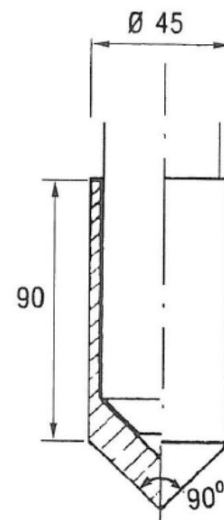
2.2 Utrustning och utförande

Under 2000-talet har en fullständig övergång till den europeiska standarden gjorts, där metodbeteckningen för hejarsondering är DPSH-A [8]. Skillnaderna mellan den tidigare svenska standarden (HfA) och europastandarden (DPSH-A) är relativt få, och rör mestadels olika toleranser på slitage på olika delar [7]. Hejarsondering regleras idag i standarden SS-EN ISO 22476-2:2005 och utrustningen specificeras enligt följande:

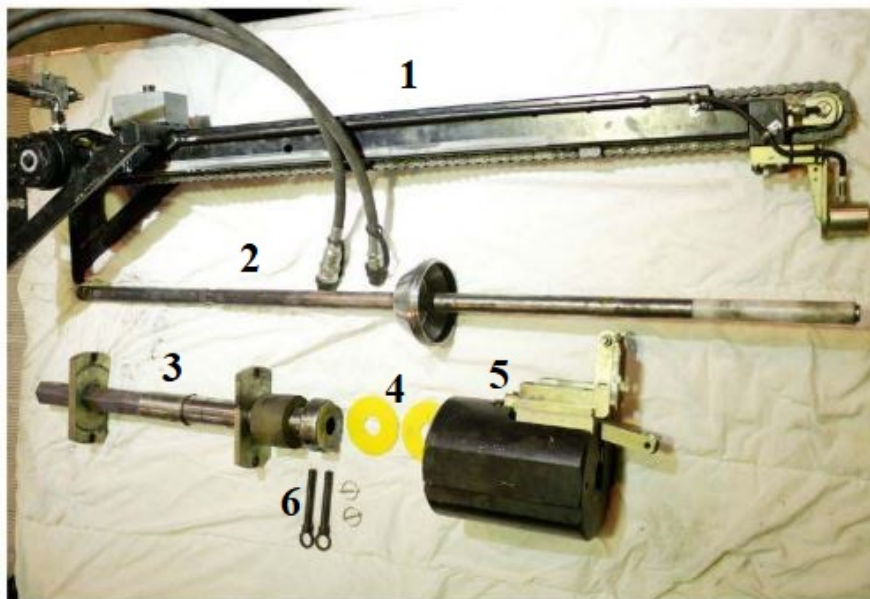
- Frifallshejare med en vikt på $63,5 \pm 0,5$ kg, som ska ha en fallhöjd på 500 ± 10 mm. Hejaren är ihålig för genomlöpning av styrstång.
- Slagdyna som är fastgängad direkt på styrstången. Vikt för slagdyna och stång är högst 18 kg. Diametern skall vara minst 50 mm och maximalt halva hejarens diameter.
- Konformad spets med spetsvinkeln 90° , basyta 16 cm^2 , basdiameter 45,0 mm och en mantellängd på $90,0 \pm 2$ mm, se figur 2. Slitage får inte medföra att basdiametern understiger 43 mm eller att spetsen slits ner mer än 5 mm.
- Sondstänger med en diameter på max 32 mm vars vikt inte överskrider 6 kg/m. Stängerna ska vara raka och får ha en stångavvikelse på högst 0,1% de nedersta 5 m eller 0,2% på återstående längd.

Två stycken plattor av uretångummi, 2 mm i tjocklek och 120 mm i ytterdiameter och med ett 35 mm hål i mitten är inte längre med i standarden efter övergången till europastandard, men anses vara praxis och bör ändå användas [3]. Plattorna placeras mellan hejare och slagdyna med syfte att dämpa stötvågen för större neddrivning, vilket kommer att behandlas närmare i kapitel 3.

SS-EN ISO 22476-2:2005 reglerar, förutom DPSH-A, också fyra andra hejarvarianter: DPL (lätt), DPM (medium), DPH (tung) och DPSH-B (supertung-B). DPL, DPM och DPH är lättare varianter, medan DPSH-B är något tyngre. Som nämnts tidigare är DPSH-A den metod som närmast liknar den tidigare svenska hejarsonderingen HfA, varför det också är denna som används i geotekniska sammanhang i Sverige [3].



Figur 2: Skiss med genomskärning av lös hejarspets. Enheter i [mm]. [3]



Figur 3: (Övre) Bild på monterad hejarutrustning på borrhandsvagn. (Nedre) Hejarutrustning i delar. Sett uppifrån och från vänster: (1) Lyftanordning som lyfter hejarvikten med hjälp av en kedja, (2) styrstång runt vilken hejaren löper med konformad del av utlösningmekanismen, (3) slagdyna med fästordningar, (4) mellanlägg av uretångummi, (5) hejarvikt med utlösningmekanism och (6) säkerhetsbultar. [3]

2.2.1 Utförande

Innan sondering kan påbörjas ska utrustningen enligt SGF geoteknisk fälthandbok [3], sättas upp på ett sådant sätt att sondstänger, hejarmekanismen och annan utrustning ovan jord inte avviker mer än 2% från vertikalen. Vid svåra grundförhållanden kan upp till 5% avvikelse tillåtas, detta måste då noteras i loggbok. Sonderingen ska också ske tillräckligt långt ifrån bebyggelse, borrpunkter och andra konstruktioner så att sonderingen inte påverkas av dessa. Kontroll av dimensioner på utrustning där slitage kan uppkomma, samt sondstängers raket, ska utföras innan sondering påbörjas. Geoteknisk fälthandbok, föreskriver också kontroll av mellanlägg innan sondering vilket inte nämns i standarden [8].

När kontroller är utförda och sonderingen är redo att påbörjas lyfts hejaren 0,5 m och släpps, varvid sonden slås ner. Detta upprepas med en slagfrekvens på mellan 15 och 30 slag/minut. Under utförandet ska hejaren löpa fritt och friktionsfritt runt styrstången. Sonden ska vridas under neddrivning, två varv per 0,2 m eller 2 varv var 50:e slag om $N_{20} > 50$. Om $N_{20} < 5$ behövs ingen vridning mer än vid skarvning av nya sondstänger. För varje meter, och vid avslut av sondering, ska det maximala vridmomentet mätas på sondstängerna så att mantelfriktionen kan beräknas. Detta kan även ge en indikation på om sonden går snett, vilket då ger upphov till ett kraftigt ökat vridmoment. Stopp sker då $N_{20} > 200$ eller om $N_{20} > 100$ erhålls 5 gånger (d.v.s. 1,0 m penetration) eller om ett förutbestämt djup uppnås [3].

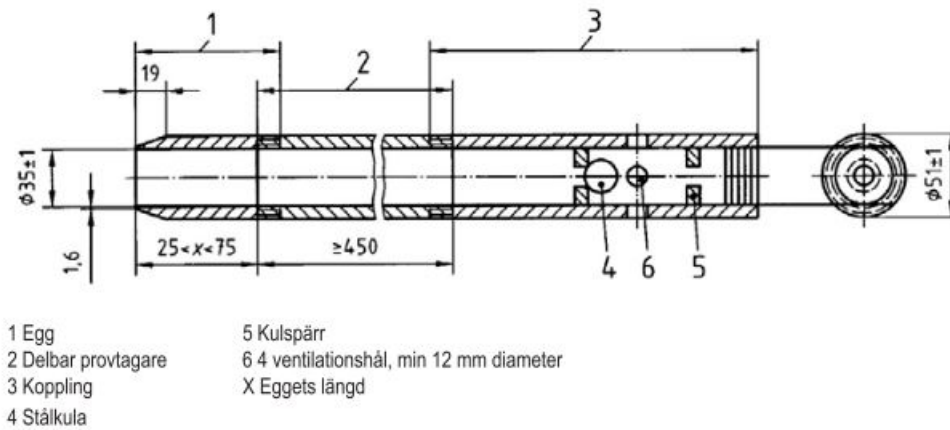
2.2.2 Användning och utvärdering

Främsta användningsområdet för hejarsondering är att undersöka sannolikt stopp för spetsbärande pålar och sponter, d.v.s. bestämma djup till eventuellt berg eller andra spetsbärande jordlager. Via empiri kan också jordparametrar härledas, såsom friktionsvinkel och E-modul. Detta görs främst i friktionsjordar och moräner som är för fasta, eller har för hög sten- och blockhalt, för att andra sonderingsmetoder ska kunna tränga ner.

2.3 Liknande metoder

2.3.1 Standard Penetration Test (SPT)

Standard Penetration Test (SPT) är en metod som liknar hejarsondering. Metoden används i liten utsträckning i Sverige, men är den i världen vanligast använda sonderingsmetoden [9]. Skillnaden mellan SPT och hejarsondering är att man med SPT också utför provtagning. Detta görs genom att den solida konformade spetsen ersatts av en ihålig delbar provtagare, se figur 4, som när den drivs ner i jorden samlar upp prover.



Figur 4: SPT spets/provtagare. [3]

Vid sondering i fastare jordar kan spetsen bytas ut mot en massiv kon för att kunna uppnå nedträngning, men inga prover kan förstås tas. SPT är en något tyngre metod än den i Sverige använda hejarsonderingen DPSH-A, med sin fallhöjd på $76 \text{ cm} \pm 3 \text{ cm}$, och liknar därför mer DPSH-B som har en fallhöjd på $75 \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$. Hejarvikten på 63,5 kg är dock densamma, med skillnaden att SPT har något högre tolerans på avvikelser.

Sonderingen utförs på samma sätt som hejarsondering, en hejarvikt släpps från en höjd varpå neddrivning sker. Metoden skiljer sig dock i att neddrivningen inte sker kontinuerligt genom hela sonderingen, utan förborring sker till det djup där provtagning sker. Detta görs med hjälp av skruvborr eller foderrörsborring. Sondering med SPT och eventuell provtagning sker sedan normalt varje eller varannan meter. Innan provtagning görs, ska borrhålet rensas noga utan att störa och luckra upp kringliggande jord, för att undvika att provet störs. Provtagaren förs sedan ner i borrhålet och neddrivningen sker i steg om 15 cm tills sammanlagt 45 cm nedträngning uppnåtts. Stoppkriterier för SPT är om $N_{15} > 50$ de första 15 cm, eller om $N_{30} > 50$ för resterande längd ($N_{30} > 100$ gäller då massiv kon används), då avbryts sonderingen och nedträngningen registreras. Provtaget material förs försiktigt upp till ytan och läggs i lufttäta behållare för att skickas på analys.

3 Fysikaliska förklaringsmodeller

I följande kapitel behandlas olika fysikaliska fenomen relaterade till hejarsondering, och hur dessa påverkar effektivitet, energi, krafter och neddrivning. Kapitlet syftar till att skapa en förståelse om vad som händer vid ett hejarslag, för att senare i rapporten kunna ge förbättringsförslag.

3.1 Slagenergi och kraftöverföring

3.1.1 Energimätning med instrumenterad mätstång

Ekvation (1)-(9) är samtliga tagna ur [8] om inget annat anges.

Den rörelseenergi E_k som hejaren har när den träffar slagdynan kan, om inga förluster finns, beskrivas av hammarens lägesenergi E_p innan den släpps:

$$E_p = m_H g h \quad [\text{J}] \quad (1)$$

där:

- h är hejarens fallhöjd (m);
- m_H är massan hos hejaren (kg);
- g är jordaccelerationen (m/s^2).

För en hejare på 63,5 kg och en fallhöjd på 0,5 m är rörelseenergin omedelbart innan anslaget ca 311 Joule.

I praktiken uppnås inte denna specifika energinivå då (1) beskriver idealiska förhållanden utan friktion eller andra förluster. Det är därför av stort intresse att kunna mäta den verkliga energi som ett hejarslag genererar. För detta behövs en instrumenterad mätstång, se figur 5, vars utformning beskrivs av [8].

Den instrumenterade stången har samma dimensioner som övriga sondstänger, men är utrustad med trådtöjningsgivare som mäter den axiella deformationen i stången, samt med en accelerometer som mäter den vertikala accelerationen. Accelerometern ska ha ett mätområde på upp till 5000 g.

Mätstången placeras med ett avstånd om minst 10 stångdiametrar under slagdynans ovansida och om ideala elastiska förhållanden antas, kan kraften F , i stången beräknas som:

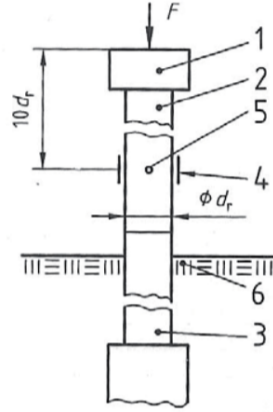
$$F(t) = A_a E_a \varepsilon_m(t) \quad [\text{N}] \quad (2)$$

där:

- ε_m är den mätta axiella deformationen i mätstången vid tiden t (m);
- A_a mätstångens tvärsnittsarea (m^2);
- E_a mätstångens elasticitetsmodul (Pa).

Förklaring

- 1 städ
 - 2 Del av instrumenterad sondstång
 - 3 Sondstång
 - 4 Töjningsmätare (mätningstransduktor)
 - 5 Accelerometer
 - 6 Markyta
- F Kraft
 d_r Stångdiameter



Figur 5: Skiss på uppsättning av mätning av hejarkraftöverföring med instrumenterad mätstång utrustad med två trådtöjningsgivare och två accelerometrar. [8]

Den energi $E(t')$ som transmitteras till sondstängerna i slaget fram till tiden t' efter det att slaget inträffar, fås sedan genom följande samband:

$$E(t') = \int_0^{t'} F(t)v(t)dt \quad [\text{J}] \quad (3)$$

där partikelhastigheten $v(t)$ beräknas genom integration av den uppmätta accelerationen $a(t)$ med avseende på tiden t .

Enligt standarden [8] ska den transmitterade energin i stängerna sedan beräknas som medelvärdet av minst fem mätningar ($n \geq 5$):

$$E_m = \frac{1}{n} \sum_1^n E \quad [\text{J}] \quad (4)$$

Ur (1) och (4) kan en kvot bestämmas som beskriver slagets effektivitet, alltså hur stor del av den teoretiska energin som faktiskt överförs från hammaren till sondstängerna i slaget:

$$\gamma = \frac{E_m}{E_p} \leq 1 \quad [-] \quad (5)$$

3.1.2 Reflektioner i stångändar

Tiden under vilken hammaren överför energi till stängerna kan uppskattas med:

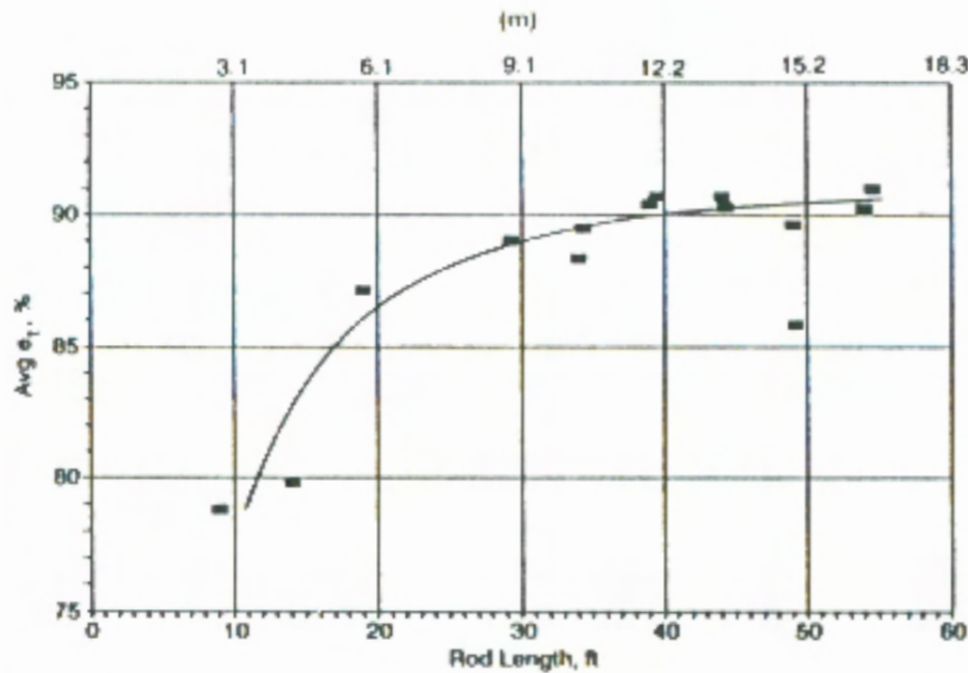
$$t = \frac{2L}{c} \quad [\text{s}] \quad (6)$$

där:

L är längden på sondstänger och spets (m);

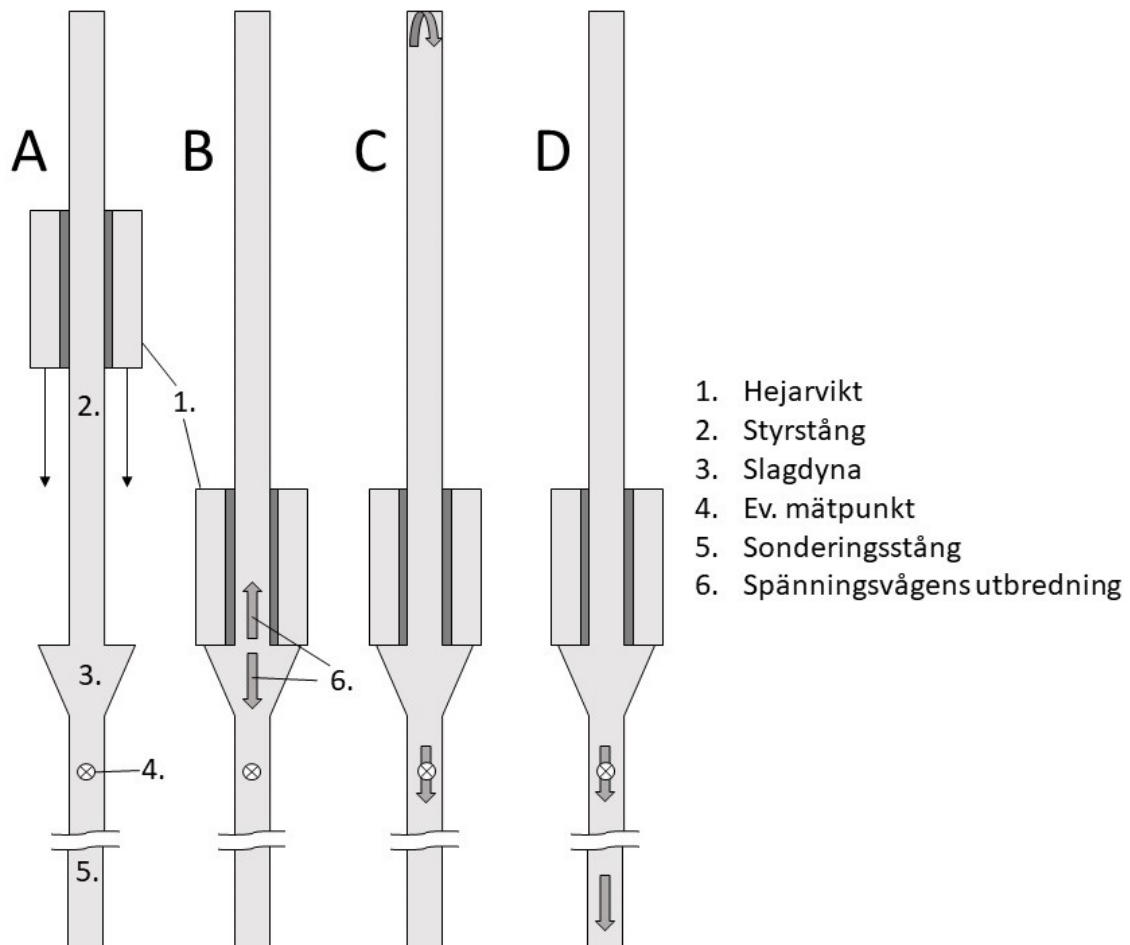
c är spänningstågens utbredningshastighet i stängerna (m/s).

Resonemanget bygger på att hejaren och slagdynan separeras efter det att spänningstågen reflekterats i spetsen och återkommer till slagdynan, varpå hejaren inte längre överför energi till stängerna, och neddrivningen upphör [10]. Detta betyder att energieffektiviteten (γ) blir mindre vid kortare stånglängd, på grund av att reflektionen av spänningstågen avbryter kraftöverföringen, och därigenom också neddrivningen. Försök gjorda av [10] visar emellertid att för längder större än ca 15 m blir effektiviteten oberoende av stånglängden, se figur 6.



Figur 6: Diagram över effektiviteten (i figur angivet som e_t) av energiöverföringen som funktion av total stånglängd. [10]

I styrstången alstras en initieilt uppåtgående dragvåg efter slaget, se figur 7, som reflekteras i toppen, varvid den byter tecken och övergår till en tryckvåg som färdas neråt mot botten och spetsen. Vågen blir då som ett sekundärt slag med en fördröjning, som kan räknas ut med (6), där L i detta fall är stånglängden ovanför slagdynan [5]. Effekten av detta är att två stycken kraftmaxima kan registreras vid mätningar. Detta kan undvikas eller minimeras med hjälp av mellanlägg, som behandlas senare i kapitlet.



Figur 7: Principiell skiss över ett hejarslag. Ej skalenlig.

A) Hejaren (1.) faller och accelererar med hjälp av gravitationen mot slagdynan (3.).

B) Hejarvikten träffar slagdynan varpå spänningsvågor (6.) utbreder sig både nedåt i sondstängerna (5.) och uppåt i styrstången (2.)

C) Den nedåtgående spänningsvågen passerar mätpunkten (4.) och fortsätter mot spetsen. Den uppåtgående spänningsvågen reflekteras i toppen av styrstången och vänder nedåt.

D) Den reflekterade spänningsvågen anländer till mätpunkten och registreras som ett "andra slag".

3.1.3 Spetsens enhetsmotstånd och dynamiskt spetstryck

Spetsens enhetsmotstånd (r_d) är, genom att ta hänsyn till medelpenetrationen per slag (d), ett mått på jordens motstånd [8], och fås teoretiskt genom:

$$r_d = \frac{E_p}{A_k \cdot d} \quad [\text{Pa}] \quad (7)$$

eller med uppmätt energi E_m genom:

$$r_d = \frac{E_m}{A_k \cdot d} \quad [\text{Pa}] \quad (8)$$

där:

A_k är spetskonens basarea (m^2);

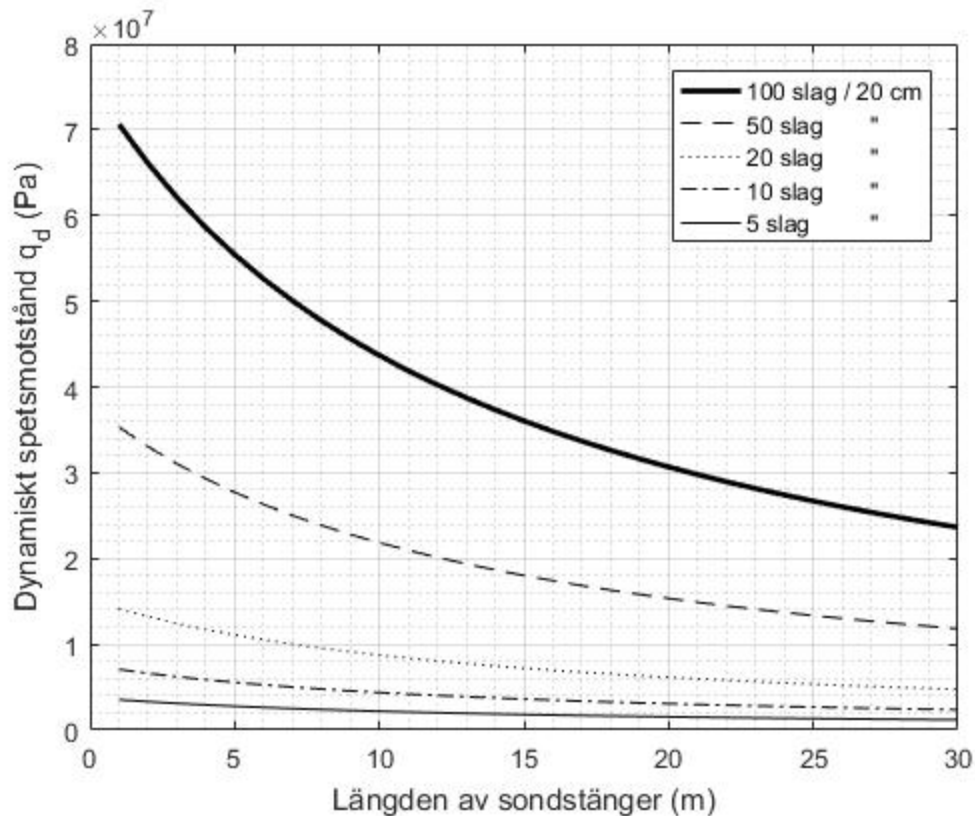
d är medelpenetration per slag ($0,2/N_{20}$) (m).

Beräkningen kan anpassas ytterligare till metodens utförande, genom att ta hänsyn till den utrustning som används. Ekvation (7) eller (8) modifieras då till ett dynamiskt spetstryck (q_d) för att ta hänsyn till den rörliga utrustningen, det vill säga: hejarens, slagdynans, styrstängernas och sondstängernas massa:

$$q_d = \frac{m_H}{m_H + m'} r_d \quad [\text{Pa}] \quad (9)$$

där:

m' är den totala "rörliga" massan hos sondstänger, slagdyna och styrstång (kg).



Figur 8: Diagram som visar teoretiskt dynamiskt spetstryck q_d (Pa) beroende på stånglängd för olika medelantal slag per 20 cm, framtaget ur (7) och (9). Antal slag har valts efter rekommendationen i [8] att DPSH-A bör ligga mellan 5 och 100 slag per 20 cm.

En beräkning av dynamiskt spetstryck baserat på (7) och (9), se figur 8, visar att när förhållandet mellan hejarens massa och massan hos stängerna minskar,

det vill säga när sonderingsdjupet blir större, så minskar också det dynamiska spetstrycket, och därigenom spetsens förmåga att penetrera jorden. Den ökade massan av sondstängerna innebär att mer energi av hejarslaget går åt för att sätta massan av stängerna i rörelse innan jordpenetration kan uppnås.

3.1.4 Impedans och transmission av kraft och spänningsvågor vid ändring av tvärsnittsarea

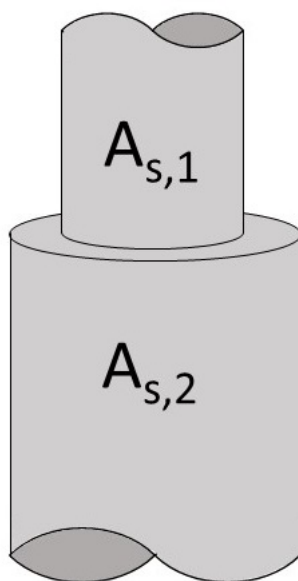
När hejaren träffar slagdynan skapas en spänningsvåg i stängen. Om en förändring i stängens impedans (Z) sker,

$$Z = \frac{E_s A_s}{c} \quad [\text{Pa s m}^{-1}] \quad (10)$$

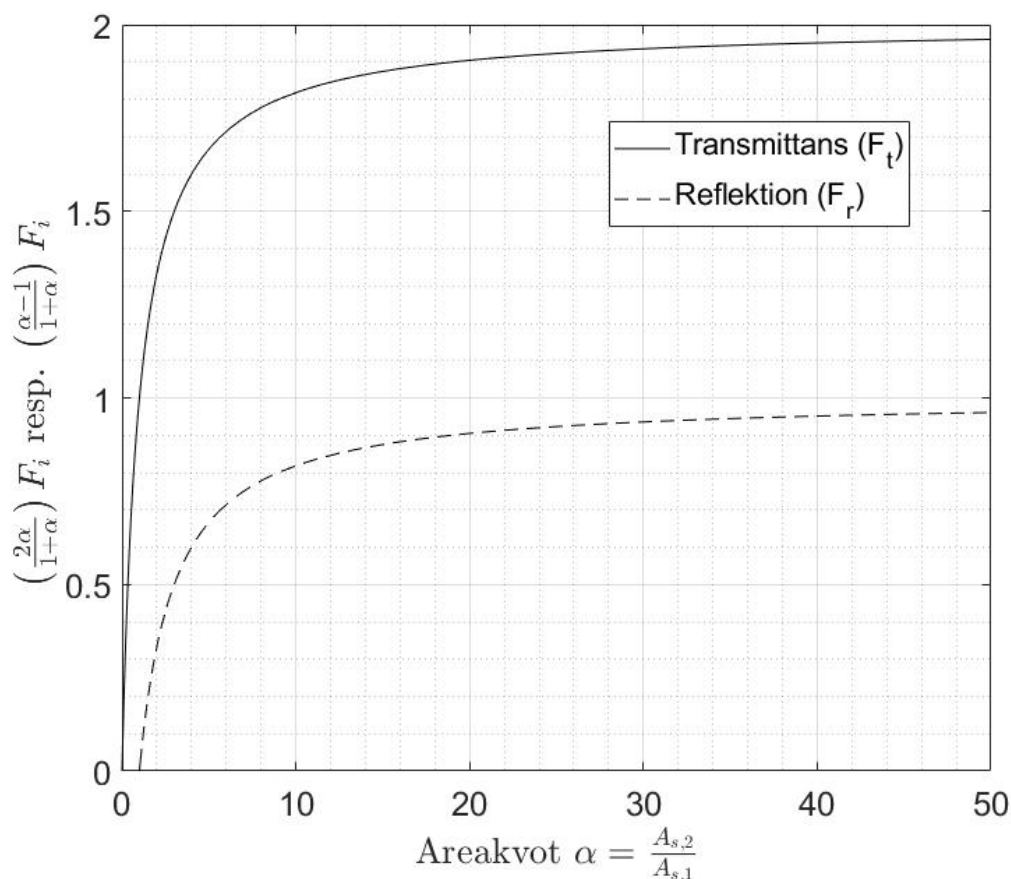
kommer delar av spänningsvågen att reflekteras medan resten färdas vidare, transmitteras, i gränsövergången. Transmissionen respektive reflektionen beror på impedanskvoten (α). Om materialegenskaper (E -modul E och vågutbredningshastighet c) är samma i inkommande och utgående sektion bestäms α endast av tvärsnittsarean enligt,

$$\alpha = \frac{Z_{s,2}}{Z_{s,1}} = \frac{\frac{E_{s,2} A_{s,2}}{c_2}}{\frac{E_{s,1} A_{s,1}}{c_1}} = \frac{A_{s,2}}{A_{s,1}} \quad [-] \quad (11)$$

med index 1 för inkommande och 2 för utgående sektion, enligt figur 9. Se vidare [11].



Figur 9: Skiss över stång med areaförändring och beteckningar.



Figur 10: Graf baserad på (12) och (13), som visar andelen av kraften som transmitteras respektive reflekteras i gränsen mellan sektioner med olika areor.

Om en förändring sker i tvärsnittsarean, som till exempel vid övergång mellan slagdyna och sondstång så sker alltså transmission respektive reflektion av kraft. Den transmitterade kraften F_t beräknas genom:

$$F_t = \left(\frac{2\alpha}{1+\alpha} \right) F_i \quad [\text{N}] \quad (12)$$

Den kraft som inte transmitteras, reflekteras tillbaka i samma sektion som den utgick ifrån enligt:

$$F_r = \left(\frac{\alpha-1}{1+\alpha} \right) F_i \quad [\text{N}] \quad (13)$$

där index i betecknar den inkommande kraften [11]. Krafttransmissionen redovisas grafiskt i figur 10.

3.1.5 Hejarens massa

I Wang et al. [12] gjordes en analys av hur hammarens massa samt mellanlänggens styvhet inverkar på kraft, energi och neddrivning vid pådrivning¹. Tre olika metoder används för att undersöka hammarmassans och mellanlänggens effekt:

- Energi, rörelsemängd och dess bevarande
- Vågteori
- Tester med fysiska modeller

Följande tre avsnitt, ”Energi och rörelsemängd”, ”Vågteori” och ”Modell” bygger på Wang et al. [12].

Energi och rörelsemängd:

Principen om energins och rörelsemängdens bevarande i en stöt kan delas in i två olika fall: oelastisk och elastisk stöt. Ett effektivitetsmått för den slagenergi som överförs i stöten, $\eta_{oelastisk}$ och $\eta_{elastisk}$ kan beräknas:

$$\eta_{oelastisk} = \frac{\frac{m_H}{m_S}}{\frac{m_H}{m_S} + 1} \quad [-] \quad (14)$$

och

$$\eta_{elastisk} = \frac{4 \frac{m_H}{m_S}}{\left(\frac{m_H}{m_S} + 1\right)^2} \quad [-] \quad (15)$$

där:

m_H är hejarens massa (kg);
 m_S är sondstängernas massa (kg).

Resterande energi blir förluster såsom värme, ljud och deformationer.

Vidare kan jordpenetrationen S uppskattas ur:

$$S_{oelastisk} = \frac{\frac{m_H}{m_S}}{\frac{m_H}{m_S} + 1} \frac{E_k}{f} \quad [\text{m}] \quad (16)$$

och

$$S_{elastisk} = \frac{4 \frac{m_H}{m_S}}{\left(\frac{m_H}{m_S} + 1\right)^2} \frac{E_k}{f} \quad [\text{m}] \quad (17)$$

där:

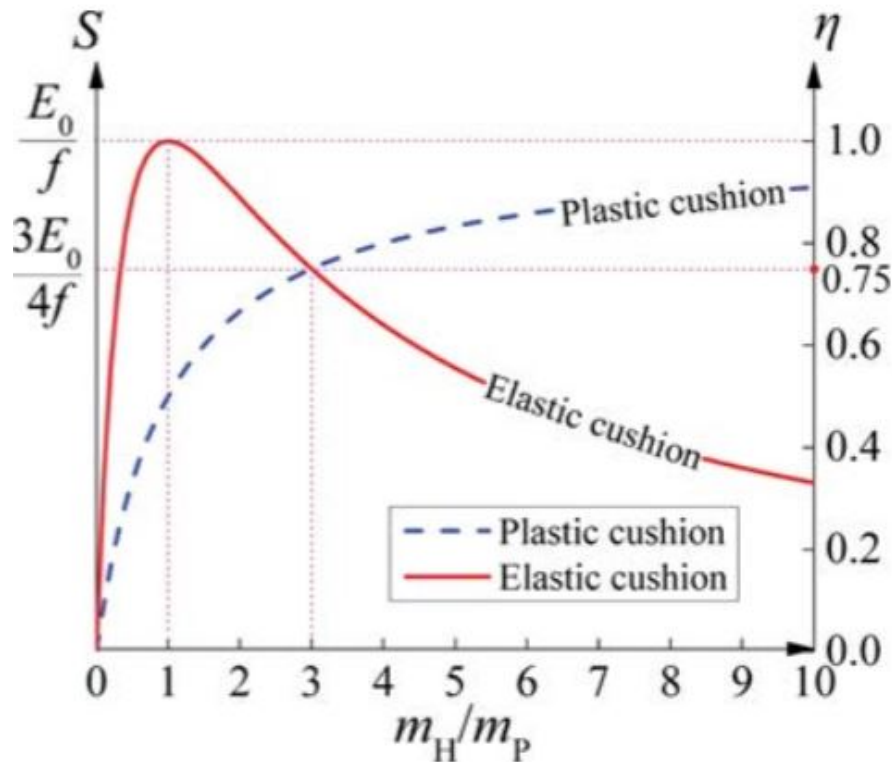
E_k är kinetisk energi;
 f är neddrivningsmotståndet på grund av friktion².

¹Trots att artikeln riktar sig specifikt mot pådrivning, antas teorierna också tillämpningsbara för hejarsondering. Detta då resonemangen i artikeln endast tar hänsyn till pålens eller stängernas massa, och inte material, utformning och dimensioner.

²Ekvation (16) och (17) förutsätter att f är konstant.

Härledning till ovanstående resonemang återfinns i [12].

En grafisk representation av (14), (15), (16) och (17) visas i figur 11. För en elastisk stöt ökar effektiviteten η med ökad hejarmassa relativt stängernas massa då $m_H < m_S$ och är som störst då $m_H = m_S$, för att sedan minska igen med ökad m_H . Samma resonemang gäller för neddrivningen S i en elastisk stöt. Anledningen till minskningen i η och S då $m_H/m_S > 1$ är att kropparna antas separera från varandra i en elastisk stöt varvid kraftöverföringen upphör.

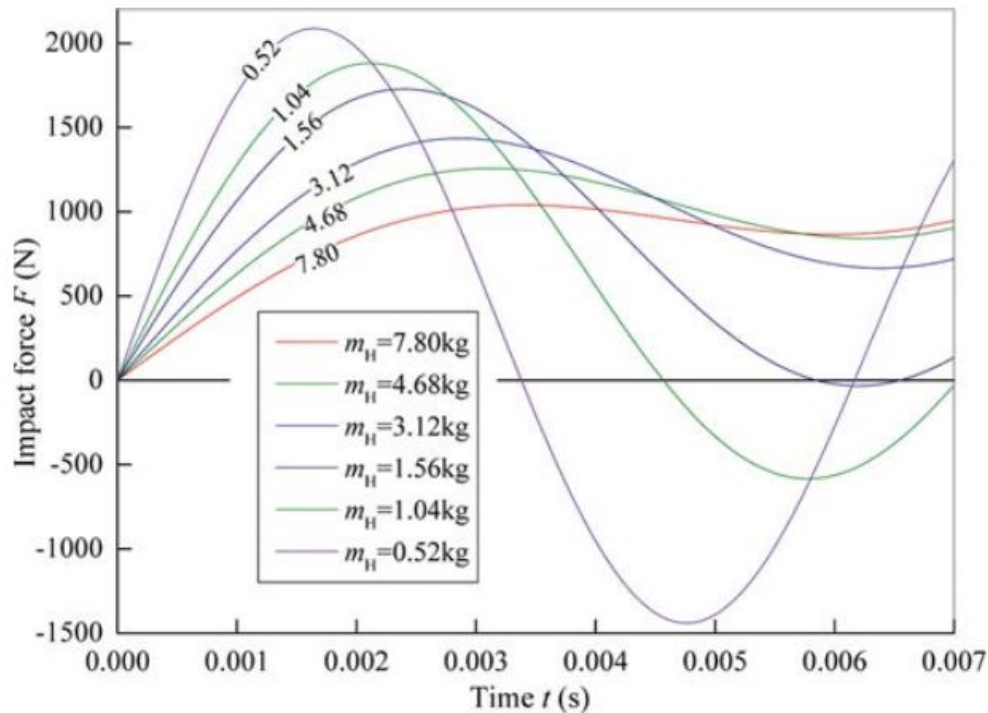


Figur 11: Graf som visar teoretisk effektivitet för energiöverföring η vid oelastisk respektive elastisk stöt som funktion av kvoten mellan hammarens massa m_H och stängernas massa m_S (i figur m_P). [12]

För en oelastisk stöt gäller att $\eta \rightarrow 1$ då $\frac{m_H}{m_S} \rightarrow \infty$, vilket också analogt gäller för neddrivningen S .

Vågteori:

Samma fenomen som de som beskrivs i avsnittet ovan kan utvärderas med hjälp av vågteori³. Resultaten av denna analys framgår av figur 12. Här har anslagskraften plottats mot tid för några olika kombinationer av fallhöjd och hammarmassa (m_H) där anslagsenergin hållits konstant. Då hammarens massa är mindre än stängernas ($m_H < m_S$) uppstår efter en tid en ”negativ anslagskraft”, som tolkas som att hammaren separeras från slagdynan. När hammarens massa är större än den hos stängerna ($m_H > m_S$) förblir kraften positiv, varpå separation inte uppstår och kraftöverföringen förlängs.



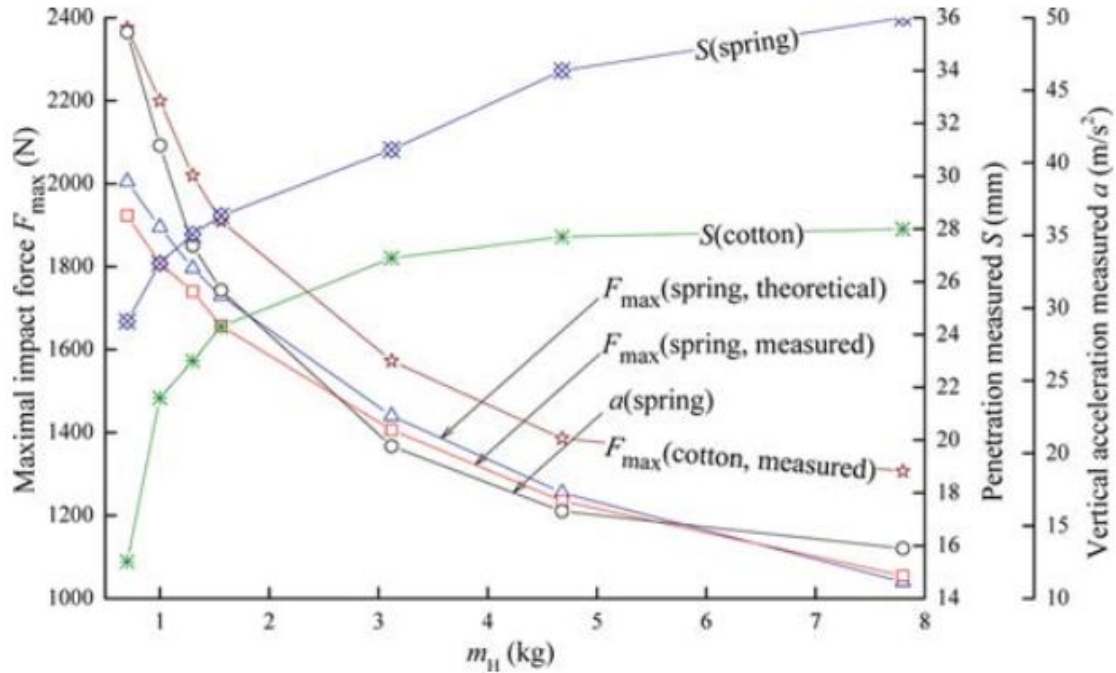
Figur 12: Kraft-tiddiagram som illustrerar anslagskraft beroende på hejarens massa m_H . Påsens (eller stängernas) massa är i detta fall $m_S = 1,56$ kg. Energin är konstant för de olika massorna, vilket uppnås genom att tyngre vikter släpps från lägre höjd. Negativ kraft innebär att hejaren separerar från slagdynan. [12]

Modell:

I artikeln [12] redovisas hur modellerna ovan testas med försök som genomförs med samma förutsättningar som tidigare: energinivån hålls konstant genom att släppa större massa från en lägre höjd. Testerna gjordes med en fjäder som dämpande mellanlägg för att efterlikna en elastisk stöt och med bomulldynor för att efterlikna en oelastisk stöt. Resultaten visas i figur 13.

Försöken bekräftar det som visats i de två tidigare beräkningsmodellerna, att en större hejarmassa i förhållande till stångmassa ger en större neddrivning då energin hålls konstant. Modellen bekräftar också vågteorins beräkningar att då $m_H > m_S$ sker ingen separation mellan hammaren och slagdynan, varför S fortsätter öka med ökad m_H även vid elastiska stötar, vilket framgår av kurvan $S(\text{spring})$ i figur 13.

³Härledningen för detta kommer inte att redovisas i rapporten, men finns i Wang et al. [12]



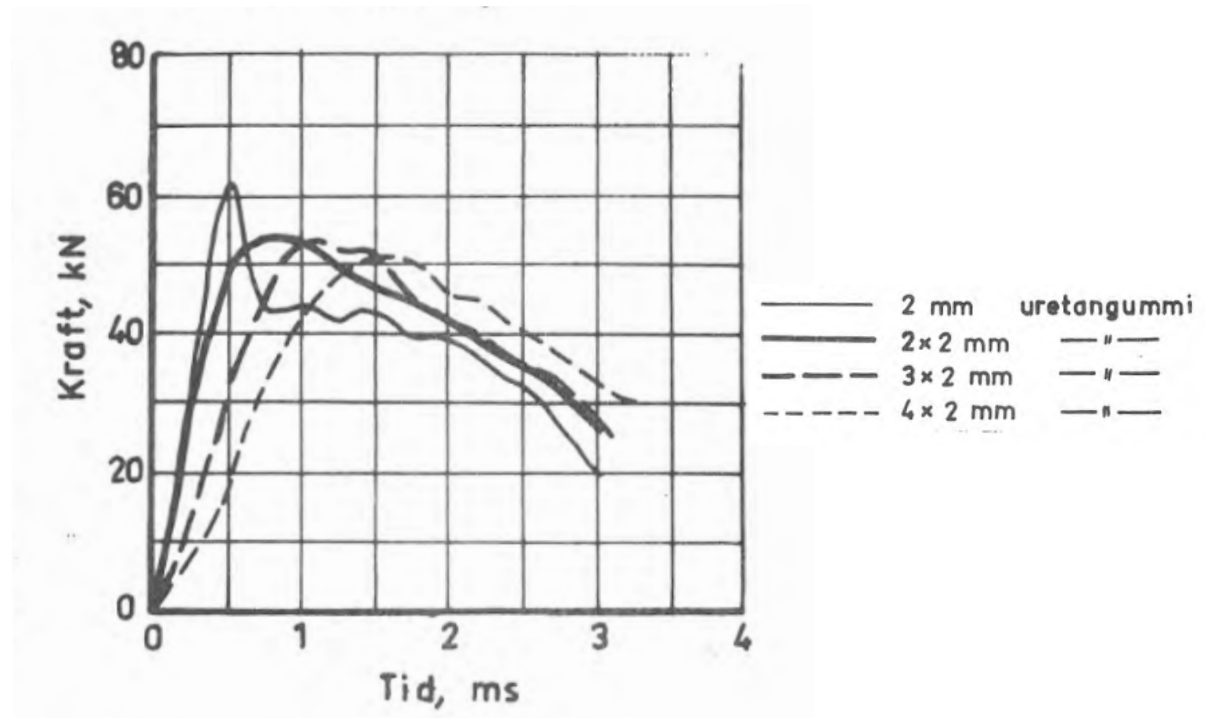
Figur 13: Modellförsök gjorda av Wang et al. 2016. Då $m_H > m_S$ sker ingen separation mellan hammaren och slagdynan, varför S fortsätter öka med ökad m_H även vid elastiska stötar. [12]

3.1.6 Mellanlägg

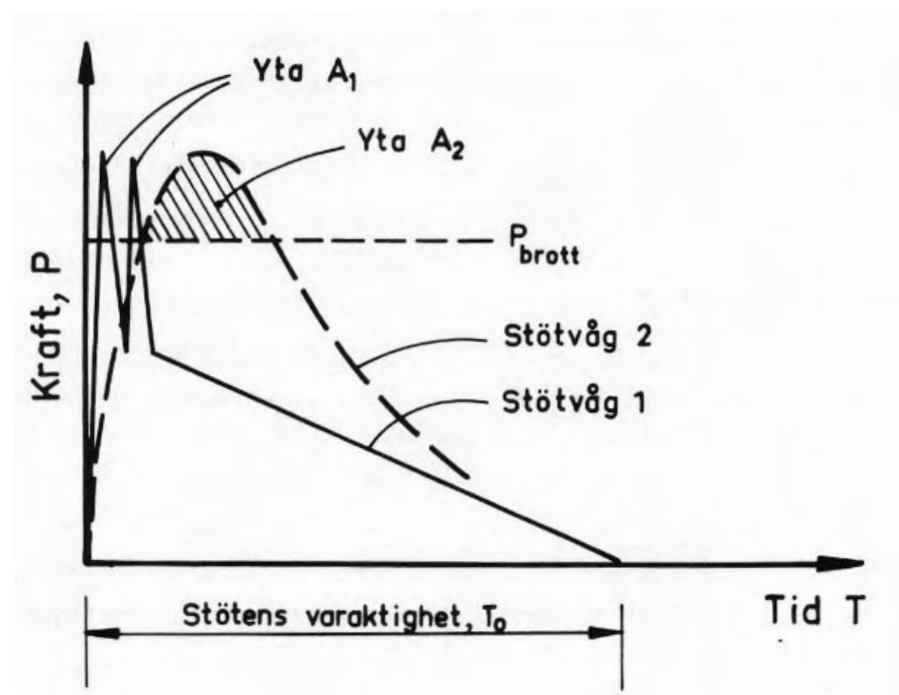
Effekten av mellanlägg mellan hejare och slagdyna studerades av [5] under 60-talet. Främsta anledningen var att övergången från traditionell hejarsondering till den moderna medförde en ökning av den maximala slagkraften, vilket man ville undvika. En oförändrad slagkraft eftersträvades för att efterlikna den tidigare versionen så mycket som möjligt. Detta för att kunna utnyttja den empiri och den erfarenhet som fanns kopplad till metoden. Erfarenhet visade också att stängerna klarade av kraften från den traditionella hejaren.

Det framkom i studien att mellanläggen hade stor påverkan på stötvågens utseende. När hammaren träffar slagdynan gav mellanläggen en mer utdragen stöt över tiden och dämpade även den i kapitel 3.1.2 nämnda reflektionen av spänningsvågen i toppen av styrstången, se figur 14.

Grafiskt kan detta tolkas som att ju mer dämpande ett mellanlägg är, desto senare inträffar kurvans kraftmaximum samtidigt som det blir något lägre. Om slagets kraftmaximum då istället bibehålls (bibehållen amplitud), genom att till exempel öka massan på hejaren eller öka fallhöjden, fås en större impuls från en stöt med mellanlägg jämfört med en stöt med samma kraftmaximum utan mellanlägg, se figur 15. Neddrivningen kan i figuren tolkas som av arean mellan brottgränsen i jorden (P_{brott}) och kurvan för slaget, så "stötvåg 2" i figur 15 har större neddrivning än "stötvåg 1" då " $Y_{ta} A_2 > Y_{ta} A_1$ ".



Figur 14: Mätningar gjorda med olika mellanlägg gjorda av uretångummi. Fallhöjden på hejaren är vid försöken 52 cm. Tjockare mellanlägg ger ett lägre kraftmaximum som förflyttas och uppstår senare i tiden. [5]

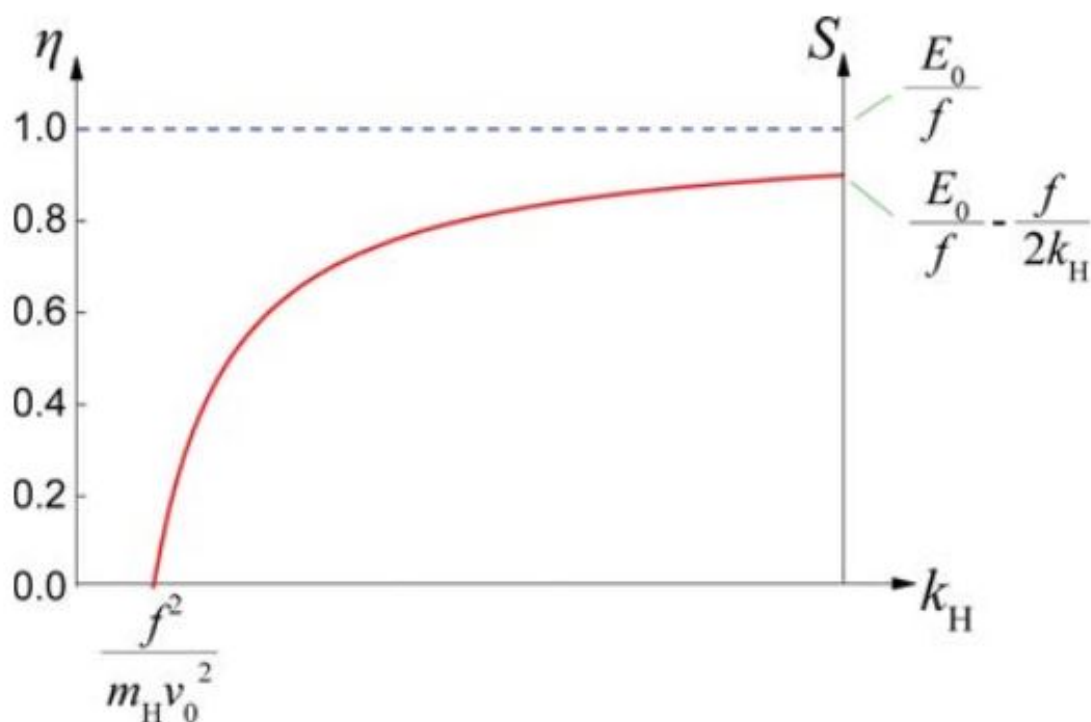


Figur 15: Diagram över stötvågens principiella utseende utan mellanlägg: "Stötvåg 1", och med mellanlägg: "Stötvåg 2". P_{brott} indikerar jordens brottgräns. Ytan mellan brottgränsen och respektive våg indikerar nedträngningen. [5]

Wang et al. [12] undersöker också dämpande mellanläggs effekt på neddrivning och kraft. Samma metodik som ovan används i modellerna för hejarvikt, det vill säga

beräkningar baserade på först energi och rörelsemängd, följt av beräkningar med vågteori och sist försök gjorda med fysiska modeller.

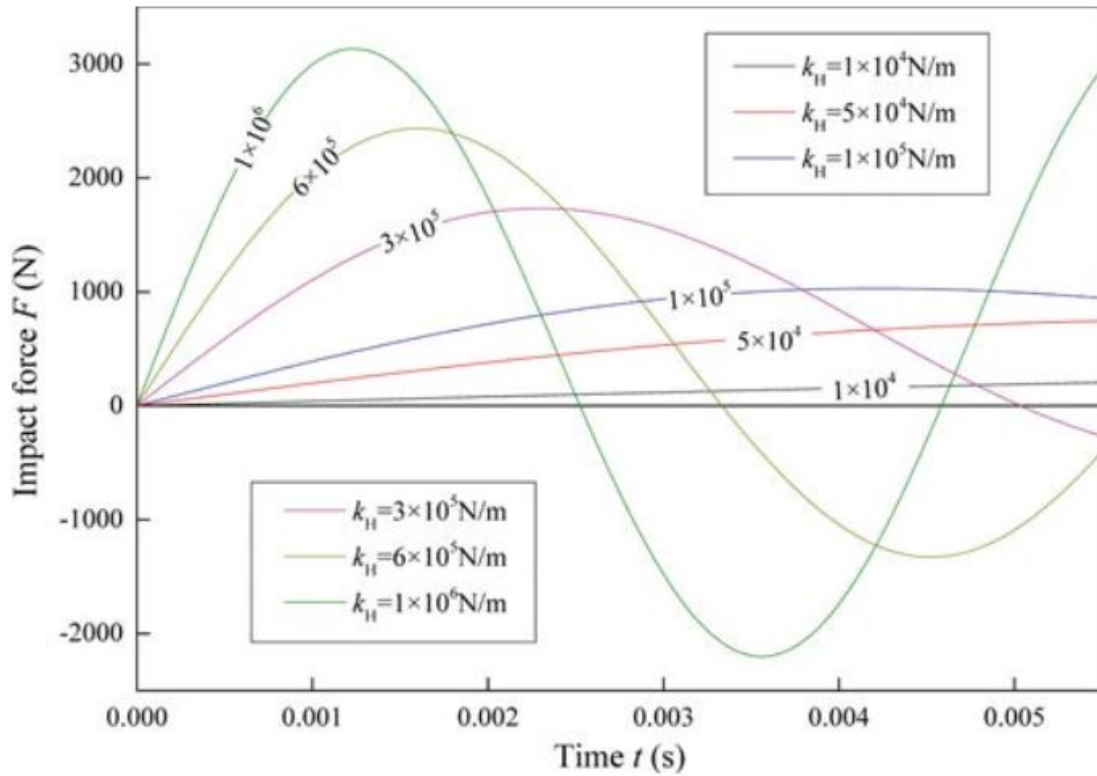
Med en ökad styvhet hos de elastiska mellanlägggen fås, baserat på energins och rörelsemängdens bevarande, en ökad neddrivning samt ökad effektivitet av energiöverföringen, se figur 16. Detta förklaras med att mindre energi går åt för att komprimera mellanlägget, istället går större andel till att övervinna friktionen f och därmed ökar neddrivningen av stång eller påle [12].



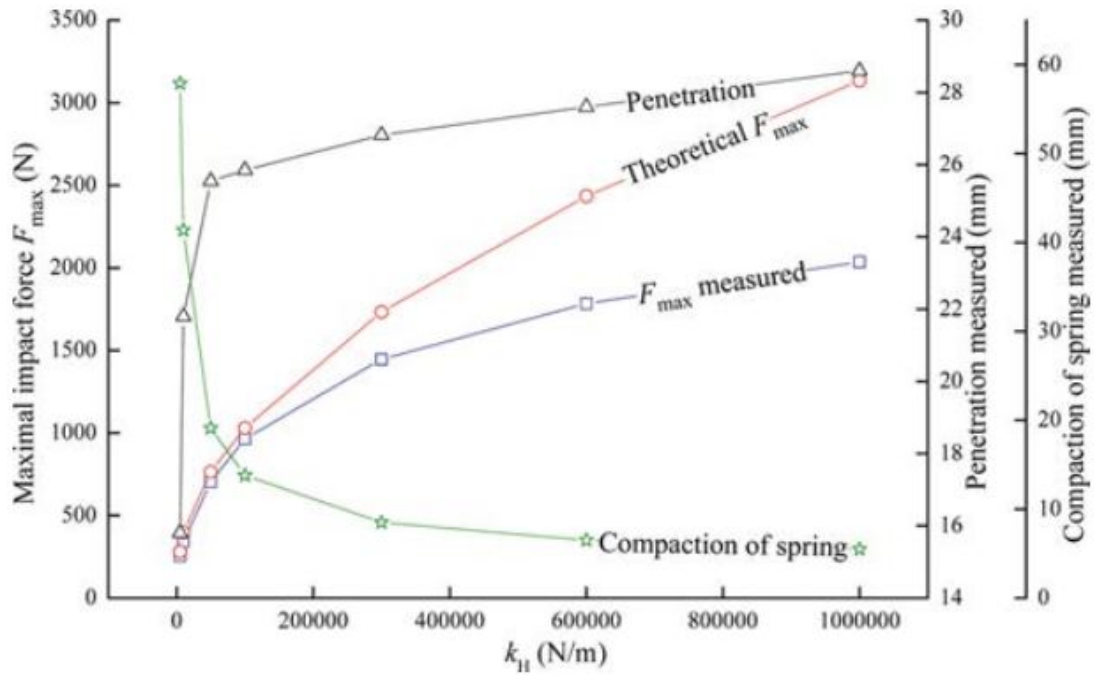
Figur 16: Samband mellan mellanläggens styvhet k_H , energiöverföringseffektivitet η och neddrivning S . Beräkningar gjorda baserade på energins och rörelsemängdens bevarande. [12]

Modeller baserad på vågteori visar att med ökad styvhet hos mellanlägggen fås en ökad anslagskraft, se figur 17. Precis som för hejarmassan i figur 12 gäller i figur 17 att en negativ kraft innebär att hejaren separeras från slagdynan och kraft/energiöverföringen upphör. Ökad styvhet ger alltså större överförd slagkraft, men minskar tiden då överföring sker [12].

Modellförsök gjorda av [12] stödjer beräkningarna. Ökad styvhet ger högre neddrivning, och störst är effekten då styvheten k_H är liten, se figur 18. Kraftöverföringens ökning är dock inte så drastisk som vågteorin visade, detta då det i beräkningarna antogs att hammaren och pålarna är helt styva kroppar, vilket inte är fallet i verkligheten då även dessa har någon elasticitet. Detta märks av särskilt då k_H blir stort och skillnaden i styvhet mellan mellanlägggen och kropparna blir mindre och effekterna av att hammaren och pålarna inte är helt styva kroppar blir mer påtaglig [12].



Figur 17: Samband mellan mellanläggs styvhet k_H och kraft i slagdynan F . Beräkningar gjorda baserade på vågteori. [12]



Figur 18: Modellförsök som visar hur mellanläggs styvhet k_H påverkar neddrivning S och kraft F . [12]

3.2 Mantelfriktion

Ytterligare försök gjorda av [5] visar sambandet mellan neddrivning och mantelfriktion mellan sondstång och jord. I studien ges följande samband (ekvationerna 18 – 22):

Den del av neddrivningsenergin (E_{mantel})⁴ som representeras av mantelfriktion τ_{medel} mellan stång och jordmaterial beräknas ur:

$$E_{mantel} = \tau_{medel} \pi D L e \quad [\text{J}] \quad (18)$$

där:

D är sondstångens diameter,

L är sondspetsens djup under markytan,

e är sondens nedsjunkning under ett mättingsintervall, vilket enligt standard är 0,2 m,

τ_{medel} är en uppmätt friktion mellan sondstång och jord vid statisk belastning. Denna kan bestämmas genom att med en momentnyckel vrida stången, normalt varannan meter, och mäta vridmomentet (M_V):

$$\tau_{medel} = \frac{2M_V}{L\pi D^2} \quad [\text{N m}^{-2}] \quad (19)$$

Sammanställning av (18) och (19) ger:

$$E_{mantel} = \frac{2M_V e}{D} \quad [\text{J}] \quad (20)$$

Med (1) beräknas slagenergin, vilken också kan korrigeras med effektivitetsfaktorn γ (d.v.s. en uppskattad effektivitet av energiöverföringen som också kan beräknas enligt (5)), vilket ger:

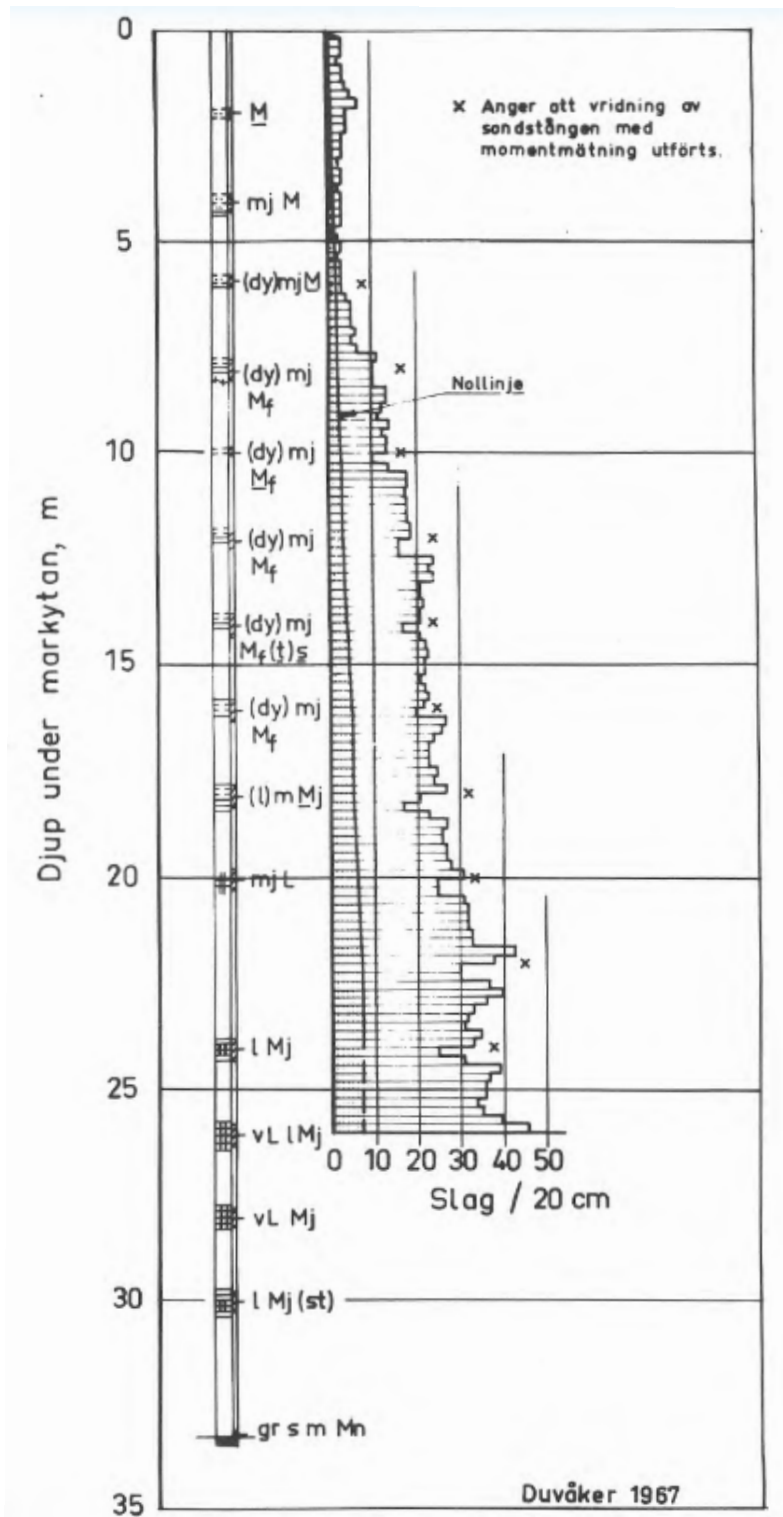
$$E_{slag} = E_p \gamma = m_H g h \gamma \quad [\text{J}] \quad (21)$$

Kvoten mellan (20) och (21) ger det antal slag per 20 cm (N_{mantel}) som går åt för att övervinna mantelfriktionen.

$$N_{mantel} = \frac{E_{mantel}}{E_{slag}} = \frac{2M_V e}{D m_H g h \gamma} \quad [-] \quad (22)$$

⁴ E_{mantel} har enheten Nm, vilket efter omskrivning ger: $\text{N} = \frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{s}^2} \rightarrow \text{Nm} = \frac{\text{kg}\cdot\text{m}^2}{\text{s}^2} = \text{J}$

Detta samband redovisas i resultatet för sonderingen och representeras av den så kallade nollinjen, som visar det antal slag som krävts vid neddrivningen för att övervinna mantelfriktion mellan stång och jord, se figur 19.



Figur 19: Hejarsonderingsmätning utförd av Bergdahl och Dahlberg i Duvåker 1967 där nollinje är redovisad. [5]

4 Undersökningar

Författarens uppfattning, innan intervjuundersökningarna gjordes, var att hejarsondering är en metod med dåliga framtidsutsikter, en metod som i liten utsträckning fortfarande användes huvudsakligen under särskilda förutsättningar på grund av att den är långsam, ineffektiv och därför illa omtyckt. Innan en utveckling kan ske var det därför av intresse att ta reda på i vilken utsträckning metoden faktiskt används, vilket följande frågeställningar syftar till att svara på: Behövs en utveckling? Eller används metoden så sällan att den kan fasas ut? För att få en uppfattning om den rådande situationen har en enkätundersökning bland aktiva geotekniker genomförts, kompletterad med intervjuer.

4.1 Intervjuer

Intervjuerna genomfördes inom en mindre grupp, framför allt bestående av fältgeotekniker, men också ett fåtal fältkoordinatorer och gruppchefer anställda på ett svenskt konsultbolag inom samhällsbyggnad. Syftet med intervjuerna var att få ett underlag för huvudundersökningen, en enkät som är riktad till en större grupp. Med intervjuvaren som bas kunde relevanta frågor utformas och formuleras.

Intervjufrågorna formulerades alltså för att inledningsvis få en indikation om hur och när hejarsondering används idag i Sverige, samt för att ta reda på hur de som arbetade med metoden såg på den. Intervjufrågorna redovisas i appendix A. Respondenterna valdes från en personallista med anställda inom fältgeoteknik på konsultbolaget, och intervjuerna gjordes över telefon.

Ingen djupanalys kommer göras av de resultat som framkom från intervjuerna, detta dels på grund av det begränsade antalet respondenter, dels på grund av att syftet med intervjuerna är att vara underlag för formulering av enkäten, som nämnts ovan. Resultaten har dock sammanställts, och presenteras i appendix B.

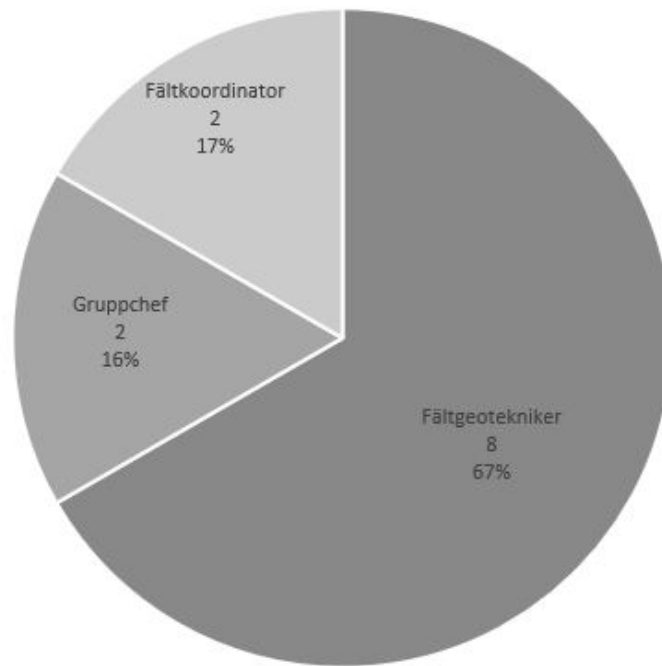
Under intervjuerna framkom det att frågorna i viss utsträckning måste anpassas till respondenternas arbetsroller, då de kommer i kontakt med hejarsondering på olika sätt beroende på arbetsroll.

4.1.1 Resultat

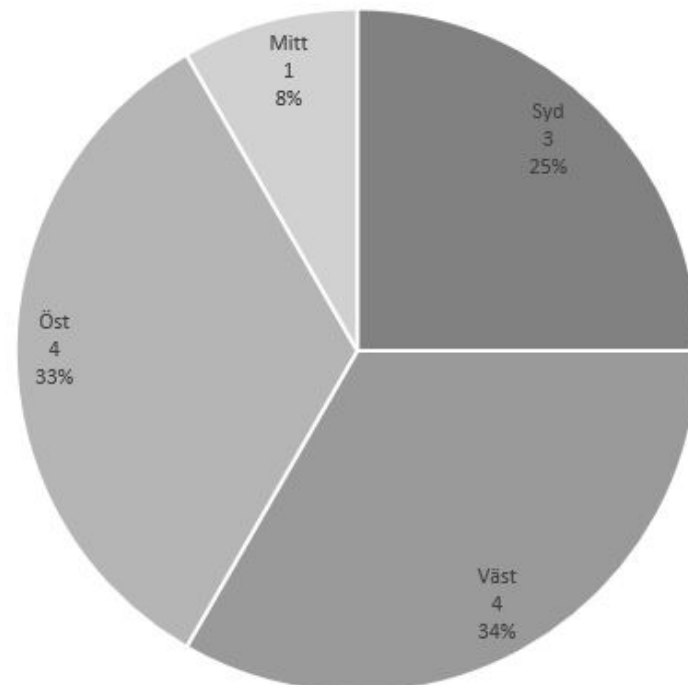
Totalt genomfördes 12 intervjuer. Tre olika arbetsroller (fältgeotekniker, fältkoordinator och gruppchef) förekom i underlaget, vilket presenteras i figur 20.

Den geografiska fördelningen av deltagarna kan ses i figur 21. Kategoriseringen följer konsultbolagets egen regionindelning av sin verksamhet i Sverige. Notera att ingen intervju kunde genomföras med någon person från region Nord.

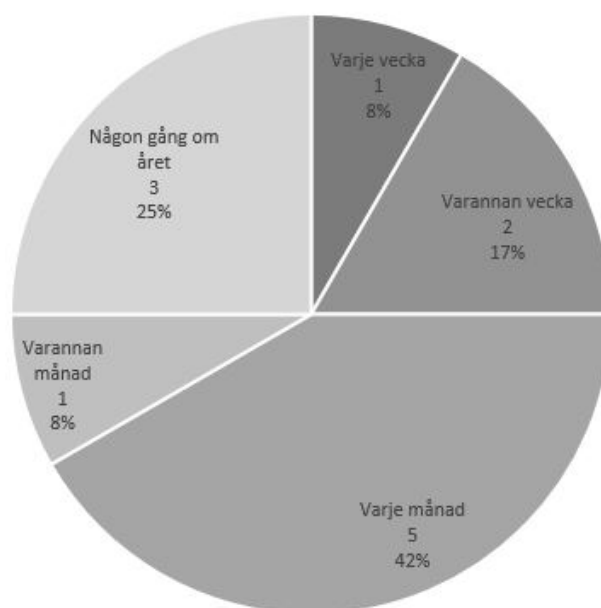
Resultatet från intervjuerna visar att den vanligast förekommande användarfrekvensen för hejarsondering hos de intervjuade är *varje månad*, se figur 22.



Figur 20: Diagram över arbetsroller för intervjudeltagare.



Figur 21: Diagram över geografisk spridning för intervjudeltagare.



Figur 22: Diagram över intervjudeltagarnas rapporterade användningsfrekvens för hejarsondering .

Vidare framgår att de vanligaste användningsområdena för hejarsondering är, utan inbördes ordning:

- Bestämma påldjup/bergfritt djup
- Fasthetsbestämning när CPT inte kan användas
- För att bestämma hållfasthetsegenskaper i friktionsjordar.

De främsta fördelarna med metoden, baserat på intervjuerna, är att metoden är lättbegriplig och robust, och skulle till exempel elektronisk mätutrustning fallera går det att räkna slag manuellt. Nedan följer exempel på sådana svar:

- ”Man behöver inte vara försiktig, bara att köra på. Robust.”
- ”Lugn metod, enkel att utföra, sköter sig själv.”
- ”Simpel, lätt att utföra. Även om elektroniken skulle fallera, så kan man ju räkna slagen själv. När man ska ut i skog och mark och man inte kan få med kompressor för att köra JB.”

Robustheten och pålitligheten gör också att det är ett bra alternativ för att få mätdata då mer känsliga metoder inte är lämpliga för förhållandena på en viss plats. Det nämns också som en fördel att erfarenhet och empiriska data finns att tillgå på grund av att metoden har funnits länge.

4.1.2 Slutsats

Vad gäller frågeformulering till enkätundersökningen upptäcktes en del problemområden med de frågor som tagits fram till intervjuerna, framför allt att frågorna inledningsvis var formulerade för att passa fältgeotekniker. Under intervjuerna behövde viss anpassning av frågorna göras beroende på vilken arbetsroll personen hade, speciellt frågan ”Hur ofta använder du hejarsondering?” liksom anpassning av frågor om hur och när metoden användes.

4.2 Enkät

Enkäten utgår från tidigare utförda intervjuer med framför allt fältgeotekniker, se 4.1. Enkätfrågor formulerades och testades på en mindre grupp, mest för korrekturläsning och formatering och att inga frågor var direkt missvisande.

Enkäten gjordes och besvarades med hjälp av plattformen ”Google Forms”.

Den skriftliga enkäten spreds till de frivilliga respondenterna via förfrågningar till organisationer och kontaktpersoner, som i sin tur spred den vidare. En länk gick också ut via Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) och deras regelbundna nyhetsutskick till medlemmar. Kontakt togs även med SGFs regionala styrelsemedlemmar som ombads att sprida enkäten på sina respektive företag och i kontaktnät. Även det egna kontaktnätet utnyttjades för att få spridning på fler företag.

Spridningen av enkäten skedde dock inte på ett direkt kontrollerat sätt, vilket gör att det inte finns någon information om hur många personer som faktiskt blivit tillfrågade, varför svarsbortfallet inte går att bestämma. Det går heller inte att styrka att svaren utgör ett slumpmässigt urval, på grund av att enkäten varit ’opt-in’, det vill säga att den har varit helt frivillig att delta i. Det går därför inte att utesluta en obalans, s.k. *bias*, i urvalet, det vill säga att det är en grupp med specifika åsikter som valt att svara på enkäten, medan en annan grupp valt att avstå. En beräkning av validiteten i undersökningen försvåras också av att det inte finns någon klar populationsstorlek – vi vet inte hur många aktiva geotekniker det finns i Sverige.

En bedömning av enkätens statistiska signifikans görs ändå, men med en uppskattad siffra på antalet fält- och handledande geotekniker som finns i Sverige och under antagandet om slumpmässigt urval.

Frågorna i enkäten är en blandning av flervalsfrågor och fritext; enkäten är bifogad i appendix C.

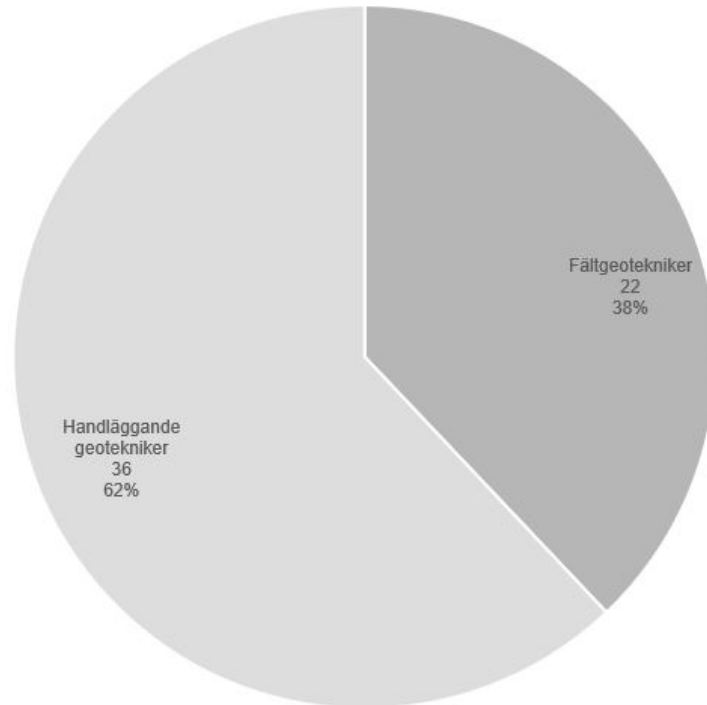
4.2.1 Resultat

Totalt svarade 62 personer på enkäten varav 4 svar togs bort av tekniska skäl, vilket resulterade i totalt 58 användbara svar.

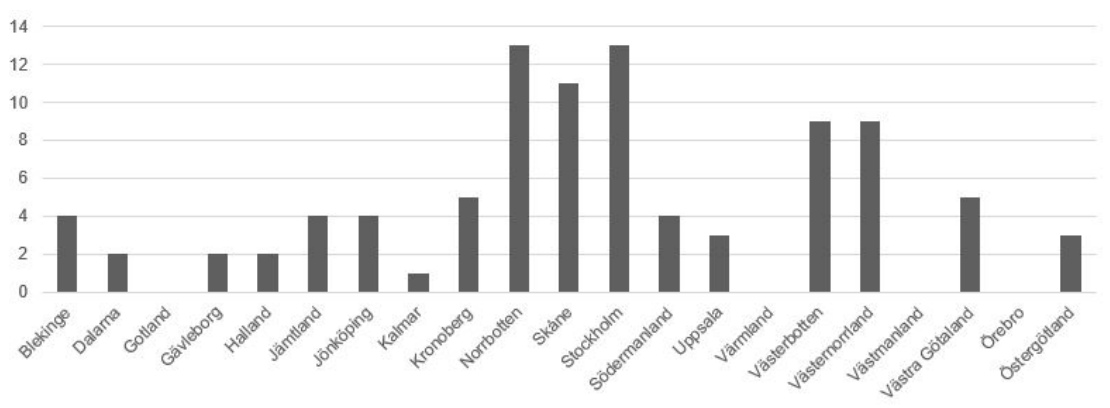
Enkäten delas upp i tre olika kategorier baserade på arbetsroller: ”handläggande geotekniker”, ”fältgeotekniker” och ”gruppchef eller koordinator/samordnare”. Om respondenten inte direkt fallit under någon av dessa kategorier, får denne själv välja den som bäst beskriver arbetsrollen. Fördelningen av arbetsroller bland respondenterna redovisas i figur 23 där det framgår att samtliga klassificerar sig själva som handläggande geotekniker (62%) eller fältgeotekniker (38%) (jf. resonemanget ovan om bias och slumpmässigt urval).

Den geografiska fördelningen kan ses i figur 24. Fördelningen är uppdelad i län, och varje respondent har kunnat välja på upp till tre län som denne huvudsakligen

jobbar i, varför det också förekommer fler än 58 svar i figuren. Svaren visar en god fördelning över landet (norr till söder) bortsett från en del bortfall: Gotland, Värmland, Västmanland och Örebro.



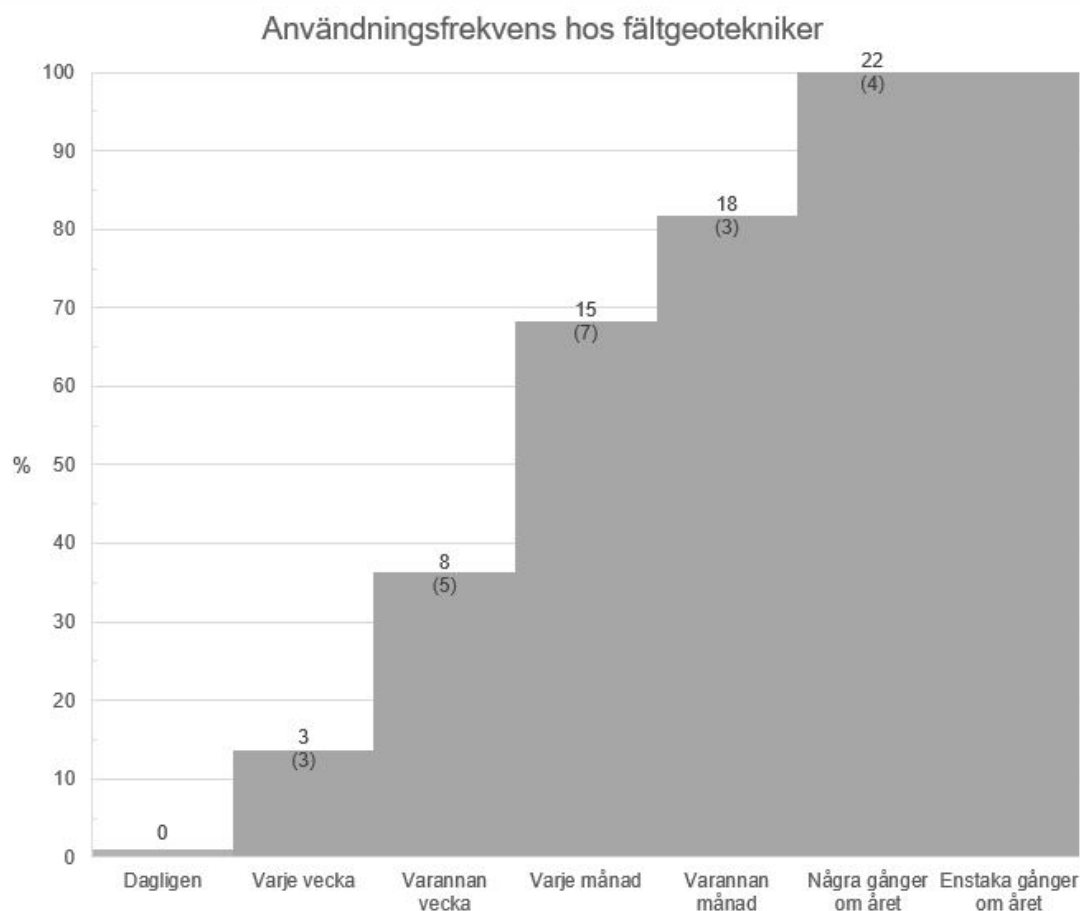
Figur 23: Diagram över arbetsrollernas fördelning för de som deltog i enkäten.



Figur 24: Diagram över de län deltagarna arbetar i. Upp till tre län kunde anges i svaren, varför fler än 58 svar finns i diagrammet.

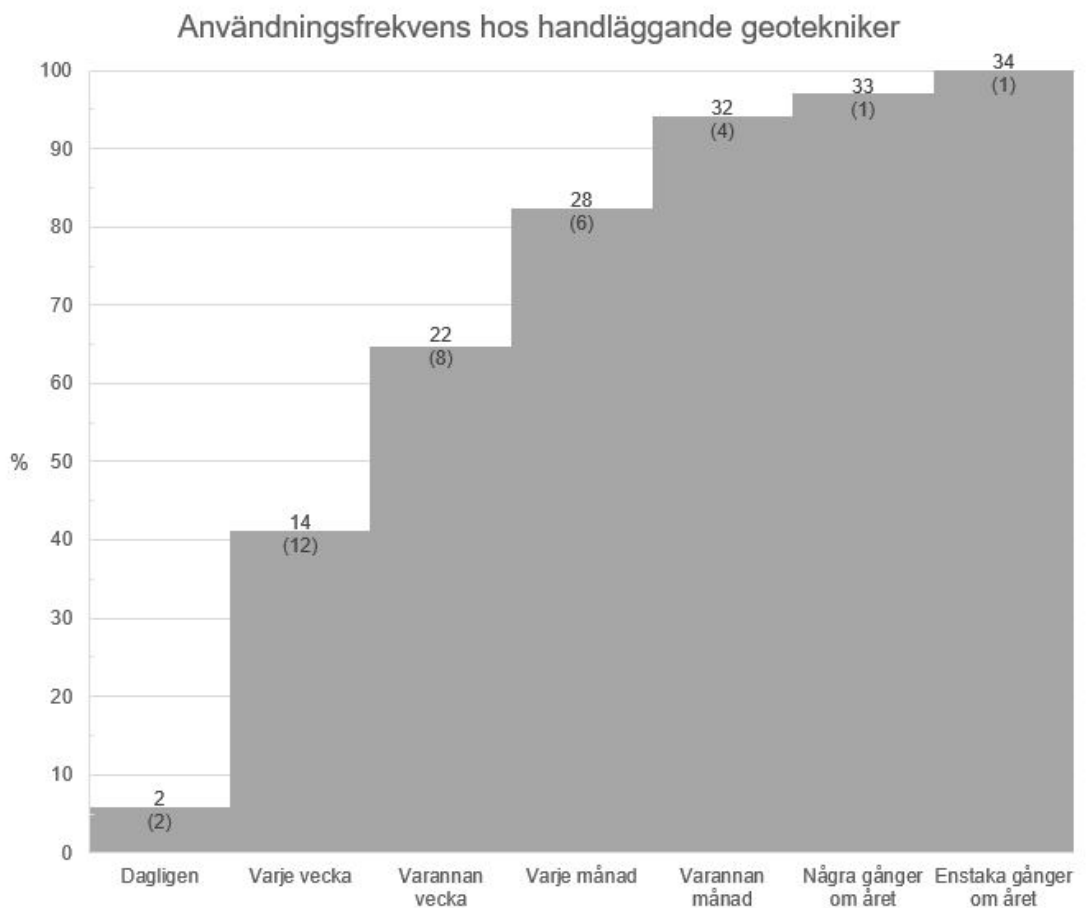
Användningsfrekvensen, det vill säga hur ofta den tillfrågade kommer i kontakt med hejarsondering antingen direkt ute i fält eller i ett projekt där metoden används, presenteras för fältgeotekniker och handläggande geotekniker i figur 25 respektive figur 26.

För fältgeotekniker är det ingen som anger att de använder metoden dagligen. Flest (7 st) har svarat ”Varje månad” och det framgår också att det sammanlagt är fler än hälften (15 st) av de tillfrågade som använder metoden varje månad eller oftare.



Figur 25: Kumulativt diagram över användningsfrekvensen hos fältgeotekniker. Diagrammet läses som att de som använder hejarsondering dagligen, också använder metoden varje vecka, varannan vecka o.s.v. Alla använder alltså hejarsondering minst ”Några gånger om året” enligt diagrammet. Den vertikala ökningen för varje tidsintervall visar hur många som angett detta intervall som svar och anges inom parentes. Fler än hälften (15 st, nästan 70%) använder alltså hejarsondering varje månad eller oftare.

För handläggande geotekniker är det vanligaste svaret ”Varje vecka” (12 st) och fler än hälften (22 st) jobbar med metoden varannan månad eller oftare. Värt att notera, både för fältgeotekniker och handläggande geotekniker, är att ingen har svarat att de aldrig jobbar med hejarsondering.



Figur 26: Kumulativt diagram över användningsfrekvensen hos handläggande geotekniker. Diagrammet läses som att de som använder hejarsondering dagligen, också använder metoden varje vecka, varannan vecka o.s.v. Alla använder alltså hejarsondering minst "Enstaka gånger om året" enligt diagrammet. Den vertikala ökningen för varje tidsintervall visar hur många som angett det som svar och anges inom parentes. Fler än hälften (22 st, ca 65%) jobbar med hejarsondering varannan vecka eller oftare.

4.2.1.1 Användning

Av handläggande geotekniker är det en övervägande del, 30/36, som svarar att hejarsondering används i fasta jordar, friktionsjordar och morän samt i fyllningsjordar. Samtliga fältgeotekniker anger fasta jordar, friktionsjordar eller moräner när de tillfrågas om i vilka markförhållanden som hejarsondering utförs. Några nämner även sand, lera och silt. Totalt sett är det 89 % som anger fasta jordar, friktionsmaterial och morän som markförhållanden där hejarsondering används. Det förekom också feltolkningar av frågan, vilket behandlas nedan i "Felkällor".

På frågan om i vilket syfte hejarsondering används anger 24/36 av de handläggande geoteknikerna att metoden används för att bedöma pålstopp. Även en stor del av fältgeoteknikerna, 14/22, anger samma, här tolkas även bedömning av "fast botten" in som pålstopp.

Även framtagande av jordparametrar (såsom E-modul och friktionsvinkel) anges som ett viktigt användningsområde, 30/36 handläggande geotekniker och 13/22 fältgeotekniker.

Övriga svar innefattar "bestämning av jordlagers mäktighet" samt som substitut för andra metoder.

4.2.1.2 För- och nackdelar

Resultaten visar inte överraskande att den huvudsakliga fördelen med metoden är att den är ett bra val vid fastare jordar, friktionsjordar och morän, då nedträngningen i materialet blir tillfredsställande även där andra metoder inte kan användas, och att metoden ger användbara jordparametrar under dessa förhållanden; 20/36 handläggande geotekniker nämner detta liksom 9/22 fältgeotekniker.

6 stycken fältgeotekniker anser att det inte finns några fördelar med metoden.

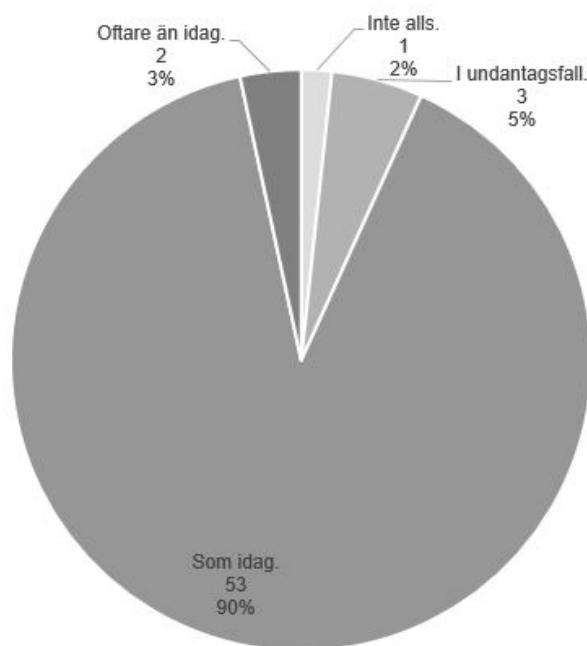
En nackdel med metoden är enligt enkätsvaren relaterad till hanteringen i form av ombyggnad av den geotekniska bandvagnen då hejarsondering ska användas; 17/36 handläggande och 9/22 fältgeotekniker nämner det som en nackdel. I samband med detta nämns dels att det är tungt att utföra bytet (dålig arbetsmiljö) dels att det tar lång tid (dålig ekonomi). Även själva mätningen anses ta lång tid, vilket nämns som en nackdel av 13/22 fält- och 18/36 handläggande geotekniker. Svar som "långtråkig" och "långsam" tolkas som svar att metoden tar lång tid.

Ytterligare en anledning till stor tidsåtgång är enligt enkätsvaren mäktiga fasta lager eller stopp i sten och block. En del nämner också dålig arbetsmiljö med hög ljudnivå och monotont ljud. Det nämns också att penetrationsförmågan hos metoden inte är stor nog, och att metoden ofta stoppslår på mindre stenar och fastare jordlager, varpå omtagning måste göras.

14/36 handläggande geotekniker och 7/22 fältgeotekniker säger att olika delar av utvärderingen är en nackdel. Detta kan vara dålig noggrannhet/upplösning (svårt att hitta tunnare, mindre fasta lager), dåliga utvärderingsmöjligheter vad gäller vissa jordtyper (från leriga moräner till siltiga leror och leror) samt falska stopp på grund av sten och block.

4.2.1.3 Framtid

Ur figur 27 framgår det tydligt att en stor majoritet av respondenterna (90%) tror att metoden om 10 år kommer att användas i samma utsträckning som idag.



Figur 27: Diagram som visar svar på frågan "Hur tror du att hejarsondering används om 10 år?".

Motiveringarna till varför hejarsondering kommer att användas som idag kan beskrivas som en kombination av att "Branschen rör sig långsamt, och det är tveksamt att något nytt har kommit om 10 år." och "Enda metoden som klarar av att ge information i fasta och friktionsjordar.". 8 st fältgeotekniker har ingen uppfattning om hur metoden kan förbättras, för handläggande geotekniker är den siffran 10 st. Resterande förslag presenteras i appendix D.

Med en uppskattad population om 2700⁵ fält- och handläggande geotekniker i Sverige, tyder enkätsvaren på att det med 95% säkerhet är så att 90% ($\pm 7.6\%$) av handläggande geotekniker samt fältgeotekniker tror att hejarsondering om 10 år kommer att användas som idag.

⁵Siffran är en grov uppskattning baserad dels på SGFs medlemssiffror dels på egna uppskattningar.

4.2.2 Felkällor

De personer som svarat att deras arbetsroll har varit handläggande geotekniker har, på grund av ett misstag i enkätens utformning, blivit hänvisade till ett avsnitt ämnat för gruppchefer/koordinatorer. Detta har lett till att en del har missuppfattat frågan om när och hur hejarsondering används. Istället för att få frågan "Under vilka förutsättningar väljer du hejarsondering som undersökningsmetod i en borrhål?" och "Vad används resultaten till?" fick de frågorna "Under vilka förhållanden används hejarsondering?" respektive "I vilket syfte används hejarsondering?". På grund av detta var det flera svar som var av karaktären "alla säsonger/årstider" eller "vad menas?". Dessa svar användes inte i utvärderingen, men det bedöms ha liten påverkan på resultatet.

4.2.3 Diskussion och slutsats

Tvärtemot författarens inledande uppfattning ser det inte ut som att hejarsondering som undersökningsmetod är en metod som kommer sluta användas, då en stor majoritet av de tillfrågade (90 %, se ovan) svarade att de tror att hejarsondering kommer att användas som idag även inom överskådlig framtid. Svaren tyder också på att det idag inte finns några alternativa metoder som kan ge resultat i de markförhållanden där hejarsondering huvudsakligen används. Eftersom metoden är så pass etablerad och ger förhållandevis mycket information, i kombination med en tro på en långsam utveckling i branschen, ser man inte att det kommer se annorlunda ut om 10 år. Med andra ord, så länge det inte finns några bättre alternativ till hejarsondering så behövs metoden, och den kommer att **fortsätta vara relevant**.

Det framgår också att hejarsondering används relativt ofta. Mer än hälften av respondenterna anger att de använder metoden varje månad eller oftare. Detta visar ännu tydligare på att metoden fortfarande är relevant.

Något förvånande var att så få angav ombyggnad av maskinen som en nackdel, detta då uppfattningen tidigare var att det var i särklass den största anledningen till att metoden ogillades av de som använde den. Dock kan det vara möjligt att de som svarat att tidsåtgången i användandet i metoden är stor, också räknat med att ombyggnad varit en faktor i detta. Min egen uppfattning i att detta varit det största problemet kan grunda sig i dels egen erfarenhet, samt att i intervjuerna var det 11/12 personer som nämnde det som en nackdel.

Totalt sett upplevs det som att deltagarna har mer negativt att säga om metoden än positivt, vilket bland annat framstår av att 6 fältgeotekniker inte har något positivt alls att säga om metoden, medan samtliga har mer eller mindre utförligt beskrivna negativa åsikter. De positiva egenskaper som nämns handlar främst om utvärdering och att den faktiskt ger information i fasta jordar till skillnad från andra metoder.

Sammanfattningsvis kan man säga att det är framför allt utförandet av metoden som uppfattas som negativt (tidsåtgång, ombyggnad, arbetsmiljö) medan resultat

och utvärdering uppfattas som positivt (etablerad metod med mycket empiriska data, ger data där andra metoder inte kan). Det ska dock nämnas att det även finns negativa tankar om utvärdering och användbarhet (bland annat dålig upplösning), och att vissa ser egenskaper relaterade till utförandet som positiva (någon som tycker metoden är snabb, men framför allt ses den som en robust metod).

Slutsatsen är att med sin påvisade relevans i geotekniska sammanhang anses det därför motiverat att försöka utveckla metoden för att försöka eliminera metodens negativa sidor och göra den mer användarvänlig och modernare, utan att förlora dess positiva egenskaper.

5 Analys

I detta kapitel identifieras först några av de problem med hejarsondering som finns idag. En kort analys om hur dessa principiellt kan lösas följer, sedan redovisas konkreta förslag på hur de principiella förslagen kan utformas och vilken typ av teknik som kan användas till detta. Sist återfinns beräknade fallstudier av olika accelererade hejare samt exempel på befintlig utrustning med accelererad vikt.

5.1 Problemidentifiering

Problemen delas in i två kategorier:

- Utvärdering av mätresultat
- Utförande och utformning av utrustning

De identifieras genom att analysera och sammanväga vad som framkommit i tidigare kapitel.

Problem relaterade till **utvärdering** rör främst hejarsonderingens låga djupupplösning. Då antal slag räknas för varje 20 cm neddrivning (N_{20}), blir det per definition omöjligt att kunna kartlägga jordlagerlager som är tunnare än detta. 20 cm kan anses som en relativt låg mätvärdesupplösning jämfört med andra metoder som används idag, till exempel CPT som har en mätvärdesupplösning⁶ på typiskt 20-50 mm [13].

Problem uppstår även vid förekomst av lösare jordar eller kohesionsjordar i lagerföljden, då bland annat självsjunkning kan uppstå, vilket kan ge svårtolkade resultat. Då metoden inte är utformad för att utvärdera lösa jordar eller kohesionsjordar kan detta bli ett problem vid undersökning av inhomogena, fasta, jordar som är varvade med lösa, där den robustare hejaren krävs för att penetrera de fastare lagren.

De största problemen identifieras dock inom området **utförande och utformning**. Det går inte att undvika att dra paralleller med att metoden inte genomgått en ordentlig ”revidering” och uppdatering av standarden sedan 70-talet⁷ efter Dahlberg och Bergdahls arbete under 60-talet [5]. Dessutom innebär den strikta standarden att en snabb förändring av metoden är komplicerad att genomföra, varför utvecklingen av metoden tycks ha avstannat.

⁶Larsson[13] beskriver att förmågan att hitta tunnare lager inte enbart beror på upplösningen i uppmätta data, utan också på egenskaper hos kringliggande jordlager. Beroende på förhållanden kan lagertjocklekar på mellan 0,2-0,7 m behövas för att få en fullständig bild av lagerföljder med CPT, trots metodens relativt höga mätvärdesupplösning.

⁷Metoden har dock under senare tid översatts till europeisk standard (från HfA till DPSH-A), metodens utformning och utförande förblev dock nära identisk med tidigare [7], vilket behandlats tidigare i rapporten.

Problemet med att hejarsondering kan ange tidiga stopp på grund av mindre stenar och block eller lager med mycket fast jord härleds till för låg slagenergi. Att lösa detta med högre slagenergi (i form av tyngre hejare) kan verka trivialt, men en sådan lösning leder till andra problem, framför allt beroende på hejarens massa i förhållande till stängernas, och att utrustningen normalt inte är en integrerad del av den geotekniska bandvagnen. Ombyggnaden sker ofta i fält utan tillgång till lyftanordningar, vilket leder till obekväma och tunga lyft. En större hejarvikt utgör härigenom en arbetsmiljörisk, och kan orsaka personskador eller förslitningar, om den inte är permanent monterad på bandvagnen.

Möjligheten till ökad slagenergi kan även begränsas av annan utrustning, såsom sondstänger, som måste kunna klara av den ökade belastning som ökad slagenergi innebär. Detta tas bland annat upp av [5], och utgör orsaken till att man strävade efter att bibehålla slagenergin som genererades av traditionell hejare när dagens hejarsondering utvecklades.

Förutom försämrade arbetsmiljö i form av de tunga lyft som ombyggnad av maskinen innebär, skapar den också en större tidsåtgång i projekt. Även utförandet av sonderingen i sig kräver stor tidsåtgång, och vid vissa förhållanden får metoden anses som mycket tidskrävande, med stoppkriterier på $N_{20} > 200$ eller $N_{20} > 100$ i fem stycken 20 cm intervall i följd, vilket med en slagfrekvens på 15-30 slag i minuten kan resultera i långa mättider bara för att få reda på ifall "fast botten" uppnåtts. Det framkommer också ur enkäten i kapitel 4 att omtagning kan behöva göras då en misstänkt falsk stoppslagning sker innan förväntat stopp på grund av av sten och block, vilket innebär ytterligare tidsåtgång.

Ur resultaten från enkäten som redovisas i kapitel 4 framkommer det också att ljudnivån är ett problem med metoden. Baserat på egna erfarenheter har inte hejarsondering lika hög ljudnivå som andra metoder, särskilt de som använder hammare, såsom Jb-sonderingar. Problemet är sannolikt istället kopplat till dosen, ett relativt starkt ljud i kombination med långvarig exponering på grund av metodens långsamhet.

5.2 Principiella lösningar

En handfull problem har identifierats ovan, som behöver lösas för att hejarsondering ska behålla sin relevans i framtiden. Även styrkor och positiva egenskaper hos metoden har framkommit som är värda att bibehålla. Metoden står ensam i att kunna genomföra geotekniska sonderingar i fasta friktionsjordar, mycket på grund av sin robusta och relativt enkla konstruktion.

Det kan också vara värt att ta tillvara den långa erfarenhet och de empiriska data som finns kopplad till metoden, samtidigt som det kan vara önskvärt att modernisera den, kanske i form av en uppdaterad variant av hejarsondering eller genom en helt ny metod som direkt får fram önskade jordparametrar under sonderingsskedet.

Tre lösningsförslag redovisas nedan.

5.2.1 Ökad slagenergi

För att undvika stopp på mindre stenar och block samt fastare jordlager, och för att slippa behöva göra omtagningar av sonderingar samt bättre representera den påslagning metoden ofta används för att undersöka, föreslås en ökning i slagenergi. För att bli framgångsrik måste lösningen utformas på ett sådant vis att den inte förvärrar andra problem, som nämnts tidigare. Metoden ska inte bli tyngre för den personal som utför arbetet och övrigt materiel ska också kunna klara den ökade påfrestningen.

Ökad energi behöver dock inte innebära en ökad hejarmassa som faller fritt, utan kan istället erhållas med hjälp av en mindre massa som istället accelereras för att uppnå samma eller högre slagenergi.

I vissa scenarion kan även minskad slagenergi vara önskvärt, till exempel i lösare kohesionsjordar där självsjunkning uppstår. Eventuellt begränsas självsjunkning om den tunga hejaren byts ut mot en mindre accelererad massa. Att då istället ha möjlighet att övergå från dynamisk sondering till statisk sondering, det vill säga något som liknar dagens trycksondering, hade under dessa förhållanden varit eftersträvarvärt.

5.2.2 Ökad slagfrekvens

Orsakerna till problemet med stor tidsåtgång är som nämnts tidigare många: stoppslagning, fasta jordar och ombyggnad. Med en varierad slagfrekvens skulle det vara möjligt att utföra själva sonderingen snabbare. Dock är det oklart hur neddrivningen skulle påverkas av en snabbare slagsekvens, då det i detta arbete inte studerats närmare hur till exempel porvattentrycket nära spetsen skulle kunna påverkas (dynamiskt) av neddrivning med högre slagfrekvens. Att porvatten har någon typ av påverkan på neddrivning kan dock ses i bland annat [14]. Dessa effekter är dock långvariga (dagar) i odränerade jordar.

5.2.3 Instrumentering

En lösning som skulle kunna bidra till att lösa flertalet av ovan nämnda problem är att utföra energimätningar samtidigt som sonderingen sker, förslag på hur detta kan lösas följer i avsnitt 5.3. Till skillnad från idag skulle sådana mätningar ge direkta mätdata i form av dynamiskt spetstryck, enligt (9) i kapitel 3.1.3, som möjligen kan användas för att utvärdera jordens egenskaper, vilket kan komplettera de empiriska samband som används idag. Om denna energimätning dessutom går att utföra i spetsen samtidigt som under slagdynan, fås en ännu bättre bedömning av den kraft och energi som faktiskt går till neddrivning, och inte för att övervinna mantelfriktion. Kopplas detta ihop med mätning av neddrivningen för ett slag, t.ex. (9) i kapitel 3.1.3, så uppnås även eventuellt en högre upplösning.

Ett alternativ till energimätningar kan vara att använda sig av seismisk utrustning och genom dessa bedöma slagenergin, vilket görs för att kalibrera seismikkällor, enligt Roger Wisén, Teknisk geologi LTH (*pers. komm. 29 Aug/2019*). Användningen av seismiska metoder skulle också kunna ge kompletterande information om jordlagerföljder, förslagsvis med utvärdering enligt ytvågsseismisk metodik.

Det skulle också kunna vara intressant att göra mätningar på mantelfriktionen samtidigt som neddrivning sker, till skillnad från idag där mätning görs vid skarvning av nya sondstänger med momentnyckel. Detta skulle kunna göras likt den mätning som görs vid CPT, se [13], vilket skulle ge ytterligare in-situ jordegenskaper för att komplettera de empiriska bedömningarna. Att också utföra porttrycksmätningar i spetsen hade gett ytterligare uppmätta jordegenskaper, dock är nuvarande utrustning för CPT mycket känslig och skulle förmodligen inte klara av de krafter som uppstår genom en dynamisk sondering.

5.3 Lösningsförslag

Följande avsnitt strävar efter att undersöka och föreslå konkreta lösningar på de principer som redovisats ovan. Här behandlas samtliga förslag som framkommit i analysstadiet. Några lösningar kan av olika skäl förkastas i ett tidigt skede, men alla diskuteras.

5.3.1 Accelererad fallvikt

Ett av de lösningsförslag som formulerats redan i projektets inledningskede är att använda någon typ av accelererad fallvikt. Detta innebär en vikt som med någon mekanism accelereras utöver gravitationen, varpå en önskvärd slagenergi kan uppnås snabbare och på en mindre sträcka än vid fritt fall.

Denna acceleration skulle kunna ske hydrauliskt, pneumatiskt eller med ett elastiskt element. Effekten av att accelerera en vikt istället för att låta den falla fritt är att en mindre massa kan användas för att uppnå den önskade slagenergin, troligen kan också en konsekvent slagenergi med tillfredsställande noggrannhet levereras.

Dessutom bör slagfrekvensen kunna bli högre än med dagens hejarutrustning och därmed förkorta tiden det tar att utföra en sondering.

Som det framgår av kapitel 3.1.5 innebär dock en minskad hejarmassa⁸ ökade förluster i systemet, och trots bibehållen slagenergi reduceras slagets nedträngningsförmåga. Ytterligare en effekt är att då hejarens massa är mindre än stängernas, blir anslagskraften efter en tid in i slaget negativ (se figur 12 i kapitel 3). Med andra ord studsar hejaren på slagdynan, och energi förloras eftersom slaget avbryts. Detta kan dock motverkas något med hjälp av mellanlägg, då ett mindre styvt mellanlägg fördelar anslagskraften över tiden (se figur 14) och storleken på den negativa kraft som uppstår (studsens) blir svagare. Med andra ord borde en eventuell lösning på ett sådant problem vara ett mellanlägg med variabel styvhet, som kan ändras under sonderingsutförandet. När masskvoten mellan hejarvikten och stängerna minskar, minskas också styvheten hos mellanläggen för att uppnå en mer optimal stöt och energiöverföring. Dock har ett mindre styvt mellanlägg också effekten av ett minskat kraftmaximum. Det vill säga att mer energi går åt att kompaktera mellanlägget istället för att förflytta de allt tyngre sonderingsstängerna. Detta problem kan i sin tur lösas genom kraftigare anslag; ökad acceleration på hejarmassan, vilket i sin tur kräver mindre styva mellanlägg som ytterligare minskar effektiviteten i slaget. Vilken av effekterna (hejarens studs eller mellanläggets dämpning) som har störst negativ effekt har inte studerats här, varför en framtida undersökning om hur dynamiska mellanlägg kan användas för att optimera slagenergin vid djupare sonderingar då stängernas massa överstiger hejarens.

Accelererade fallvikter används idag bland annat inom geofysiken som seismiska källor. Liknande konstruktioner kan tänkas användas för ändamålet att driva en utvecklad hejarsond. Exempel på sådana maskiner visas i figurerna 30 och 31 och behandlas närmare i kapitel 5.5. Dessa och liknande enheter kan fungera som testplattformar för att utreda ifall accelererade fallvikter kan generera tillfredsställande resultat.

Gemensamt för de föreslagna maskinerna är att deras totala massa är påtagligt hög, nästan 300 kg för A100-modellen (figur 30). ESS 100 (figur 31) är inte heller någonting man lyfter själv, baserat på egen erfarenhet. Så trots en lägre hejarmassa kan alltså den totala utrustningen i slutänden väga mer än dagens hejarutrustning, vilket inte skulle avhjälpa problemet med ombyggnation, om utrustningen inte är permanent monterad på borrhandsvagnen. Dessutom måste befintliga drivsystem (hydraulpumpar, kompressorer eller motorer) klara av att arbeta vid tillräckligt hög slagfrekvens. Den jämförelse som kan göras är med ovan nämnda seismiska källor, där egna observationer visar att slagfrekvensen för dessa maskiner är långt mycket lägre än vad hejarsondering redan kan leverera idag. Dessa utrustningar är ofta fristående eller hängda på bilar eller annan lättare utrustning utan tillgång till kraftiga drivaggregat. Sådana återfinns ofta på borrhandsvagnar, så det återstår att undersöka med en prototyp eller andra pilottester, ifall en borrhandsvagn och dess kraftigare maskineri kan leverera tillräckligt med drivkraft. Se vidare 5.4 och 5.5.

⁸I förhållande till stängens massa.

5.3.2 Mätning

Tidigare i rapporten har användning av en instrumenterad mätstång diskuterats, i syfte att direkt kunna mäta slagenergin som överförs från hejare till sonderingsstång. Förutom att använda en sådan utrustning i kontrollsyfte, så skulle mätstången kunna vara en mer permanent del av metoden. Med monterade accelerometrar och trådtöjningsgivare kan man direkt få ut slagenergin och i förlängningen möjligen även parametrar som bättre beskriver jordens egenskaper. Idealiskt hade varit att ha denna typ av mätutrustning i botten av sonderingen, det vill säga nära spetsen. Genom att mäta energin i spetsen mäts endast den energi som går åt att driva sonden genom jorden, då förluster på grund av friktion och skarvade stänger redan skett.

Även mantelfriktionen hade varit av intresse att kunna mäta kontinuerligt under sonderingsförfarandet, istället för endast vid skarvning som idag. En kombination av mätning tillsammans med varierad slagenergi skulle kunna användas för att aktivt kompensera för den mantelfriktion som drivning till större djup innebär, alltså att öka slagenergin med vad den uppmätta friktionen motsvarar för att kompensera för detta och på så vis uppnå en mer konstant energinivå i spetsen. Med andra ord skulle det fungera som en form av ”aktiv nollinje”, se kapitel 3.2 och figur 19.

Mantelfriktionen skulle kunna mätas på två sätt: genom en mätthylsa liknande den på CPT-sondering: trådtöjningsgivare monterade på en cylindrisk hylsa som omger sonden, eller genom att ha dubbel uppsättning av energimätning både i botten (vid spetsen) och toppen (under slagdynan). På detta vis erhålls, genom att observera skillnaden i energi mellan de båda mätpunkterna, den energiförlust som sker på grund av mantelfriktion. Andra energiförluster kan dock också tänkas förekomma genom till exempel dåligt skarvade stänger eller liknande, vilket måste kunna hanteras.

Att på stången fästa mätutrustning, särskilt nära spetsen kan dock vara problematiskt. För det första är det känslig elektronisk utrustning som måste klara av att utstå de dynamiska påfrestningar som uppstår. För det andra ska utrustningen ”få plats”. Enligt standarden [8] konstrueras en instrumenterad mätstång genom att fästa töjningsgivare och accelerometrar på utsidan av stången, vilket med största sannolikhet skulle innebära att dessa lossnar om det görs på den del av stången som drivs ner i marken. De måste därför vid montage i spetsen ha någon typ av skyddande lager, vilket innebär problem i sig. Om utrustningen fästs direkt utanpå stången för att sedan omges av ett skyddande hölje, ökar hela sondens effektiva area och på så sätt försvåras neddrivningen vilket inte är önskvärt. Istället kan möjligen utrustningen fästas på en avsmalnad del av stången eller eventuellt på insidan av en ihålig sektion av stången. Dock visar de energivågsteorier som behandlas i kapitel 3.1.4 att ändringar av tvärsnittsarean påverkar hur stor andel av energi och kraft som överförs. En ändring av stångens geometri kan vara nödvändig för att fästa utrustningen utan att påverka profilen på bottendelen av stången eller spetsen.

5.3.3 Utrustning

Ett sätt att minska mantelfriktion är att minska sondstängernas friktionskoefficient gentemot jorden, till exempel genom teflonbelagda eller polerade stänger. Detta anses dock inte rimligt då dessa beläggningar eller behandlingar sannolikt inte skulle hålla, utan slitas bort snabbt i de förhållanden de utsätts för.

Att driva hejarsondering i foderrör kan också vara ett alternativ för att minska mantelfriktion. Att parallellt driva ett foderrör som omsluter sonderingstängerna skulle göra att sonderingstängerna inte längre har kontakt med omgivande jord. Foderröret bör då självklart drivas på något annat sätt än med hejaren, vilket hade gjort lösningen redundant då energi ändå hade gått till att övervinna mantelfriktion. Istället skulle den kunna drivas av borrhandsvagnens rotationsenhet, så att röret drivs ner med borrhaggregatet. I och med att sondspetsen är bredare än sonderingstängerna resulterar det i att närmast spetsen drivs ett hål som är större än stängernas diameter, vilket också skulle underlätta drivning av foderrör.

5.3.4 Standard

Den existerande standarden [8] är idag ett hinder för att ändra hejarsonderingsmetodiken. Det finns minst två möjligheter att hantera detta. Det ena alternativet är att definiera en helt ny metod, som inte alls innefattas av standarden och därför inte heller begränsas av den. Det andra är att göra en ändring i standarden, och förslaget då är att istället för att som idag begränsa metodens utformning genom att lägga fast att den måste ha en tyngd X som faller från höjd Y , så borde standarden istället beskriva metoden allmänt, och uttryckt i fysikaliska egenskaper som slagenergi och impuls. Genom att genomföra en sådan ändring skulle möjligheter att modifiera metoden öppnas och göra det lättare att förnya den.

5.3.5 Alternativa metoder

SPT: En annan möjlighet vore att göra som stora delar av resten av världen och använda den vanligaste geotekniska undersökningsmetoden idag, SPT. Men likt hejarsondering är SPT en metod som funnits med länge, och inte heller denna är förskonad från problem. En övergång till SPT hade inneburit att gå från en kontinuerlig sondering till att endast sondera på 30 cm en gång varje eller varannan meter, vilket är en betydlig försämring när det gäller upplösningen. Dock får man med SPT upp jordprover vilket inte är fallet för hejarsondering. SPT medför ofta en mer personalkrävande metodik, där personalen lyfter vikten med hjälp av rep vilket ger en viss osäkerhet i konsekvensen i slagen. Detta torde dock vara enkelt åtgärdat genom att automatisera processen.

Jb-tot: Tidigare arbeten [16, 17, 18] har undersökt samband mellan Jb-totalsondering och hejarsondering. På grund av att dessa arbeten har varit av mindre omfattning har det inte inom ramarerna för arbetet direkt gått att påvisa direkta samband som gör att man kan ”översätta” Jb-totalresultat till hejarsonderingsresultat. Därför kan det vara av intresse att fortsätta undersöka detta.

Japansk hejarmaskin: Japan har tillverkat en dedikerad bandvagn, se figur 28 för just den svenska hejarsonderingen [15]. Den japanska vagnen hade dock inte avhjälpt några problem förutom ombyggnaden, och hade istället inneburit andra logistiska problem med allt vad fraktandet av ytterligare en tung geoteknisk vagn innebär.



Figur 28: Japansk dynamisk sonderingsmaskin från YBM av typen CRS-12-2. [15]

5.4 Exempelberäkningar - Hejare accelererad med fjäder

Den accelererade hejaren är en möjlig väg framåt, men det är inte självklart hur den skall utformas eller om detta löser alla problem utan att introducera nya. Nedan följer exempelberäkningar som undersöker vilken fjäderkonstant k (N/m) som krävs för att accelerera en hejare i tre olika scenarion som utgår från befintlig hejarutrustning:

- Använda standardhejare med massan 63,5 kg och beräkna den fjäderkonstant k som krävs för att dubbla energin jämfört med HfA.
- Använda en hejare med halva massan, 31,75 kg, och beräkna det k som krävs för att få samma energi som HfA.
- Använda en hejare med en fjärdedels massa, 16 kg, och beräkna det k som krävs för att få samma energi som HfA.

Följande antaganden görs:

-Energien för ett standard HfA slag är $E = 311 \text{ J}$ (se kapitel 3)

-Det enda som ändras i scenariot är hejarens massa, resterande hejarutrustning är oförändrad, och fallhöjden (=accelerationssträckan) förblir 0,5 m.

-Fjädern antas vara fast inspänd i överkant och fastsittande i hejaren i underkant.

-Fjäders vilolängd är samma som när hejaren är i bottenläge.

Härledning

Fjäderkonstanten bestäms genom beräkningar baserade på de två ändlägen som framgår av figur 29, och dessas energiförhållanden.

I den vänstra figuren beskrivs den potentiella energin i positionen x genom samband mellan fjäderenergin och lägesenergin:

$$E = \frac{1}{2}kx^2 + m_H gx \quad (23)$$

där:

k är fjäderkonstanten (N/m);

x är fjäderns kompression (och hejarens fallhöjd) (m);

m_H är viktens massa (kg);

g är jordaccelerationen (m/s^2).

I den högra figuren beskrivs rörelseenergin precis innan hejaren träffar slagdynan:

$$E = \frac{1}{2}m_H v_0^2 \quad (24)$$

där:

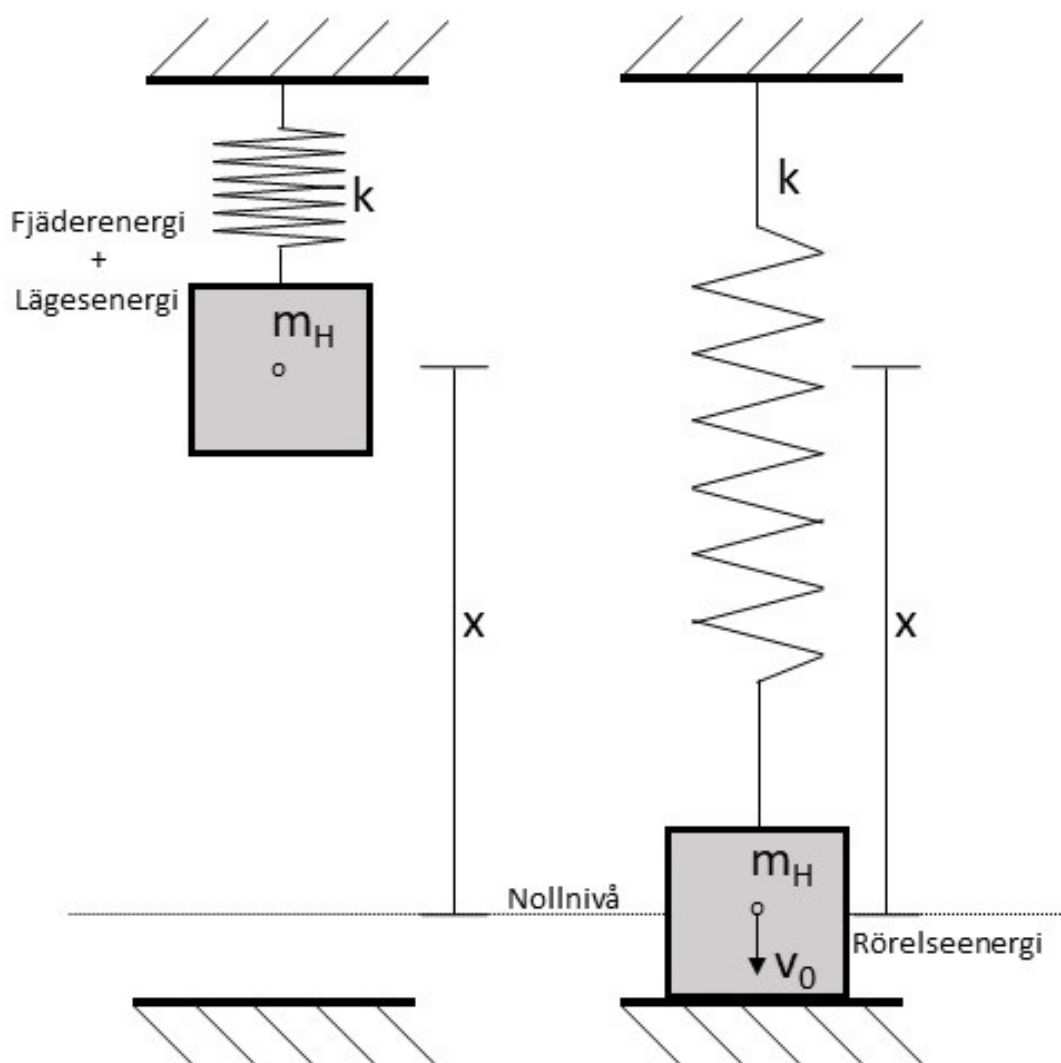
v_0 är hejarens hastighet (m/s).

Energien antas i ideala förhållanden bevaras, varvid uttrycken för (23) och (24) ger:

$$\frac{1}{2}kx^2 + m_H gx = \frac{1}{2}m_H v_0^2 \quad (25)$$

Högerledet beskriver här den ansatta energin bestämd av HfA-metodens hejares egenskaper, varpå fjäderkonstanten k i vänsterledet kan bestämmas:

$$k = \frac{2}{x^2}(E - m_H gx) \quad (26)$$



Figur 29: Skiss över den analyserade mekanismen. I vänstra bilden är fjädern fullt ihoptryckt ($x = -0.5 \text{ m}$). I högra bilden är fjädern i (expanderat) "viloläge" ($x=0$).

Nedan följer numeriska beräkningar baserade på ovanstående samband:

Dubbel energi - Samma massa

Massa (m_H)	63,5 kg
Energi (E)	622 J
Sträcka (x)	0,5 m

$$k = \frac{2}{0.5^2}(622 - 63,5 \cdot 9,81 \cdot 0,5)$$
$$k = 2484 \text{ N/m}$$

För att använda samma hejare med massan 63,5 kg och uppnå dubbla energin (622 J) krävs en fjäderkonstant: $k = 2,48 \text{ kN/m}$.

Samma energi - halva massan

Massa (m_H)	31,75 kg
Energi (E)	311 J
Sträcka (x)	0,5 m

$$k = \frac{2}{0.5^2}(311 - 31,75 \cdot 9,81 \cdot 0,5)$$
$$k = 1242 \text{ N/m}$$

För att använda en hejare med halva massan 31,75 kg och uppnå samma energin (311 J) krävs en fjäderkonstant: $k = 1.24 \text{ kN/m}$.

Samma energi - en fjärdedels massa

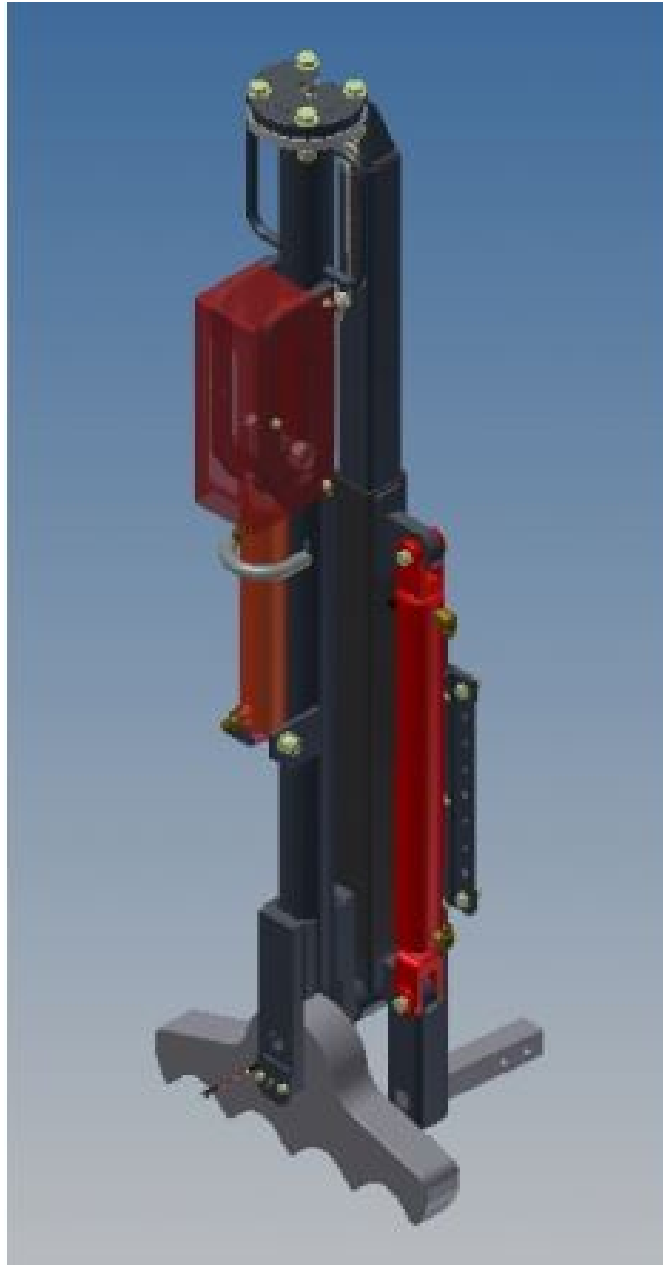
Massa (m_H)	16 kg
Energi (E)	311 J
Sträcka (x)	0,5 m

$$k = \frac{2}{0.5^2}(311 - 16 \cdot 9,81 \cdot 0,5)$$
$$k = 1860 \text{ N/m}$$

För att använda en hejare med halva massan 16 kg och uppnå samma energin (311 J) krävs en fjäderkonstant: $k = 1.86 \text{ kN/m}$.

5.5 Exempel på befintliga accelererade fallvikter

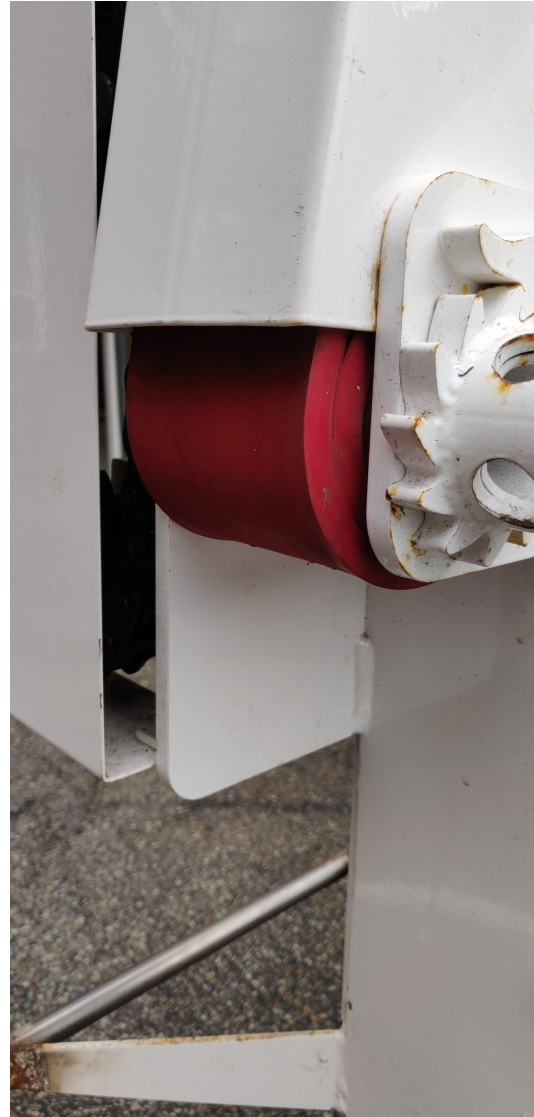
A100 P&S Accelerated Impact Energy Source (figur 30) är den minsta modellen i tillverkaren United Service Alliance Inc:s sortiment. Den genererar slagenergier mellan 395 och 1558 Joule⁹. Detta sker med en vikt med massan 41,8 kg som accelereras över en sträcka på 18,4 cm [19]. Jämfört med dagens hejarsondering, som ligger på 311 Joule är A100 P&S något kraftfullare, särskilt i den övre delen av spannet för slagenergi.



Figur 30: Pneumatiskt driven seismisk källa i form av en United Service Alliance Inc. A100 P&S Accelerated Impact Energy Source. [19]

⁹Hur denna variation uppnås nämns inte. Dock är det troligt att det sker genom att ökat gastryck ger ökad acceleration av vikten och därav högre anslagsenergi.

Totalt väger enheten 291 kg, vilket är olämpligt så länge den inte är en integrerad del av borrhandsvagnen. Med ett så pass stort energispänn som enheten har, kan det dock tänkas att en mindre och lättare maskin kan skapa de energinivåer som efterfrågas.



Figur 31: Elastisk driven seismisk stötkälla i form av en Gisco ESS 100 Turbo. Vikten accelereras av elastiska element av någon elastomer, ”gummiband” (se högra bilden). Foto: Kristian Eng

Gisco ESS 100 Turbo (figur 31, där Turbo innebär en modell med starkare motor och kraftigare elastiska band jämfört med ESS 100 (utan turbo), enligt Roger Wisén (*pers. komm. 29 Aug/2019*)). Dock hittas inte denna turbomodell på Giscos hemsida, så en jämförelse görs istället med ESS 100. Denna modell genererar enligt tillverkaren en slagenergi på 360 Joule med en 36-45 kg vikt som accelereras med gummiband [20]. Ingen totalvikt eller accelerationssträcka anges dock på hemsidan, och de förfrågningar till tillverkaren som gjorts har vid publikationstillfället inte besvarats.

6 Slutdiskussion och rekommendationer

6.1 Slutdiskussion

Enkätundersökningen i kapitel 4 visar att hejarsondering är en högst relevant geoteknisk undersökningsmetod som allmänt används i branschen. Inga direkta alternativ finns till metoden i de förhållanden den används, samtidigt som det framgår ur enkäten att den allmänna synen på metoden är i huvudsak negativ, vilket motiverar en utveckling av metoden eller alternativ utvecklingsväg i form av en ny metod.

Sammanfattningsvis identifieras, baserat på enkätundersökningen, följande huvudproblem hos hejarsondering idag:

- Stor tidsåtgång vid utförande.
- Ombyggnad av borrhandsvagnen från hammare till hejare är tungt och tidskrävande.
- Låg vertikal upplösning.
- Ej optimal arbetsmiljö (tidsåtgång, tunga lyft och hög ljudnivå)
- För låg slagenergi vid förekomst av fastare lager och block eller större sten.
- Problem med självsjunkning i lösa jordlager och identifiering av jordlager vid förekomst av kohesionsjordar/lösare jordar.

Det finns några olika vägar att ta för att avhjälpa de ovan nämnda problemen. Ett alternativ är att utveckla en ny metod som ändå liknar hejarsondering och kan ersätta den, men göra den lättare och snabbare, detta genom att **ersätta den fritt fallande hejaren med en accelererad hejare**. Ett annat alternativ är att bibehålla metoden som den är idag, men **utrusta den med givare för ytterligare mätvärden** för att kunna få ut mer information av samma arbetsinsats¹⁰.

Accelererad fallvikt:

Förhoppningen med övergången till accelererad fallvikt är att med en lättare hejare dels kunna få en lättare utrustning och men framför allt påskynda utförandet av en sondering. Dock är fysiken inte på vår sida när det gäller en accelererad lättare hejarvikt, då detta innebär större energiförluster i systemet, se kapitel 3.1.5. En minskad hammarmassa innebär att hejaren studsar mer och kraftöverföringen avbryts tidigare, varför en snabbare frekvens behövs för bibehållen penetrationshastighet, och metoden börjar mer och mer likna borrhning, såsom Jb-total. Hur stora energiförlusterna blir, och effekterna av en minskad hejarmassa har teoretiskt studerats ovan, men vilka effekterna blir i praktiken är dock oklart, varför detta bör undersökas ytterligare för att bedöma om en accelererad hejare är en rimlig lösning. Den minskade effektiviteten går möjligen att avhjälpa med olika typer av

¹⁰Självklart är det möjligt att kombinera dessa lösningar, dock presenteras de här separat.

mellanlägg, eller mellanlägg med under sonderingen varierande egenskaper, vilket diskuteras i kapitel 5.3.

En god grund vore att bygga en prototyp baserad på exempelberäkningar i kapitel 5 eller använda befintlig utrustning, vilket också diskuteras här.

Mer instrumentering

Om accelererad fallvikt inte skulle vara en gångbar lösning, är ett alternativ att ytterligare instrumentera metoden. Instrumentering kan ske på olika sätt, bland annat genom geofoner eller instrumenterade mätstänger. Detta behandlas närmare i kapitel 5.2.3 och 5.3.2. Genom att komplettera med ytterligare in-situ data fås mer information med samma arbetsinsats, vilket skulle vara ett alternativ för att motivera tidsåtgången som metoden innebär.

6.2 Fortsatt arbete

Då endast övergripande analyser har genomförts behöver tester och mer ingående numeriska analyser genomföras på hur stora effekterna av en lättare hejarvikt har på neddrivningen i praktiken. Dessa kan antingen utföras med egenbyggd utrustning enligt exempelberäkningarna i kapitel 5.4, eller en seismisk källa som också är nämnd tidigare. Någon typ av variabelt mellanlägg bör också undersökas närmare, och en analys genomföras för att ta fram vilken styvhet som ger optimal energieffektivitet i slaget med ökat sonderingsdjup (och därmed tyngre sonderingsstänger).

Parallellt med detta bör effekterna av en ökad slagfrekvens (runt 60-120 slag/min) på neddrivningen också undersökas, särskilt intressant i dåligt dränerade jordar är porvattentryckets inverkan.

För hjälp med utvärdering av ovan rekommenderas det också att konstruera en instrumenterad mätstång för att kunna utvärdera ny utrustning, och mäta eventuella förluster vid användning av en hejare med lägre massa.

7 Slutsats

Möjligheten att utveckla hejarsondering i riktning mot en accelererad fallvikt har visat sig vara något begränsad av fysiken. Med en lättare hejarmassa i förhållande till stångmassan kommer ökade energiförluster och en minskad effektivitet i slaget. En möjlig lösning för att optimera slagenergin är mellanlägg vars egenskaper varierar under neddrivningen och anpassas till det skiftande förhållandet mellan hejarmassa och stångmassa. Tekniken för att bygga maskiner med accelererad fallvikt finns idag och kan sannolikt anpassas för ändamålet, men tekniken med variabla mellanlägg återstår att utveckla.

Att fortsätta undersöka hejarsondering med accelererad fallvikt rekommenderas trots detta, eftersom det finns en hög tilltro till metoden och betydande erfarenhet av användningen. Genom praktiska försök bör den utvecklade metodens potential bedömas. En hypotes är dock att en accelererad fallvikt, efterhand som slagfrekvensen ökar, mer och mer kommer att efterlikna en hammarbörande metod, så som Jb-tot, varför stort fokus alternativt borde läggas på att fortsätta finna ett samband mellan resultat från hejarsondering och Jb-totalsondering.

En alternativ möjlighet till utveckling är att instrumentera metoden ytterligare, och mäta det dynamiska förloppet under neddrivningen och eventuellt seismisk vågutbredning i marken. Utan att ända metodens utförande kan man då få ut mer data med samma tidsåtgång. På så sätt kan den idag långa tidsåtgången motiveras genom att mer information erhålls. Självklart kan även instrumentering utföras på en accelererad hejarsond för att erhålla mer information vid undersökningen.

Referenser

- [1] Sanglerat G. History of the penetrometer. *Developments in Geotechnical Engineering*, 1(C):1–91, 1972.
- [2] Bergdahl Ulf. *Geotekniska undersökningar i fält*. Statens Geotekniska Institut, Linköping, 1984.
- [3] Svenska Geotekniska Föreningen. *Geoteknisk Fälthandbok*. Svenska Geotekniska föreningen, Göteborg, 2013.
- [4] Knutsson Julia. *Evaluating undrained shear strenght of clay with DPSH-A, A down to earth assessment of the applicability in Scania, Sweden (MSc thesis)*. Lund University, Faculty of Engineering, Department of Construction Sciences, Lund, 2018.
- [5] Dahlberg Ulf och Bergdahl Rune. *Utveckling av den svenska hejarsonderingsmetoden, Rapport R72:1973*. Svenska Geotekniska Föreningen, Stockholm, 1973.
- [6] Bergdahl Ulf och Möller Björn. *Utveckling av hejarsonderingsmaskin. Hejarsond för jordparameterbestämning. Resultat av ett utvecklingsprojekt*. Statens geotekniska institut, Linköping, 1980.
- [7] Implementeringskommission för Europastandarder inom Geoteknik. *Fältmetoder, Dynamisk sondering, Jämförelse mellan Europastandard för Dynamic probing och rekommenderad svensk standard för HfA-sondering*. Implementeringskommission för Europastandarder inom Geoteknik, Stockholm, 2006.
- [8] Svenska Institutet för Standarder. *Svensk Standard SS-EN ISO 22476-2:2005 Geoteknisk undersökning och provning-Fältprovning-Del 2: Hejarsondering*. Svenska Institutet för Standarder, Stockholm, 2014.
- [9] Clayton C.R.I. *The standard penetration test (SPT): methods and use*. Construction Industry Research and Information Association, London, 1995.
- [10] Morgano C.M. och Liang R. Energy Transfer In SPT Rod Length Effect. In *Application of Stress-wave Theory to Piles: Proceedings of the Fourth International Conference*, pages 121–127, Rotterdam, 1992. A A Balkema.
- [11] Abou-Matar Hasan och Goble G. G. SPT dynamic analysis and measurements. *Geotechnical Special Publication*, pages 921–928, 1997.
- [12] Wang Ji Cheng, Yu Jianlin, Shiguo Ma, och Gong Xiaonan. Hammer’s Impact Force on Pile and Pile’s Penetration. *Marine Georesources and Geotechnology*, 34(5):409–419, 2016.
- [13] Larsson Rolf. *CPT-sondering, utrustning – utförande – utvärdering, En in-situ metod för bestämning av jordlagerföljd och egenskaper i jord*. Statens Geotekniska Institut, Linköping, 2015.

- [14] Bingjian Zhu. Study of the Pore Water Pressure Variation Rule in Saturated Soft Soil Caused by Prestressed Concrete Pile Penetration. In *International Conference on Electric Technology and Civil Engineering (ICETCE)*, pages 756–759, Lushan, 2011. IEEE.
- [15] YBM. Fully automatic dynamic cone penetration tester CRS-12-2. <https://www.ybm.jp/product/crs-12-2> (Läst 2020-02-11), 2020.
- [16] Olsson Joacim. *Utvärdeing av moräns hållfasthetsegenskaper med jord-berg-totalsondering (MSc thesis)*. Luleå tekniska universitet, Avdelningen för Geoteknologi, Luleå, 2008.
- [17] Svenska Geotekniska Föreningen. *Jämförande sonderingar Jb-totalsondering, CPT och Hejarsondering*. Linköping, 2009.
- [18] Wister Sofia. - *Jämförande sonderingar och utvärdering av egenskaper i isälvsavlagringar kring Igelstaviken (MSc thesis)*. Kungliga Tekniska Högskolan, Avdelning för Jord- och Bergmekanik, Stockholm, 2010.
- [19] United Service Alliance Inc. Accelerated Impact Energy Sources. <http://www.usallianceinc.net/accelerated-impact-energy-sources.htm> (Läst 2020-02-05), 2020.
- [20] Gisco. Seismic sources. <http://www.giscogeo.com/products-equipment/seismic-sources> (Läst 2020-02-05), 2020.

Appendix

Innehåll

A Intervjufrågor	57
B Intervjusvar	60
C Enkät	65
D Enkätsvar	71

A Intervjufrågor

Intervju - Hejarsondering

Målet är att i slutändan ta fram en ny eller uppdaterad metod till hejarsondering. Mitt examensarbete är förstudien där målet är att ta fram en specifikation dvs. krav, önskemål och förslag till hur en sådan metod kan utformas. Ett steg i detta är att ta reda på vilka problem och svårigheter som finns med metoden idag, vilket jag kommer göra med bland annat en enkät och denna intervjun (eller i detta fall mindre enkät) är en hjälp för att ta fram den.

*Obligatorisk

1. Vad arbetar du som? *

Markera endast en oval.

- Fältgeotekniker
- Handläggande geotekniker
- Fältkoordinator
- Övrigt: _____

2. Vilken Region arbetar du i? *

Markera endast en oval.

- Syd
- Väst
- Öst
- Nord
- Mitt

3. Hur ofta använder du Hejarsondering? *

Markera endast en oval.

- Dagligen
- Varje vecka
- Varannan vecka
- Varje månad
- Varannan månad
- Någon gång om året
- Aldrig
- Övrigt: _____

4. I vilket syfte använder ni Hejarsondering? / Vad använder ni resultaten till? *

5. Vilka är de tre största fördelarna med hejarsondering? *

6. Vilka är de tre största nackdelarna med hejarsondering? *

7. Hur tror du att hejarsondering kan förbättras? *

8. Känner du idag till några bättre alternativ till hejarsondering? *

Tillhandahålls av



B Intervjusvar

Vad arbetar du som?
Fältgeotekniker
Fältgeotekniker
Fältgeotekniker
Fältkoordinator
Fältgeotekniker
Fältgeotekniker
Gruppchef fältgeoteknik
Fältkoordinator
Fältgeotekniker
Fältgeotekniker
Fältgeotekniker
Gruppchef fältgeoteknik och verksamhetsutvecklare inom fält

Vilken Region arbetar du i?
Mitt
Syd
Syd
Syd
Väst
Väst
Väst
Väst
Öst
Öst
Öst
Öst

Hur ofta använder du Hejarsondering?
Varje månad
Varje månad
Varje vecka
Varannan vecka
Varannan vecka
Någon gång om året
Varje månad
Någon gång om året
Varje månad
Någon gång om året
Varje månad
Varannan månad

I vilket syfte använder ni Hejarsondering? / Vad använder ni resultaten till?
Pålstopp för broar när det är friktionsmaterial och djupt till berg.
Oftast för att bestämma påldjup
Främst när CPT inte går att köra för att det är för hårt.
Pålstopp för broar ibland
Komplettera upp CPT, när den inte funkar så kompletterar man med hejar.
-När man inte kommer ner med tex CPT -Förväntat pålstop -Friktionsvinkel -Hållfasthetsegenskaper
I friktionsmaterial för att få fram friktionsvinkel. När det är svårt att få ner CPT.
I friktionsjordar. När man inte kommer ner med CPT, när man inte kommer ner i friktionsmaterial, det är det vanligaste. Ibland för att simulera en pålning. Ibland vid konstiga pålstop har man testat med hejarsondering.
Räkna ut friktionsvinkel Pålstopp
-Friktionsvinkel -När det är hårt i backen, när andra metoder misslyckas, så kör HfA eller JB
Bergfritt djup
Pålstopp, pålängd. När det är för hårt för andra metoder (viktsondering)
Ofta för påldimensionering. För spont vill man ha friktionsvinkel.
Vilka är de tre största fördelarna med hejarsondering?
Inte jättemånga dördelar som fältgeotekniker. Mer för handläggande, med att man får ut många parametrar.
-Lugn metod, sköter sig själv. -Väderoberoende, tacksam t.ex på sjön. (Klarar av guppigt etc)
Man behöver inte vara försiktig, bara att köra på. Robust.
Kan nästan köra den var som helst, stabil.
-Finns mycket empirisk data, har använts länge -Enkel att utföra -Pålitlig
Går att ta sig igenom hårdare material. Man får ett resultat istället för bara stopp med CPT och man kommer djupare.
Få fram parametrar som går att räkna på, istället för att inte alls komma ner med CPT -> inget resultat alls. Då istället för att offra den dyra CPTn så använda den billiga hejarsonderingen. Gammal metod, många kan relatera med metoden.
Simpel, lätt att utföra. Även om elektroniken skulle falla, så kan man ju räkna slagen själv. När man ska ut i skog och mark och man inte kan få med kompressor för att köra JB.
-Ingen stressad metod, lugn och harmonisk
Lugn metod Enkel att utföra (sköter sig själv)
Man får reda på vissa parametrar i marken (löst och hårt etc) Fungerar bra som komplementmetod, där andra metoder inte funkar. Enkel att köra, tacksam.
Överlägsen vid tex spont, då det är det överlägset rimligaste alternativet.

Vilka är de tre största nackdelarna med hejarsondering?
Kommer inte djupt då det är blockigt (därför används slagsondering oftare). Tung och tidskrävande ombyggnation. Tidskrävande, tar lång tid att utföra.
-Tungt och tar tid att bygga om -Kan ta väldigt lång tid att köra -Oklart med stoppkriterier (Vissa vill ha 100x3 slag, vissa 400 slag, vissa till spec. djup) -Svårt att tidsbedöma hur lång tid metoden kommer att ta (lättare om man gjort tidigare undersökningar)
Tar lång tid att köra, framför allt i skånska lermoränen. Ombyggnation Svår att tidsbestämma hur lång tid det tar
Lång tid att både utföra och bygga om. Inte så bra som CPT, informationsmessigt upplösning och data.
-Ombyggnation -Fruktansvärt tråkig -Kan ta tid, då den ofta används där det är svårt att komma ner
Tidskrävande att bygga om, många delar, tungt och slitigt. Tidskrävande metod.
Fruktansvärt tråkig, långsam metod. Ett riktigt prov på uthållighet. Går inte alltid köra bara hejarsondering, tex om man stöter på block eller liknande. Små delar som man måste hålla koll på, korrigerig vid stålbyte, mantelfriktion som kan kärva, slagserier, nivåer. Man kan räkna bort sig. Osäkerhet med bland annat klämrisk etc. Typ vid byte av mellanlägg utan att säkra vikten.
Att man behöver bygga om riggen, tar tid och är oergonomiskt och tungt. Iom att man kör med en lös spets, är det lätt att hamna snett så man behöver börja om. Uppfattar som att maskinen räknar extra eller tar bort slag ibland (konstig elektronik?) Kan också vara svårt att hålla reda på om man skulle räkna själv. Självsjunkning i leriga förhållanden
-Ombyggnationen
Ombyggnationen Kan bli långsam och trädig
Tung och klumpig. Svårt och farlig och byta om i fält, jobbig att få med sig och tar tid. (~120 kg paket som sak lyftas)
Separat del till maskinen som är tung (ombyggnation) Utdragen sonderingsmetod, tar lång tid. Den måste användas i friktionsjordar och då tar den lång tid. Tråkig. Mekanisk underutvecklad. Kan inte köra andra metoder samtidigt.

Hur tror du att hejarsondering kan förbättras?
Bli av med nackdelarna
Billigare genom att inte behöver byta spets. GMmaskiner har en smidigare lösning, ca 10 min att bygga om.
På något sätt göra den snabbare. Slippa ombyggnationen.
Bättre upplösning Snabbare Alla negativa saker bort
Snabbare slag med samma slagenergi (någon typ av accelererad fallvikt). Kanske ger bättre koll på ingående parametrar
Om man slapp ombyggnaden, kanske köra med hammare.
Använda sig av hammaren, mha givare som tar upp snabba pulser och kan vara exakta vilken kraft man lägger på slagen. Något som hinner med att logga om man slår snabbare -> högre upplösning, högre frekvens. Ngn typ av digital acc. variant. Hänger lite på hur noga utrustningen är. (Finns ju väldigt exakta maskiner som kan gräva med mm precision etc.)
-Använda hammaren på riggen som den är. (Om den kan leverera rätt slagenergi). Blir då en mer noggrann metod och man kan påverka den mer. -Med större påverkan kan man anpassa för olika förhållanden. Inte använda lösa spetsar (dyrt), sitter inte alltid fast ordentligt. Så man slipper lämna dom i backen. -Bättre på att bygga riggarna, där riggen själv kan lyfta (finns redan på vissa riggar)
Att metoden går snabbare, samma slagkraft men snabbare. Göra den lättare att bygga om.
Lättare, smidigare ombyggnad. Inte ta bort hammaren, ha den "under" på något vis. Något som man lättare kan bulta fram. Kanske använda hammaren.
Digitalisera för att programmera så att hammaren slår med samma kraft som vikten.
Den kan sitta på direkt (permanent på maskinen), enda metoden som kräver ombyggnation. Rund mast som kan roteras för att få fram det redskap man vill ha.
Geo elektrik har en "nyare" variant till hejare. Tidigare samarbete med WSP. Föreslog till dom att använda hammaren, men det skulle inte fungera att reglera hydrauliken pga tryck eller värme. Dom har utvecklat en alternativ hejare som iaf ser bra ut, men ska vara lika stor och väga lika mycket. -Montera den snabbare och bättre ev. redan sitter på eller lättare grej som ligger i lastbilen som man lätt kan lyfta på. -Kolla andra metoder som får samma resultat

Känner du idag till några bättre alternativ till hejarsondering?
Inte för att få fram samma parametrar.
Beror på syftet. Pålningsdjup kan vara lättare med JB, mer garanterat vart berget är. Kanske svårare om riktigt djup.
Nej, inte som går att använda i lermorän.
Nej
Nej
CPT är bättre, mer värden och parametrar, men är begränsad. 20 ton CPT kan vara något.
Nej, kanske CPT i så fall. men inte helt utbytbara.
I gbg känns den ganska olämplig, nästan vilken annan sondering som helst skulle vara bättre.
Nej
Nej inte direkt. JB för bergfritt djup kanske.
Nej
Kanske 20 ton CPT, kanske i kombination med något annat.

C Enkät

Hejarsondering - Examensarbete

Enkäten tar 10-15 minuter att svara på och är en del av mitt examensarbete som behandlar modernisering av hejarsondering, där målet är att ta fram en specifikation och förslag för framtida arbete och utveckling.

Enkätens syfte är att identifiera hur hejarsondering används i Sverige, vilka problem de som jobbar med metoden upplever samt att höra önskemål på förbättringar.

I slutändan hoppas jag att arbetet ska leda till bättre arbetsmiljö för alla som är i kontakt med hejarsondering.

Så om du i ditt jobb på något sätt kommer i kontakt med hejarsondering, ta dig gärna tid att svara på enkäten så hjälper du inte bara mig i mitt arbete, utan även dig själv i förlängningen!

Kristian Eng

Lunds Tekniska Högskola

*Obligatorisk

1. Vilket/Vilka län arbetar du främst i? (1/9) *

Om du som till exempel fältgeotekniker ofta jobbar i olika delar av landet, eller som handläggande geotekniker jobbar med projekt i andra län, kryssa då de (upp till tre) främsta länen du arbetar i.

Markera alla som gäller.

- Blekinge
- Dalarna
- Gotland
- Gävleborg
- Halland
- Jämtland
- Jönköping
- Kalmar
- Kronoberg
- Norrbotten
- Skåne
- Stockholm
- Södermanland
- Uppsala
- Värmland
- Västerbotten
- Västernorrland
- Västmanland
- Västra Götaland
- Örebro
- Östergötland

2. Vilken är din huvudsakliga arbetsroll? (2/9) *

Markera endast en oval.

- Fältgeotekniker *Fortsätt till frågan 4.*
- Handläggande geotekniker *Fortsätt till frågan 10.*
- Koordinator/Samordnare *Fortsätt till frågan 10.*
- Övrigt: _____ *Fortsätt till frågan 3.*

3. Vilken arbetsroll beskriver dig bäst då du är i kontakt med hejarsondering. (2/9) *

Markera endast en oval.

- Fältgeotekniker. (Arbetar med metoden ute i fält och är med i utförandet.) *Fortsätt till frågan 4.*
- Gruppchef eller koordinator/samordnare. (Övergripande planering, men inte i direkt kontakt med metodval eller resultatanalys.) *Fortsätt till frågan 10.*
- Handläggande geotekniker. (Planering, metodval och resultatanalys.) *Fortsätt till frågan 7.*

Fortsätt till frågan 13.

Alla frågor är obligatoriska. Om du inte har ett svar att ge, svara då istället med något i stil med "nej" eller "vet inte".

4. Uppskatta hur ofta du använder hejarsondering. (3/9) *

Markera endast en oval.

- Dagligen
- Varje vecka
- Varannan vecka
- Varje månad
- Varannan månad
- Några gånger om året
- Enstaka gång om året
- Aldrig

5. Beskriv i vilka typer av markförhållanden du främst använder hejarsondering. (4/9) *

6. I vilket syfte används hejarsondering? (5/9) *

Vad vill man få reda på med metoden? Används den under specifika omständigheter, i så fall vilka?

Fortsätt till frågan 13.

Alla frågor är obligatoriska. Om du inte har ett svar att ge, svara då istället med något i stil med "nej" eller "vet inte".

7. Försök uppskatta hur ofta en rigg använder sig av hejarsondering i din region. (3/9) *

Om det är svårt att uppskatta, gå på hur ofta du jobbar i ett projekt där hejarsondering används.

Markera endast en oval.

- Dagligen
- Varje vecka
- Varannan vecka
- Varje månad
- Varannan månad
- Några gånger om året
- Enstaka gånger om året
- Aldrig

8. Under vilka förutsättningar väljer du hejarsondering som undersökningsmetod i en borrhyp? (4/9) *

9. Vad används resultaten till? (5/9) *

Vad gör du med den insamlade data från hejarsondering och vad är det du slutligen vill få reda på med metoden?

Fortsätt till frågan 13.

Alla frågor är obligatoriska. Om du inte har ett svar att ge, svara då istället med något i stil med

"nej" eller "vet inte".

10. Försök uppskatta hur ofta en rigg använder sig av hejarsondering i din region. (3/9) *

Om det är svårt att uppskatta, gå på hur ofta du jobbar i ett projekt där hejarsondering används.

Markera endast en oval.

- Dagligen
- Varje vecka
- Varannan vecka
- Varje månad
- Varannan månad
- Några gånger om året
- Enstaka gånger om året
- Aldrig

11. Under vilka förhållanden används hejarsondering? (4/9) *

12. I vilket syfte används hejarsondering? (5/9) *

Vad vill man få reda på med metoden? Används den under specifika omständigheter, i så fall vilka?

Fortsätt till frågan 13.

13. Vilka är de största fördelarna med hejarsondering? (6/9) *

14. Vilka är de största nackdelarna med hejarsondering? (7/9) *

15. Hur kan hejarsondering förbättras? (8/9) *

Det kan vara allt från generella idéer, specifik utformning av delar eller helt nya sätt att utföra metoden på. Försök beskriva vad som hade gjort hejarsondering till en bättre metod för just dig!

16. Hur tror du hejarsondering används om 10 år? (9/9) *

Markera endast en oval.

- Inte alls.
- I undantagsfall.
- Som idag.
- Oftare än idag.

17. Ge gärna en kort motivation till varför du tror så.

Tillhandahålls av



D Enkät svar

Fältgeotekniker

Vilket/Vilka län arbetar du främst i?
Stockholm, Södermanland
Blekinge, Kronoberg, Skåne
Kalmar, Kronoberg, Skåne
Blekinge, Kronoberg, Skåne
Halland
Västra Götaland
Stockholm
Norrbotten, Västerbotten, Västernorrland
Norrbotten, Västerbotten, Västernorrland
Norrbotten
Norrbotten
Dalarna, Jämtland, Västernorrland
Västerbotten
Stockholm, Södermanland, Uppsala
Norrbotten
Västra Götaland
Jönköping, Kronoberg
Skåne
Östergötland
Skåne
Blekinge, Kronoberg, Skåne
Stockholm, Södermanland, Uppsala

Uppskatta hur ofta du använder hejarsondering.
Några gånger om året
Varje vecka
Varje månad
Varannan vecka
Några gånger om året
Varannan månad
Varje månad
Varje månad
Varje månad
Varje månad
Varannan vecka
Varje månad
Varje månad
Några gånger om året
Varannan vecka
Några gånger om året
Varannan vecka
Varje vecka
Varannan månad
Varannan vecka
Varje vecka
Varannan månad

Fältgeotekniker

Beskriv i vilka typer av markförhållanden du främst använder hejarsondering.
Olika
När det inte går att komma ner med CPT-sond pga block, sten etc. Då går vi över till HfA-sondering.
Sa Morän lemorän
Där CPT ej är möjligt
Alla typer
Friktions jord
Friktionsjordar
Morän
Morän
siSa morän
Olika typer av moräner
Fast mark
Både lösa jordar och friktionsjord
Friktionsjord
Morän
morene
Mycket i sand & silt. Eller vid brolägen i lerjord där drt är lite djupare.
morän
Sand
Oftast i morän.
morän
Lera, silt och åsmaterial, men även moräner.

I vilket syfte används hejarsondering?
För att se pålbarhet, pålarnas längd, jordens egenskaper mm
Hållfasthets- och deformationsegenskaper på jorden samt djup/nivå till fast botten (viktigt för pålprojektering bla.)
Stopp för fast botten samt hur fast neddrivningen är
Bergfritt djup, hållfasthetsparametrar, pållängder, schaktbarhet, spontlängder, svagheter i bergets överyta, jorddjup, lagertjocklek.
Oftast pålstopp
Pålstopp , friktions vinkeln
Få ut friktionsvinklar, pålstopp
Till byggen av vindkraftsfundament
Bärighet i marken
För jordparametrar vid byggnader, broar, vindkraftverk mm
Lagerföljder, söka efter fasta lager
Oftast förmodat pålstopp eller hållfasthet för plattgrundläggning.
Oftast pålstopsbestämning
Friktionsvinkeln för den jord man undersöker.
Grundläggning, friktionsvinkel
pålstopp
Oftast är cpt förstahandsvalet, när cpt inte ger önskat resultat eller inte går att utföra kör vi hejjare istället. En vanlig borrhpunkt brukar vara trycksondering, skruvprovtagning och cpt eller hejjare.
ett pålstop
Kunna utläsa friktionsvinkel och lättare pålstopp
Ev. Pålstopp.
hållfasthet
Pålstopsnivåer och för info om fasthet i åsmaterial eller moräner.

Fältgeotekniker

Vilka är de största fördelarna med hejarsondering?

Att metoden utförs med lågt motorvarv vilket i sin tur spar på både maskin och miljö. När det gäller arbetsmiljö så är det en trevlig metod att utföra under rätt förhållanden.
Relativt snabb metod, och går smidigt att utvärdera. Går oftast komma ner i de flesta typer av jordar.
Enkel att utföra
Kommer igenom hårdare skikt och får fram parametrar i fastare och grovkorniga jordarter.
Kan köras i alla material
Vi får användbara parametrar
Lätt att utvärdera
?
Oklart
Blir bra parametrar för påldjup och packningsgrad av jordar
Jämfört med Vim så får det fördel med hejare när vi har mycket morän här uppe
Man ser ganska bra förhållanden i fast jord.
Man får fram parametrar och fasthet i morän.
Att man kan få hållfasthets parametrar i ganska svår penetrerade jordarter. Man behöver oftast inte vatten eller luft under tryck för att utföra metoden (förborring).
Man hinner smörja maskinen
att inte använda den =)
Man kommer ofta ner även om det är mycket hårt.
vet ej
Bra fråga
Kan ju vara pålstopp.
Används när det är för hårt att köra med cpt
Ger någorlunda exakt svar på fasthet.

Vilka är de största nackdelarna med hejarsondering?

I mitt fall så måste borrhammaren plockas bort för att ge plats åt hejar aggregatet.
Saknar då möjligheten att förborra när det behövs.
Går ej att utvärdera kohesionsjord med denna metod.
Lätt med falska stopp mot sten eller block
Tar lång tid, långtråkigt, skadar maskinen och mycket slitage på utrustning, dålig arbetsmiljö vid buller och tunga lyft vid ombyggnad. Dålig upplösning vid mjukare skivor och lager.
Inte så exakt
Det tar tid att utföra hfa.
Tar tid att bygga om maskinerna inför denna metod, kan vara tidkrävande i vissa jordar
Kan vara väldigt långtråkigt
Tar tid
Tar lång tid att utföra
Tiden, är inte ovanligt att tiden springer iväg när det är fastare jordlager
Den är inte exakt.
Tungt att montera på och av. Tråkigt
I de miljöer där vi människor finns och verkar kan metoden var svår att använda där vi tillfört "jordlager" med openetrerbara lager. För fältpersonal kan själva ombyggnaden av borrhjellen vara både tungt och en generera en förhöjd risk för skador. En metod som tar en något längre tid än t.ex. totalsondering.
Långtråkigt
sätta den på bandvagnen ,tung som fn
Bygga om maskinen och lyfta vikten.
Det kan ta väldigt lång tid
tar tid och låter mycket
Kan ge falska pålstopp
Tungt, drygt.
Tar lång tid
Rätt långsam metod, med en del förberedelser.

Fältgeotekniker

Hur kan hejarsondering förbättras?

Se fråga 7

Vet ej.

Ljudet skulle kunna dämpas med någon forma av låda runt hejarvikt och slagdyna mellan lägg som håller bättre

Mer ergonomisk utrustning. Kunna pressa sig igenom mjukare lager och få fram parametrar, bättre friktionsmätning. Kunna stoppslå snabbare med hammare som typ slb.

Vet ej

Kanske hydraulisk med hammaren .

Borde finnas ett nyare sätt att utföra denna metod som är mer tidseffektivt

?

Vet ej

Vet ej

har inget bra svar

Vet ej.

Jobbigt att montera Geotechs hejare. Har hittat en skaplig hydraullyft till förrådet.

Att man skulle kunna använda hydraulisk energi till slagkraft istället för att behöva släpa runt på en 63kg järnklump. Öka drivkraften/slag energin då motståndet ökar för att minska tidsåtgången/sonderad meter.

I

har aldrig tänkt så mycket över det men det går väl att fixa till på något sätt så den är lite mera säker att jobba med

Där det är mycket löst så det slår igenom eller är frisjunk, borde man kunna köra den likt en trycksondering till motståndet ökar

få den att bli tystare

Byt sätt att få ut friktionsvinkel

Ngt,lättare.

Inget direkt svar på det men tycker att mellanlägggen slits för snabbt och att man kunde ta fram en bättre kvalite på dessa så man slapp byta så ofta

Att ändra standard eller?

Hur tror du hejarsondering används om 10 år?

Som idag. - En bra metod som levererar mycket information

Som idag. - Svårt att se (inom överskådlig framtid) att någon bättre metod för grovkorniga jordar skulle

Som idag. - Den ger ändå information som kan vara svår att få på annat sätt som jag ser det

I undantagsfall. - Metoden ger alldeles för grova parametrar och för ovist vad man stoppar mot. Samt moderna pål och spontmaskiner driver flera meter förbi HfA stopp idag.

Som idag. -

Som idag. - Förändringar med geotekniska metoder brukar ta några generationer.

Som idag. -

Som idag. -

Som idag. - Tror inte den kan förbättras mycket mer

Som idag. - Metod som är svår att byta ut mot andra metoder som finns idag

Som idag. -

Som idag. - Det finns ingen metod som visar lika bra i fast jord.

Som idag. - Om man vill se parametrar och fasthet i morän, så finns det väl egentligen inget annat.

Som idag. - Vi kommer även i fortsättningen behöva parametrar i friktinsjord och vi har i dagsläget egentligen ingen bra metod där utvärderingen är något som var och varannan geotekniker har i sin "verktygslåda".

Som idag. -

Som idag. - en beprövad metod som man litar på

Som idag. -

Som idag. -

Inte alls. - Måste gå att utveckla metoden till något modernare

Som idag. - Den metoden är ju (ganska) säker.

Som idag. - Känns inte som metoderna utvecklas i en så snabb takt

Oftare än idag.

Handläggande geotekniker

Vilket/Vilka län arbetar du främst i?
Stockholm
Stockholm
Halland, Jönköping, Västra Götaland
Västra Götaland
Västra Götaland
Västerbotten
Östergötland
Stockholm
Skåne
Skåne
Skåne
Östergötland
Västernorrland
Norrbotten
Norrbotten
Västernorrland
Norrbotten
Norrbotten, Stockholm, Västerbotten
Västerbotten
Dalarna, Norrbotten, Västernorrland
Norrbotten, Västerbotten
Skåne
Norrbotten, Västerbotten
Jämtland, Västernorrland
Västerbotten
Stockholm
Stockholm
Gävleborg, Jämtland, Västernorrland
Västernorrland
Jämtland
Norrbotten, Stockholm
Stockholm, Södermanland, Uppsala
Jönköping
Gävleborg

Handläggande geotekniker

Försök uppskatta hur ofta en rigg använder sig av hejarsondering i din region.
Varje månad
Varannan månad
Några gånger om året
Enstaka gånger om året
Varannan månad
Varannan vecka
Varannan månad
Varje månad
Varje vecka
Varannan vecka
Dagligen
Varje månad
Varje vecka
Varje vecka
Varje vecka
Varje vecka
Varannan vecka
Varannan vecka
Dagligen
Varje vecka
Varje vecka
Varannan vecka
Varannan vecka
Varje månad
Varje vecka
Varje månad
Varje vecka
Varje vecka
Varannan vecka
Varje vecka
Varannan månad
Varje månad
Varje vecka
Varannan vecka

Handläggande geotekniker

Under vilka förhållanden används hejarsondering?
I fastare friktionsjordar
Hejarsondering utförs främst i friktionsjord/morän då viktsonderingen inte kan drivas ner.
Normala fältundersökningsförhållanden
Bestämning av hållfasthetsparametrar.
Används i samband med vanliga geoundersökningar.
Under samma förhållanden som alla andra undersökningar (?)
Oftast i friktionsjord/silt
Friktionsjord
När vi inte kommer ner med CPT, ofta i friktionsjord och lermorän.
Moränjordar, fyllning, där CPT inte tar sig ned, genom organisk jord ned mot berg
Där CPT inte fungerar
Friktionsjord-silt, isälvsediment, sand mm
Fyllning
Vid utredningar i fastmarksområden för större fundament, t.ex broar, vindkraftverk osv.
Friktionsjord, parameterval
För brogrundläggning och för parametrar i fast friktionsjord
Vad menas?
Fast mark
I fastare jordarter som morän eller sediment bestående av friktionsjord
Hejarsondering används i stort sett dagligen året runt. Så både sommartid och vintertid. Sonderingarna utförs både kring befintliga vägar/järnvägar men också i orörd mark om än i mindre utsträckning.
Fastmark ex: sand, moräner där andra metoder inte tar sig ner.
Friktionsjord, dimensionerande pålstopp, examensarbeten i skåne har skrivits om sondering i Lermorän (så det har även utvärderats i projekt).
Friktionsjord, morän
Morän, framförallt i den hårda lermoränen runt Östersund
Friktionsjord med stora djup.
friktionsjord
Större jordmäktigheter, friktionsjordar (fast lagrade)
Fastmarksgeoteknik
Friktions jordarter
Främst morän
Friktionsjord/fyllning
Oftast där vi bedömer att det är åsmaterial samt där vi tror att det kan vara mäktiga friktionsjordslager under lera.
När CPT ej går att utföra/djupt nog på grund av fastare/blockig friktionsjord
i princip alla, svårt med blockig jord

Handläggande geotekniker

I vilket syfte används hejarsondering?
För att bedöma lagringstäthet samt pål- och spontbarhet i friktionsjord.
materialparametrar, pålstopp för slagna pålar, bedöma möjligheterna för att slå spont. hejarsondering använder vi ofta då friktionsjorden har betydelse för uppdraget.
1. Bedöma pållängder 2. Bedöma friktionsvinkel och modul hos friktionsjord.
För att bestämma friktionsvinkel i fastfriktionsjord, när CPT ej fungerar
Utvärdera friktionsvinkeln i fast friktionsjord.
Pålstoppsnivåer slagna pålar, jordparametrar i fast jord
Materialparametrar och för att veta pålstopp
Beräkna pållängder, dimensionera plattor, ta fram material parametrar
Friktionsvinkel, E-modul i friktionsjord. E-modul, c_u och σ'_c i lermorän.
Parameterutvärdering, bergfritt djup och på köpet kan man få parametrar, bedömning pålstopp
Friktionsvinkel, pålstopp samt i lermorän som innehåller sten och block
Få bra underlag på friktionsvinkel och E-modul
Pålstopp
Friktionsvinkel/lagringstäthet, främst i morän
säker, ger tydliga stopp och god empirisk grund
Se ovan
För att få bättre underlag till bedömning av jordens hållfasthets- och deformationsegenskaper i friktionsjord. Metoden används där dessa egenskaper är av stor vikt för projekteringen.
Moduler, pålstopp
Få in uppgifter på modul och friktionsvinkel samt bedöma pålstopp för betongpålar
Främst för brogrundläggning, påldjup, ta fram materialparametrar i fastare jordar.
Markens fasthet/lagringstäthet för information om hållfasthet och sättningsegenskaper, pålbarhet.
dimensionerande pålstopp, blockfritt, mm
Utvärdering av friktionsvinkel och E-modul vid plattgrundläggning. Bedömning av stoppdjup för betongpålar vid pålgrundläggning.
För att säkerställa att det är morän och inte ett fastare lager av annan jordart. Även för att kolla pålstopp för eventuell pålning. Bättre för fastare jordarter än vim, vilket blir ganska värdelöst så fort det blir lite hårdare.
Pålningsförutsättningar. Grundläggande materialparametrar som friktionsvinkel och sättningsmodul. Används för större djup då viktsonderingen inte brukar vara lika tillförlitlig i sådana lägen.
pålstopp, e-moduler, friktionsvinklar. God info för plattgrundläggning och pålgrundläggning.
svar på hur djupt man kan förväntas driva spont/pålar, används ofta då skillnad i stoppnivå mellan vim och jb är stor (fast lagrad friktionsjord ovan berg)
pålstopp, parameterutvärdering i fastare friktionsjordar.
För att bestämma jordarts parametrar
Materialparametrar i de flesta moränjordar. Undersökning för bro, byggnadsfundament osv.
Utvärdering av friktionsvinkel, spontbart djup, stoppdjup för slagna pålar, uppskattning av jordens relativa fasthet
Som underlag för pålstoppsnivåer vid projektering samt att få ut hållfasthetsparametrar
För att kunna utvärdera lagringstäthet, hållfasthetsegenskaper samt kompressionsegenskaper.
påldjup, Emodul, friktionsvinkel etc

Handläggande geotekniker

Vilka är de största fördelarna med hejarsondering?
Bra simulering av neddrivning av slagna sponter och pålar.
metoden kommer ofta ner genom hela jordprofilen och ger underlag för bedömning av materialparametrar.
Den simulerar påslagning och ger ett bra värde på friktionsvinkel och modul vid friktionsjord där CPT-sondering inte är möjlig.
Robust metod
Att den klarar att komma i fastare friktionsjord jmf med CPT så att man kan utvärdera friktionsvinkeln.
Grov metod som inte hindras av lokala fastare lager eller små sten, lokalisera olika moränlager, parametrar i fastjord/morän
Att man får materialparametrar
Den ger bra parametrar för friktionsmaterial
Att vi kan få underlag till parametrar även i fastare jordar.
Parametrar kan utvärderas
Funkar i de flesta fall i fasta jordar. Mycket bra till packningskontroll i friktionsmaterial
Bättre och tillförlitligare värden än viktsondering
Ger bra svar i inhomogen jord
Den enda metod som går att använda vid grövre jordar som morän
Se tidigare
Lång historia som gör att det är en metod som många litar på
Ger förhållandevis bra information om hållfasthetsparametrar, deformationsegenskaper och lagringstäthet i friktionsjord.
resultatet
Man får tillförlitliga värden baserad på att det är en standardiserad metod
Materialparametrar kan tas fram, ger indikation på fast undergrund för olika grundläggningar
Kan ge information om fastare jordar där andra sonderingar som viktsondering, CPT, trycksondering inte går att utföra.
starkare än CPT, kan slå igenom sten mm,
Enda vettiga metoden för bestämning av materialparametrar i morän.
Går att räkna på parametrar samtidigt som det ger ett pålstopp. Tar sig igenom eventuella stenar som andra metoder kanske fastnar i.
Lätt avlästa resultat. Beständig metod. Tillförlitlig.
resultaten är ofta enkla att tolka
Ger parametrar för dimensionering, bra indikation på spontbarhet/pålstoppsnivåer
standardiserat förfarande, utvärderar friktionsjord
Att man kan få friktionsvinkel och få en förutsättning av jordarter
Etablerad undersökningsmetod som fungerar även på fast morän och är möjligt att empiriskt utvärdera.
Repeterbar metod som går att jämför med varandra, man får en uppfattning om hur fast jorden är.
Bra underlag för att kunna dimensionera grundläggning pålar och plattor
Utrustning tar ej skada i fastare/blockig friktionsjord såsom CPT kan göra. Kan även drivas djupare än en CPT i många fall.
bra metod som kompletterar andra metoder som vim

Handläggande geotekniker

Vilka är de största nackdelarna med hejarsondering?
Oftast är hammare för JB-sondering monterat istället för hejare. Maskinen måste byggas om eller en separat maskin köras ut till undersökningsområdet.
tidskrävande metod. det tar tid att bygga om riggen vid övergång jb-hfa. "gängorna" i skarven mellan två stål skadas relativt snabbt vilket gör att det blir tungt att skruva på/av stänger. ibland behövs en extra borrhög för att förborra igenom asfalt/fyllning
Den tar lång tid att utföra.
Dålig upplösning jämfört med CPT
Det är en relativt grov metod och ger stor spridning. Man måste bygga om vagnen och det är tidsödande. Man måste mäta vridmomentet.
Den är tunga att hantera, särskilt i fält. Den orsakar vibrationer i borrhvagnen. Hög ljudnivå.
Tar tid att byta på maskinen
Kräver ofta att rigg behöver byggas om, tidskrävande
Grov utvärdering av kohesionsjord. Känns som att utvärderingen för lermorän är på gränsen till att vara ok. Ur arbetsmiljösynpunkt låter den väldigt högt.
Tar tid att bygga om rigg, arbetsmiljö
Grov metod, resultat i grova drag
Tar tid, får anpassa maskinen när det ska köras, tunga lyft
Tar tid att bygga om maskinen från vim
Låg upplösning, det kan vara svårt att hitta svagare lager
tidsåtgång större än andra metoder
Block, osäkra och ojämna parameterutvärderingsg mellan borrhål.
Metoden kräver oftast ombyggnation av vagnen vilket tar tid samt är ett tungt arbetsmoment. Metoden kan även ta lång tid beroende på jordlagrens sammansättning, mäktighet och lagringstäthet.
Dyr metod som vid projekt med många ombyggnationer försämrar fältgeoteknikernas arbetsmiljö.
Tidsödande
Det är ett arbetsmoment att skifta till hejarutrustningen vilket gör att man måste ha en bra planering i förväg.
Ett monotont ljud, kan ta mycket lång tid i jordar som är fasta med stora jorddjup, lämnar spetsen i marken. Tid för att bygga om maskinen till HfA samt tunga lyft för att få delarna på plats.
Tidskrävande
Vridmoment, lermorän väldigt osäkert, tar lång tid
Kan ge missvisande resultat (av ovanstående) i morän då sondering sker mot sten/små block. Blir förstas stopp i sonderingen då block påträffas och då får man flytta och prova i ett nytt läge (om man vill djupare) vilket tar tid. Metoden är i sig tidskrävande att utföra i fält.
Måste bygga om borrhöggen för att använda metoden (på våra riggar). Lite för grov metod för sand och lösare jordar.
Tar lång tid att utföra samt att det tar lång tid att byta till denna metod när man har en borrhög som använder flera metoder.
bygga om maskinen
Särskild utrustning, behöver ofta vara flera sonderingar (minst 1 dag i fält) för att motivera kostnad.
stoppa på block, tar ibland lång tid att köra i fält
Man måste redigera själv några grejer. Det kan inte användas vid lösa jordarter. Ibland kan det finnas en viss osäkerheten vad det gäller resultat
Bygga om riggen tar tid och är tungt.
Tar lång tid
Tungt
Tar tid att bygga om maskindelvis. Tidskrävande ibland för att uppnå gällande stoppkriterier.
metoden kan ge "falska" svar om man inte är varsam. tidiga stopp är ett sådant, man får då helt enkelt börja om processen

Handläggande geotekniker

Hur kan hejarsondering förbättras?
Inga bra idéer.
det vore toppen med en borrhög som snabbt kunde byta mellan hfa och jb
Få den att kunna utföras på kortare tid.
Möjliggöra tillräckligt noggrann mätning av vridmoment i borrhög. I dag måste mätning av momentet utföras med momentnyckel för att få tillräcklig noggrannhet, vilket är omständligt och slitsamt för fältgeoteknikern.
Det finns sedan 80-talet en utvecklingstanke om att kunna mäta spetstrycket för att komma ifrån stångreduktion. Det borde tas vidare. Sedan borde man fundera på om hejarvikten ska öka så att sonderingen mer motsvarar provpåkning för dagens laster.
Man måste kunna erhålla samma stöt-energi på annat sätt än en tung vikt. I dagsläget vet man ju faktiskt egentligen inte heller vilken energi som kommer ner på stålet. Detta är bara framräknat teoretiskt. Små defekter i apparaten (friktion i gliddelar, fel fallhöjd, annat) kan påverka/reducera den verkliga slutliga energin. En givare som mäter den faktiska slagenergin skulle kunna medföra att andra slagdon skulle kunna användas (annat hydrauldriven accelererande system).
Vet inte tyvärr
Jag hade använt den oftare om den gick snabbare
Den kan bli tystare. Spetsen som idag "förloras" i marken efter varje sondering borde kunna byggas in på något sätt. Tydligare utvärderingsmetoder önskas.
-
Att kunna variera slagvikt/ fallhöjd för att förfina resultatet beroende på jordmaterial
Vet ej
Kombineras med seismik
Jag har haft en idé om att man borde kunna kombinera hejarsondering med någon sorts geofysisk metod, t.ex. att mäta skjuvvågshastigheten som uppstår från själva sonderingen+
Utvärderingsverktyg
Ersättas med jb-total
Möjligtvis kan arbetsmiljön förbättras genom att minska behovet av ombyggnation eller minska/förenkla arbetet med tunga lyft.
Vet ej
Säkert runt arbetsmiljön, att man har bra hjälpmedel att lyfta utrustningen på plats då den är tung.
Hjälpmedel för att montera hammaren på riggen på ett tidseffektivt och ergonomiskt sätt.
Kanske göra det möjligt att köra den likt en trycksondering i lösare partier. Dvs utan slag och med mätning av matningskraft.
Främst att det tar lång tid för vissa borrhöggar att installera den efter andra metoder.
Har inte funderat på det men en önskedröm vore ju om hinder (läs sten/block) kunde genomborras för att därefter fortsätta sonderingen.
En stor del för oss hade varit att ha borrhöggar som redan kan utföra metoden utan att behöva byggas om. Det skulle spara tid och pengar. Även att utveckla en standard för hejarsondering som är mer finkänslig och fungerar lika bra i lösare jordar.
Snabbare? Går det testa att öka frekvensen på "hamrandet", utföra jämförande undersökningar med normal hejarsondering och ta fram en ny formel för det? Möjligt? Kanske.
Bättre korrelation till ex. spontinstalltion
.
vet ej
Jag har ingen aning
Möjlighet att ha hammare, chuck och hejare på riggen samtidigt.
vet ej
Ingen åsikt
Förbättrade empiriska samband med jämförelse mot CPT.
osäker, kanske en tyngre hammare

Handläggande geotekniker

Hur tror du hejarsondering används om 10 år?
Som idag. -
Som idag. - metoden har använts under lång tid och branschen utvecklas långsamt
Som idag. -
Som idag. -
Som idag. -
Som idag. - 10 år är kort tid. Vissa borravnslieferantörer jobbar redan på enklare och mindre system. Men en ändring av standarden som möjliggör energimätning istället skulle öppna dörrar för utveckling.
Som idag. -
Som idag. -
Som idag. - För just den fasta lermoränen i Skåne tror jag hejaren kommer fortsätta att användas då jag inte ser att någon annan metod kan ersätta den.
Som idag. -
Som idag. - De fasta jordarna kommer inte försvinna. Skånsk geologi behöver Hfa. Danmark som har samma geologi där används Hfa mycket mer än i Sverige
Som idag. - Fält geoteknik utvecklas väldigt långsamt.
Som idag. -
Som idag. - Det är i dag en vanlig metod som jag tror kommer fortsätta att användas eftersom det saknas bra alternativ i områden med grövre jordar som morän.
Som idag. - fortsatt bästa metoden vi har för friktionsjord
Som idag. -
Som idag. - Branschen är generellt konservativt lagt. Metoden är beprövad och det finns idag en brist på alternativa metoder för jordar som innehåller fastare lager i friktionsjord.
Som idag. - behövs
Som idag. - I så fall ska det komma någon ny metod som skulle ersätta och det känns inte så eftersom det sett ungefär likadant ut de 30 år jag varit verksam. Och är ju en metod som är lätt att göra och lätt att utvärdera.
Kanske en morän-cpt (men det kräver ju mycket kraftfullare utrustning)
Utveckla och standardisera tolkning av Jb-tot skulle vara intressant
Som idag. - Ger mycket olika saker med samma metod. man kan göra flera olika tolkningar från en sondering.
Som idag. - Tror den kommer fortsätta användas då det är få andra metoder som idag ger information om egenskaper i fastare jordar som ex morän.
Som idag. -
Som idag. - Väl inarbetad metod som fungerar hyfsat väl för de ändamål som beskrivits ovan, och dessutom sker utvecklingen av nya sonderingsmetoder inte med raketfart så vitt jag känner till ;)
I undantagsfall. - Jag tror vi kommer utveckla nya metoder, kanske lära oss mer av den norska totalsonderingen. Den fungerar för allt från berg till lösa leror, jag tror framtiden ligger där.
Oftare än idag. - Alternativet i norrländsk geologi är oftast viktsondering vilket jag personligen anser är en utdaterad sonderingsmetod. Antingen kommer hejarsonderingsanvändandet öka eller så börjar man använda CPT i större utsträckning även i friktionsjord. Min gissning är det första.
Som idag. - Den enda metod som fungerar i fast friktionsjord.
Som idag. - tror det tar längre tid att förändra invanda mönster/metoder
Som idag. -
Som idag. - För att den är en bra metod när det gäller friktionsjord
Som idag. -
Som idag. - Det är en metod som är väl etablerad.
Som idag. - Vet ej, tror att det kan komma effektiva sonderingsmetoder som ger samma svar som hejarsondering
I undantagsfall. - CPT kommer troligen att utföras i större utsträckning.
Som idag. - en stabil metod helt enkelt

