



Svenska Geotekniska Föreningen
Swedish Geotechnical Society

Rapport 1:2015

Förbättrad utvärdering av resultat från jord- bergsondering/MWD



Svenska Geotekniska Föreningen
Swedish Geotechnical Society

SGF Rapport 1:2015

Förbättrad utvärdering av resultat från jord-bergsondering/MWD

Linköping 2015

SGF Rapport	Svenska Geotekniska Föreningen E-post: info@sgf.net
Beställning	Svenska Geotekniska Föreningen c/o Arokad Plejadgatan 3 417 57 Göteborg Tel: 031-733 47 03 E-post: info@sgf.net
ISSN	1103-7237
ISRN	SGF-R-15/1-SE
Upplaga	Digital utgåva
Tryckeri	www.sgf.net

Förord

Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) är en allsidigt sammansatt ideell förening, där de flesta yrkesverksamma geotekniker och företag i branschen är representerade, inklusive be-ställare av geotekniska utredningar. Föreningens mål är att främja utvecklingen av geoteknik med grundläggningsteknik och miljögeoteknik i ett nationellt och internationellt perspektiv.

Fältkommittén inom SGF har som mål att främja dels utveckling av metoder, dels klargöra enhetlighet och god kvalitet på fältundersökningar samt att sprida kunskap och stå för erfa-renhetsåterföring och god arbetsmiljö inom området geotekniska fältundersökningar och mätningar. Ett av målen har varit att implementera jord-berg totalsondering i Sverige och en jämförande studie mellan Jb-totalsondering, CPT-sondering och hejarsondering genomfördes 2008. Vidare utfördes en förstudie under 2010 av SGF:s Fältkommitté ”Förstudie Uppdatering och revidering av SGF:s metodbeskrivning för Jb-sondering, förslag på åtgärder”, se Bilaga 12, där möjligheterna att skapa verktyg för en förbättrad utvärdering av Jb-metoderna studerades översiktligt. Den genomgång av litteratur som gjordes, visar att det i Sverige endast finns ringa dokumenterad kunskap och erfarenhet om tolkning och utvärdering av jord och berg vid Jb-sondering/MWD. Den kunskap som finns om utvärdering i jord avser framför allt vrid/tryckskedet vid Jb-totalsondering. Studien visade bl.a. på vikten av att skaffa fler verktyg för utvärdering och tolkning av jord-bergsondering. Man måste dock vara medveten om att Jb-sondering är en grov metod, och fokus måste ligga på utvärdering av lagergränser.

Detta projekt baseras på förslagen i förstudien och syftar till att få fram en bättre utvärderingsmetod för jordberg-sondering för säkrare bestämning av gränsen mellan lösare friktionsjord och fastare morän, mellan morän och berg, jordens

blockighet samt bergets sprickighet. Upplägg på projektet och planering av fältarbetet har gjorts av en grupp inom SGF:s Fältkommitté bestående av Agne Gunnarsson, Trafikverket, Björn Möller, FmGeo, Gunnar Nilsson, NCC och Hjördis Löfroth, SGI. Projektet har genomförts av Hjördis Löfroth, SGI, från SGF:s Fältkommitté (projektledare) och David Schälin, SGI. Värdefulla synpunkter, bidrag och diskussioner under arbetets gång har erhållits av den ovan nämnda gruppen inom SGF:s Fältkommitté, dvs Agne Gunnarsson, Björn Möller och Gunnar Nilsson. Fältarbetet har genomförts av Kjell Hidsjö, MiljöGeo. Projektet har finansierats av Trafikverket och SGF.

Granskning av/synpunkter på rapporten har utförts av Magnus Eriksson, SGI, Björn Möller, FmGeo och Gunnar Nilsson, NCC.

Svenska Geotekniska Föreningen
Fältkommittén

Linköping i mars 2015

Innehåll

1. Sammanfattning	1
2. Summary	3
3. Bakgrund och syfte	5
3.1 Bakgrund	5
3.2 Syfte	7
4. Del 1: Inventering av metoder	9
4.1 Inventering utförd i förstudien	9
4.2 Metoder för utvärdering av Jb-sondering/MWD	9
4.2.1 Generellt	9
4.2.2 Metoder utvecklade för berg	10
4.2.3 Metoder utvecklade för jord	17
4.3 Exempel på studier där ovan beskrivna metoder använts	21
4.4 Sammanställning av funna metoder, definitioner	26
4.5 Reflektioner	28
5. Del 2: Fältstudie	31
5.1 Undersökningar	31
5.1.1 Undersökningsområde	31
5.1.2 Inom utredningen utförda undersökningar	34
5.2 Utvärderingsmetodik	37
5.2.1 Generella antaganden	37
5.2.2 Utvärderingsmetoder – specificering	39
5.3 Analys	42
5.3.1 Analys av tidigare utförda undersökningar	43
5.3.2 Analys av utförda undersökningar inom utredningen	49
5.4 Slutsatser	59
5.5 Diskussion	61
5.6 Rekommendationer	63
6. Referenser	65

A Bilagor 69

1. Utvärdering av jord-bergsondering 4160, 4159 och 4161
2. Utvärdering av jord-bergsondering 4167
3. Resultat från hejarsondering P6-5
4. Resultat från jord-berg totalsondering P6-3 och P6-4
5. Jämförelse mellan borrhparametrar för jord-bergsondering P6-1, P6-2 och P6-6
6. Utvärdering av jord-bergsondering P6-1, P6-2 och P6-6
7. Jämförelse mellan ny skärborrhkrona och ny stiftborrhkrona
8. Jämförelse mellan ny och sliten stiftborrhkrona
9. Jämförelse mellan ny och sliten skärborrhkrona
10. Kornfördelning från siktning och last-deformations samband från ödometerförsök
11. Sammanfattning av jämförelse mellan utvärderingsmetoder
12. Förstudie

Kapitel 1.

Sammanfattning

Detta projekt har syftat till att få fram en bättre utvärderingsmetod för jordbergsondering för säkrare bestämning av gränsen mellan lösare friktionsjord och fastare morän, mellan morän och berg, jordens blockighet samt bergets sprickighet.

Projektet består av två delar. Den första delen omfattar en litteraturstudie som syftar till att beskriva användbara utvärderingsmetoder både inom och utanför Sverige. Den andra delen omfattar en fältstudie med syftet att använda de föreslagna utvärderingsmetoderna vid Jb-sondering för svenska jordlagerförhållanden och utifrån det utvärdera möjligheterna att bedöma gränsen mellan lösare och fastare jord och mellan fast jord och berg.

Tolv metoder för utvärdering av borrhparametrar beskrivs i rapportens första del. Dessa metoder är Somertons index (Somerton, 1959), Specifik energi (Teale, 1965), Borrenergi (Pfister, 1985), Förändringsindex (Pfister, 1985), Borrningsmotstånd (Girard, 1985), Specifik energi för slagborrning och Slagindex (Sugawara et. al., 2003), Fasthetsindex (Nishi et.al., 1998), Easy och Hard parametrar och Exponentmetoden (Gui et. al., 1999), Jb2-index (Nilsson, 2001) och traditionell utvärdering av bormotstånd som tid per 0,2 m sjunkning (Möller et. al., 2004).

Flertalet utvärderingsmetoder har tagits fram utanför Sverige där rotationsborrning är betydligt vanligare än slagborrning. Därför är de flesta relationerna framtagna för rotationsborrning, men har i många fall även använts för slagborrning. Metoderna inkluderar metoder framtagna såväl för jord som för berg.

Fältstudien gjordes i ett område ca en kilometer öster om Ulricehamn i väglinjen för planerad ny sträckning av riksväg 40. Jordlagren inom området består huvudsakligen av morän med partier där berg går i dagen. I området hade dels många jord-bergsonderingar utförts varav ett flertal i berg och dels ett antal provgropar som visade att den överlagrande moränen hade olika fasthet. I denna studie utfördes jord-bergsonderingar med kronor av olika typ och slitningsgrad, jord-bergtotalsondering (vrid-tryckskedet), hejarsondering samt provtagning med Geobor-S.

Jämförelsen mellan olika utvärderingsmetoder visar att för ett tillförlitligt resultat måste hänsyn tas till samtliga borrparametrar från jord-bergsonderingen, dvs. såväl sjunkhastighet, matningskraft, rotation och hammartryck. Bäst möjliga utvärdering får man om man baserar utvärderingen av lagergränser på flera olika utvärderingsmetoder, vilka baseras på olika borrparametrar. En jämförelse mellan metoderna tyder på att det är något lättare att bedöma gränsen mellan de båda moränerna med metoderna Somertons index och Förändringsindex än med övriga metoder. Gränsen mellan morän och berg har generellt varit lätt att bedöma.

Jämförelsen mellan stift- och skärborrkrona tyder på att stiftsborrkrona är effektivare än skärborrkrona för borring igenom den mycket fasta moränen. I berg kan inte någon skillnad mellan de båda kronorna urskiljas. Jämförelsen mellan ny och sliten stiftborrkrona antyder att framdriften är bättre med ny krona genom den mycket fasta moränen. Någon sådan antydning kan inte ses vid jämförelsen mellan ny och sliten skärborrkrona.

Kapitel 2

Summary

The aim of this project has been to obtain a better evaluation method for soil-rock sounding for better determination of the boundary between looser friction soil and firmer moraine, between moraine and rock, soil bouldering and rock fracturing.

The project comprises two parts. The first part includes a literature review, which aims to describe useful evaluation methods within and outside Sweden. The second part includes a field study with the aim of using the proposed evaluation methodology for Swedish soil conditions and based on that evaluate the possibilities to assess the boundary between looser and firmer soil and between firm soil and rock.

Twelve methods for evaluation of drilling parameters are described in the report. These are Somertons index (Somerton, 1959), Specific energy (Teale, 1965), Drilling energy (Pfister, 1985), Alteration index (Pfister, 1985), Drilling resistance (Girard, 1985), Specific energy for percussive drilling and Percussion index (Sugawara et. al., 2003), Firmness index (Nishi et.al., 1998), Easy and Hard parameters and Exponent method (Gui et. al., 1999), Jb2-index (Nilsson, 2001) and traditional Swedish evaluation of drilling resistance as time per 0,2 m descent (Möller et. al., 2004).

Several evaluation methods have been developed outside Sweden where rotary drilling is more common than percussion drilling. Therefore, most relationships are designed for rotary drilling, but in many cases they have also been used for percussion drilling.

The field study was carried out in an area about one kilometer east of Ulricehamn in the new stretch of Highway 40. The soil layering in the area mostly consists of moraine with rock outcrops. In the area many soil-rock soundings had been carried out as well as test pits, which showed that the overlying moraine had different firmness. In this study, soil-rock soundings with rock bits of different type and wear, soil-rock total soundings, dynamic probing and sampling with Geobor-S were carried out.

The comparison of different evaluation methods show that for a reliable result, all drilling parameters from the soil-rock sounding have to be taken into account, i.e. penetration rate, thrust force, rotation, and hammer pressure. The best possible evaluation of soil boundaries is obtained when the evaluation is based on several evaluation methods, which in turn are based on different drilling parameters. A comparison between the methods suggests that it is slightly easier to evaluate the boundaries between the two types of moraine with the methods Somertons index and Alteration index than the other methods. The boundary between soil and rock has generally been easy to evaluate.

The comparison between button drill bit and cutting drill bit indicates that button drill bit is more effective than cutting drill bit in the firm moraine. No difference between the bits can be distinguished in the rock. The comparison between the new and worn button drill bit indicates that the propulsion is better in the firm moraine with the new bit. Such an indication cannot be seen from the comparison between the new and worn cutting drill bit.

Kapitel 3

Bakgrund och syfte

3.1 BAKGRUND

Mål för fältkommitténs arbete är att främja utveckling av metoder, verka för enhetlighet och god kvalitet på fältundersökningar samt att sprida kunskap och stå för erfarenhetsåterföring och god arbetsmiljö inom området geotekniska fältundersökningar och mätningar.

Området geotekniska fältundersökningar, miljötekniska markundersökningar och mätningar spänner över ett stort område där fältkommitténs verksamhetsområde kan definieras av följande punkter:

- Traditionella undersökningsmetoder
- In situ-metoder
- Geohydrologiska metoder
- Kontrollmetoder
- Geofysiska metoder med geoteknisk tillämpning
- Metoder för mätningar, kontroll och uppföljning samt datainsamling

Med Jord-bergsondering (Jb-sondering) avses normalt sondering i jord och berg med tryck-lufts- eller hydrauldrivna bormaskiner med borrhängar och bergborrkrona. Jord-bergsondering är den vanligaste sonderingsmetoden som kan utföras i såväl jord som berg. Syftet med metoden är att klargöra djup till berg, samt bergets sprickighet. Andra resultat från sonderingen är information om jorden eller bergets relativa fasthet samt sten och blockinnehåll i jord. Att i ett tidigt skede av t.ex. ett infrastrukturprojekt, få en säkrare bestämning av gränsen mellan lösare friktionsjord och fastare morän, mellan morän och berg, jordens blockighet samt bergets sprickighet innebär en säkrare bedömning av kostnaderna för projektet.

Metoden har vidareutvecklats i samband med att datoriserad registreringsutrustning blivit allmänt tillgänglig för montage på borrhandsvagnar och med detta har det blivit möjligt att registrera fler borrhparametrar. I slutet av 1990-talet tog SGF:s Fältkommitté fram en metodbeskrivning för jordbergsondering, se SGF-rapport 2:99, vilken nyligen uppdaterats; SGF Rapport 4:2012. Denna inkluderar även andra Jb-metoder, som Jb-totalsondering.

Vid *traditionell Jb-sondering* överförs slagenergi från en slaghammare via ett borrstål till en borkrona, som kan vara av olika typ och dimension. Borrstålet roteras och tryckbelastas samtidigt som borkronan slås/pressas mot jordlagren/berget. Vid sonderingen mäts och registreras ett antal olika parametrar såsom djup, sjunkhastighet, matningskraft, hammartryck, rotationstryck, rotationshastighet och eventuellt också spolmedia tryck och flöde. Borrhparametrarna matningskraft, rotationshastighet och hammartryck ska om möjligt hållas konstanta under sonderingen. *Jb-totalsondering* motsvarar Jb-sondering med tillägget att man infört ett vridtryckskede, dvs. ett statiskt skede med avstängd hammare och spolning samt konstant rotations- och sjunkhastighet. *MWD (Measuring While Drilling)* är en generell metod där olika borrhparametrar mäts och registreras. MWD-metoden inkluderar Jb-sondering, men kan också tillämpas vid t.ex. kärnbörning eller stagsättning.

Verktyg för en förbättrad utvärdering av Jb-metoderna har under 2010 undersökts översiktligt i en förstudie, se Bilaga 12. Denna visar att det i Sverige endast finns ringa dokumenterad kunskap och erfarenhet om tolkning och utvärdering av jord och berg vid Jb-sondering/MWD. Det finns förmodligen en hel del kunskap om utvärdering från MWD utan-för Sverige, som borde nyttjas. Förstudien visade att det är angeläget att skaffa instrument och verktyg för utvärdering och tolkning av Jb-sondering/MWD, i första hand med avseende på lagergränser.

Detta projekt har initierats för att samla ihop den dokumenterade erfarenhet som finns och göra egna undersökningar och analyser, för att på så sätt bygga upp kunskapen inom detta område.

3.2 SYFTE

Syftet med projektet är att få fram en bättre utvärderingsmetod för jordbergsondering för säkrare bestämning av gränsen mellan lösare friktionsjord och fastare morän, mellan morän och berg, jordens blockighet samt bergets sprickighet.

Denna studie omfattar två delar. Den första delen syftar till att beskriva användbara utvärderingsmetoder både inom och utanför Sverige.

Utvärderingsmetoderna har delats upp i jord och berg och omfattar en beskrivning, i vilket material de använts, i vilket syfte och vilka förutsättningar metoderna bedömts ha för utvärdering av sökta egenskaper. Inriktningen har varit användning av Jb-sondering för projektering/utförande av byggnader och vägar/järnvägar men även MWD för tunnelborrning har dokumenterats.

Avsikten är att föreslå metoder att testa i projektets andra del.

Den andra delen syftar till att använda de föreslagna utvärderingsmetoderna vid Jb-sondering för svenska jordlagerförhållanden och utvärdera möjligheterna att bedöma gränsen mellan lösare och fastare jord och mellan fast jord och berg. Därför utförs Jb-sonderingar i ett område där jordlagerförhållanden tidigare bedömts utifrån provtagning (provgropsgrävning). Resultaten analyseras med de olika utvärderingsmetoderna och möjligheten att bestämma jordlagergränser och bergnivå bedöms. Inverkan av typ av krona och förslitningsgrad inkluderas.

En komplettering med Jb-totalsondering (vrid-tryckskedet) och hejarsondering görs för att också jämföra nedträngning i mycket fast jord med dessa metoder.

Kapitel 4

Del 1: Inventering av metoder

4.1 INVENTERING UTFÖRD I FÖRSTUDIEN

I den förstudie (Bilaga 12) som föregick detta arbete gjordes en översiktlig genomgång av ett begränsat antal publikationer avseende MWD-teknik och utvärdering av parametrar i Sverige. Denna genomgång visade att majoriteten av dessa publikationer behandlar utvärdering i berg med användning av MWD-teknik. Jord-berg totalsondering har studerats i tre fall. I två av dessa (SGF, 2009 och Wister, 2010) har endast vrid-tryckskedet, dvs. den del av sonderingen då hammare och spolning inte är påslaget, analyserats för bedömning av egenskaper hos jordlagren. Jämförelser för bestämning av jords egenskaper med Jb-sondering med MWD-teknik har endast gjorts i två av publikationerna (Nilsson, 2001 och Ohlsson, 2008).

I de fall berg studerats har i tre fall datorprogram använts för utvärdering av sprickfrekvens och erforderlig mängd injektering (Apelqvist och Wengelin, 2008, Carlswärd m.fl, 2009 och Bruno, 2009). Det framgår dock inte hur utvärderingen görs i datorprogrammen. I ett fall (Möller m.fl, 2004) användes borrmotståndet och borrmotståndet kombinerat med matningskraft för att bedöma lager och sprickzoner i kalkberg och i ett fall (Andersson och Johansson, 1998) jämfördes ett antal borrrparametrar mot uppmätta egenskaper i kärnborrhål och skillnaden i vattenflöde och vattentryck gav indikationer på läget för vattenförande sektioner.

4.2 METODER FÖR UTVÄRDERING AV JB-SONDERING/MWD

4.2.1 Generellt

Denna studie avser att hitta relationer som kan användas även då ett fåtal undersökningar finns tillgängliga och underlaget är därmed för begränsat för en statistisk analys. Vid genomgången av litteratur har därför studier där

utvärdering av borrparametrar baseras på statistisk bearbetning (t.ex. Duchamp, 1988, Yu, et.al., 2004) inte medtagits.

4.2.2 Metoder utvecklade för berg

För att studera de grundläggande mekanismerna för bergbrott vid rotationsborring utförde Somerton (1959) en laboriestedie. Syftet var att studera de faktorer som kontrollerar sjunkhastigheten för borrkronan och vilken effekt bergets hållfasthet och borrkronans slitage har på sjunkhastigheten. Borrningsutrustningen bestod i princip av en omvänd borrpress där borringen utfördes vertikalt uppåt för att effektivt avlägsna borrkax. Luft användes som spolmedium. Proverna bestod av cylindrar eller kuber av betong, sandsten eller skiffer. Borrkronans sjunkhastighet kontrollerades under hela försöket för att säkerställa att den hölls konstant.

För att kunna jämföra resultatet av borringstesterna med en separat bestämd genomsnittlig tryckhållfasthet plottade Somerton dessa som dimensionslösa parametrar (P_E/D^2S) mot (V_A/DV_R) där F = matningskraften på borrstängerna exklusive stångvikten, P_E = trycket motsvarande matningskraften, D = borrkronans diameter, S = en hållfasthetsparameter för berg, V_A = sjunkhastighet och V_R = rotationshastighet. Testerna på betongproverna indikerade en korrelation, vilket inte kunde utläsas av testerna på bergproverna. Somerton drog slutsatsen att tryckhållfasthet inte är någon tillförlitlig hållfasthetsparameter för berg för korrelation av rotationsborring.

I stället tog han ur resultaten från försöken fram en korrelation baserad på borringshållfasthet (drilling strength). Denna relation som inte var avsedd för generell användning utan för de utförda försöken, uttrycks som:

$$V_A = 1,5V_R D \left(\frac{P_E}{D^2 S_d} \right)^2$$

där S_d = borrhållfasthet eller bormotstånd (även kallat Somertons index)

Då samma diameter på borrkronan används kan denna inkluderas i konstanten (k_S) och uttrycket blir:

$$V_A = 0,77 \cdot V_R \left(\frac{P_E}{S_d} \right)^2 \rightarrow S_d = 0,77 \cdot P_E \sqrt{\frac{V_R}{V_A}} \rightarrow S_d = k_S \cdot P_E \sqrt{\frac{V_R}{V_A}}$$

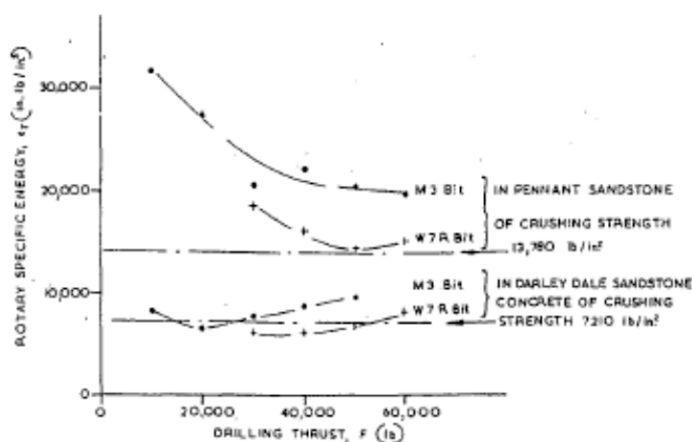
I sin studie fann Somerton också att slitaget av borrhkronan har en tydlig inverkan på sjunkhastigheten, vilket innebär att för att få samma sjunkhastighet är det nödvändigt att successivt öka matningskraften allteftersom borrhkronan slits. Borrhkaxet blir också finare och behovet av borrhningsenergi ökar när borrhkronan slits.

Teale (1965) introducerade parametern ”specifik energi” i rotationsborrning – det arbete som krävs per volymsenhet framschaktat bergmaterial. För att schakta fram en given volym bergmaterial erfordras teoretiskt en viss minsta kvantitet energi. Volymen av lossbrutet bergmaterial per enhet tillförd energi är det reciproka värdet till specifik energi, dvs. den mekaniska effektiviteten är som högst då den specifika energin är som lägst. I rotationsborrning utan slag utförs arbetet av matningskraften (F) och momentet (C_R). För att få specifik energi divideras arbetet med volymen vilket ger uttrycket:

$$e = \left(\frac{F}{A} \right) + \left(\frac{2\pi}{A} \right) \left(\frac{V_R C_R}{V_A} \right) \text{ (kPa)}$$

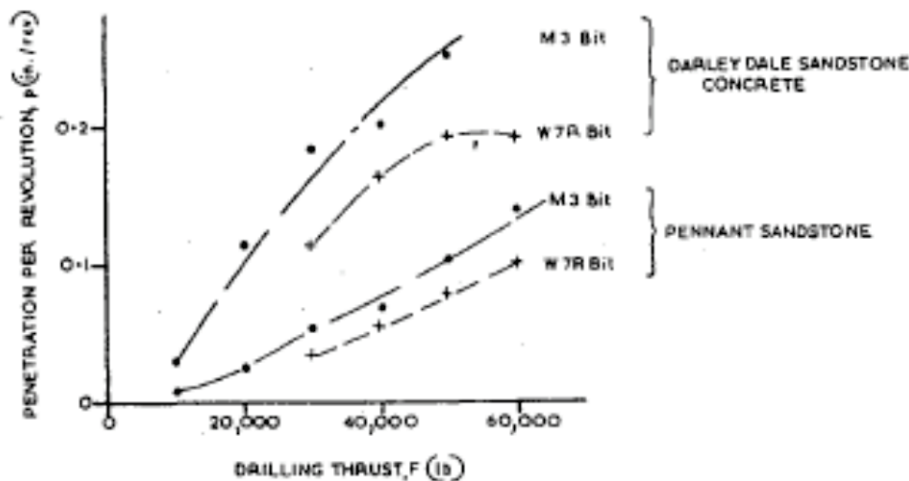
Där e = specifik energi, C_R = rotationsmoment, A = borrhålets area (borrkronans area) och övriga beteckningar definierats ovan.

Teale (1965) konstaterar att den specifika energin är hög vid låg matningskraft. Den faller snabbt när matningskraften ökas tills den når ett relativt konstant värde eller börjar öka igen. I Figur 4-1 redovisas rotationskomponenten av specifik energi, eftersom kraftkomponenten är försumbar, enligt Teale (1965). Detta möjliggör jämförelse mellan olika borrhkronor i samma bergmaterial.

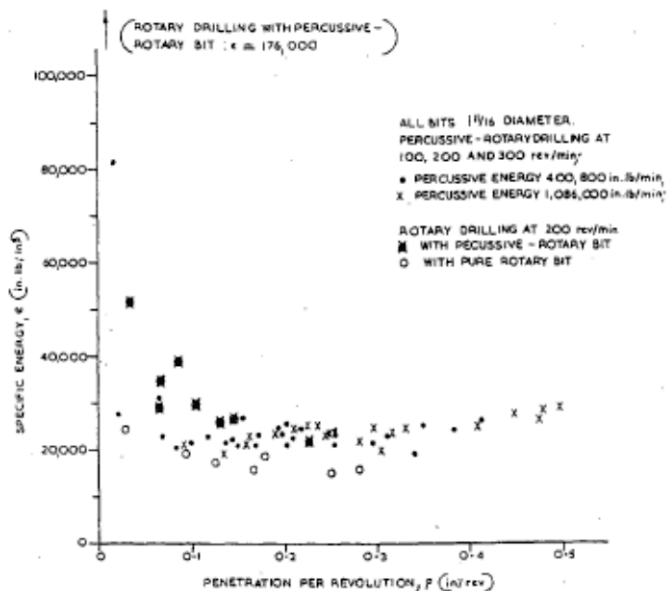


Figur 4-1: Specifik energi för två typer av borrhkronor (roller bits) i två olika medium, sandsten respektive sandstensbetong (Teale, 1965).

Han tittade också på möjliga samband och fann samband såväl mellan kraft och sjunkhastighet som mellan moment och sjunkhastighet (Figur 4-2). Vid jämförelse med rotationsborrning med slag fann han att den specifika energin för rotationsborrning med slag i stort sett är densamma för samma sjunkhastighet, men den erforderliga matningskraften för att uppnå en viss sjunkhastighet förstås är betydligt högre när slagning inte är påslagen (Figur 4-3).



Figur 4-2: Borrsjunkning per varv för två typer av borrhjor (roller bits) i två olika medium, sandsten respektive sandstensbetong vid olika matningskraft (Teale, 1965).



Figur 4-3: Specifik energi och borrsjunkning per varv för rotationsborrning med slag och enbart rotationsborrning. Den specifika energin för en viss borrsjunkning och samma borrhjor är i stort densamma oavsett om slagning används eller inte. Matningskraften för att uppnå en viss borrsjunkning är dock betydligt högre då slagning inte används (Teale, 1965).

Ett system (Enpasol) för utvärdering av borrarparametrar presenteras av Pfister (1985). Utöver Somertons index, presenterar han två andra relationer som används i Enpasol systemet för utvärdering av borrarparametrar. Dessa relationer är borrenergi och förändringsindex (alteration index). Exempel på testområden där Enpasol systemet har använts i både berg och jord presenteras, likaså exempel där systemet använts utan hammare eller med hammare/vibrohammare. Ingen jämförelse görs dock mellan utvärderingsmetoderna. De presenterade relationerna definieras nedan:

Borrenergi definieras som:

$$E = \frac{C_R V_R}{V_A} \quad (\text{kNm})$$

Förändringsindexet definieras som:

$$A_I = 1 + \left(\frac{P_E}{P_{E_{\max}}} \right) - \left(\frac{V_A}{V_{A_{\max}}} \right)$$

Det framgår dock inte om P_{\max} och V_{\max} är det maxvärde som uppnås under sonderingen eller om det är det maxvärde som kan uppnås med en viss maskin. Förändringsindexet (A_I) varierar mellan "0" i lös jord till "2" i fastare jord för en specifik undersökningslokal och är känsligt i halvfasta till lösa jordar.

I förslaget till MWD standard (ISO/WD 22476-X) har två konstanter tagits med i formeln. Dessa konstanter tas fram baserat på kalibreringsborrningsresultat, där konstanten, k_0 , multipliceras med både P- och V-termen medan konstanten, k_1 , enbart multipliceras med V-termen.

Girard (1985), Girard et.al. (1986) har använt Enpasol systemet i en experimentell studie för kalibrering av borrarparametrar. Syftet med studien var att studera inverkan av olika parametrar på borringen, att se eventuell interaktion mellan parametrar och att söka efter relationer mellan dessa parametrar och egenskaperna hos de genomborrade materialen. I studien användes rotationsborrning med en tri-kons bergborkrona (tri-cone rock bit) och den utfördes i block av murbruk, betong och berg som gjutits i eller gjutits fast i grävda diken. Tre av de utvärderingsmetoder som då användes i Enpasol

systemet (Företag: Soletanche) hade man tidigare funnit speciellt intressanta för utvärdering: Borrenergi, Förändringsindex och Somertons index. I studien varierades matningskraften, rotationshastigheten och borrkronans diameter. Sex borrarparametrar studerades: vridmoment, matningskraft, sjunkhastighet, rotationshastighet, reflekterad vibration och tid för 5 mm sjunkning. Resultaten visade på:

- Vikten av att integrera slitaget på borrkronan i exploateringen av rådata
- Att sjunkhastigheten ökar linjärt med matningskraften och kan skrivas som $V_A = k_a \cdot F$
- Att sjunkhastigheten på samma sätt ökar med rotationshastigheten $V_A = k_b \cdot V_R$
- Att inverkan av borrkronans diameter kan uttryckas som $V_A = k_c/D$
- Att vridmomentet är mindre känsligt för variationer i jorden/bergets hållfasthet än sjunkhastigheten

Utifrån resultaten av studien föreslås ett uttryck för borraringsmotståndet:

$$R_f = k \frac{F V_R}{V_A D}$$

Studien visar på en relativt god korrelation mellan detta borraringsmotstånd (R_f) och tryckhållfastheten hos de provade blocken av murbruk och bergmaterial.

Enligt den svenska metodbeskrivning för Jord-bergsondering (SGF, 2012) registreras och redovisas ett borraringsmotstånd vid samtliga Jord-bergsonderingsklasser. Borraringsmotståndet (P_R) definieras som tiden för 0,2 m sjunkning (s/0,2 m) och är ett mått på jorden eller bergets motstånd vid neddrivning. I Sverige används borraringsmotståndet vanligen tillsammans med övriga borrarparametrar för bedömning av lagergränser. I Möller et.al. (2004) användes borraringsmotståndet och borraringsmotståndet kombinerat med matningskraft för bedömning av lager med olika fasthet samt sprickzoner i kalkberg.

I ENPASOL systemet (t.ex. Girard et.al., 1986, Gui et.al., 1999) registreras en liknande borrarparameter definierad som tiden för 5 mm sjunkning, vilken redovisas i sekunder.

I Sugawara m.fl. (2003) karakteriseras vittrat berg utifrån borrarparametrar.

Baserat på tidigare arbeten presenterar de ett uttryck för specifik energi (SE) för

slagborrning. Detta uttryck härstammar från arbete utfört för USA's Inrikesdepartementet, Gruvkommissionen (US Department of Interior, US Bureau of Mines) på 1960 och -70-talen (e.g. Paone et. al. 1969, Schmidt, 1974). Det är inte känt om detta uttryck är kopplat till det ovan presenterade uttrycket för specifik energi för rotationsborrning (Teale, 1965). Specifik energi för slagborrning definieras för sänkborrhämmare enligt Sugawara et.al. (2003) enligt:

$$SE = \frac{4T_r P_0}{\pi D^2 V_A} = \frac{T_r P_0}{AV_A}$$

Där SE = specifik energi för slagborrning, P_0 = kraftutveckling/uteffekt från borrar-systemet (power output of the drilling system) och T_r = transmissionskonstanten vilken satts till $T_r = 0,7$. I artikeln används ett system kallat DPM för automatisk registrering av borrarparametrar på pneumatiska DTH borrar-maskiner (sänkborrhämmarmaskiner). DTM består av en givarenhet och en databehandlingsenhet. Givarenheten omfattar tryckgivare som mäter arbetstrycket hos kraften, rotationen och slagrörelsen, en rotationsgivare som mäter rotationshastigheten på stängerna och en positionsgivare som mäter positionen av borrar-maskinen på kedjematningen. Undersökningar genomfördes i fyra testområden med vittrat berg: 1) vittrad granit, 2) slamströmsavlagringar och vulkaniskt material, 3) slamströmsavlagringar och vittrad granit samt 4) fyllnadsmaterial och vittrad granit.

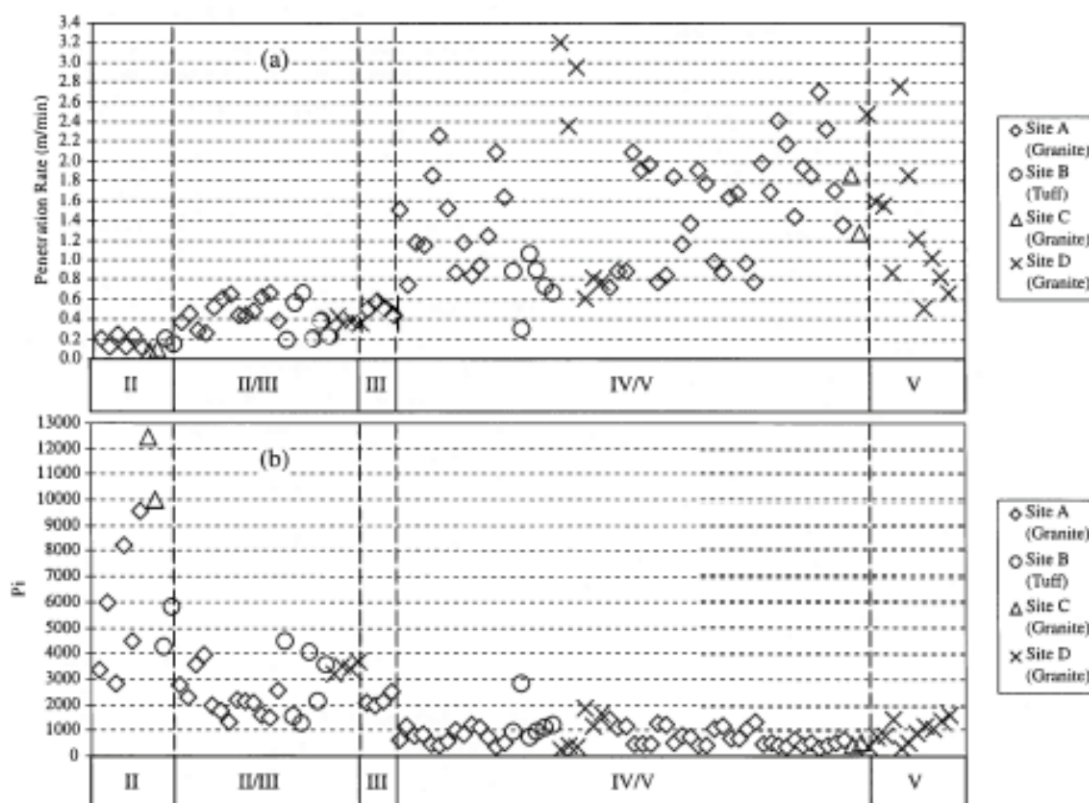
Baserat på ekvationen för SE ovan presenteras ett nytt borrar-index, kallat slagindex P_i som definieras enligt:

$$P_i = \frac{P_p}{V_A} \left(\frac{D}{100} \right)^{1,5}$$

Där P_p = slagtrycket (kPa), V_A = sjunkhastigheten (mm/min). I ekvationen är sjunkhastigheten normaliserad mot en referensdiameter på 100 mm hos en DTH borrar-krona. Normaliseringen baseras på arbete av Jimeno m.fl. (1995), som ej varit tillgänglig, och tas här i bruk i form av faktorn $(D/100)^{1,5}$. I denna ekvation valdes transmissionskoefficienten $T_r=1,0$ för enkelhet skull och för att en korrekt utvärdering av T_r inte är möjlig p.g.a dess komplexitet. I uttrycket ovan tas inte hänsyn till matningskraft och rotation eftersom DTH borrar-maskinen primärt är en

slagmaskin och verkningsätten matningskraft och rotation inte har en avgörande inverkan på sjunkhastigheten enligt Jimeno m.fl. (1995).

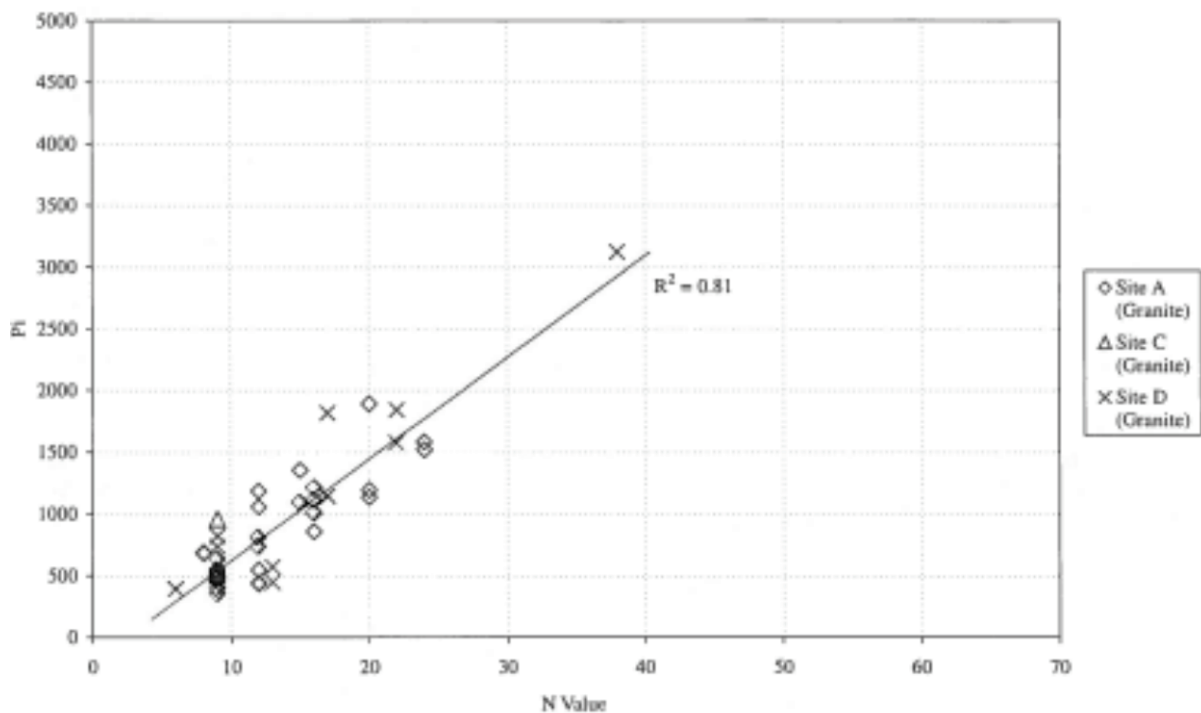
Utifrån slagindexet P_i och sjunkhastigheten gjordes försök att urskilja gränser mellan: 1) jord och berg, 2) grad II (något vittrat) och grad III (måttligt vittrat berg) i enlighet med en sexfaldig vittringsgradering av bergmaterial. Man fann att sjunkhastigheten ökade med en ökning i vittringsgraden medan P_i minskade med en ökning i vittringsgraden. Särskilt gällde detta i berg med P_i -värden över 1500. Å andra sidan, avseende sjunkhastighet och P_i -värden i jord-området fann man ingen distinkt relation med vittringsgraden. Sambandet mellan sjunkhastighet och vittringsgrad och P_i -värde och vittringsgrad för de fyra testområdena framgår av Figur 4-4.



Figur 4-4: Samband mellan bergmaterialets vittringsgrad och a) sjunkhastighet respektive b) P_i -värde för de fyra testområdena (Sugawara m.fl, 2003).

Sugawara m.fl. (2003) jämför också slagindexet, P_i , och N-värdet vid SPT-sondering (Standard Penetration Test) för vittrad granit. Baserat på resultat från de tre testområdena med vittrad granit föreslås en relation mellan P_i och N, se Figur 4-5. För DTH-borrning med borrkronor mellan 90 och 100 mm ger en

regressionsanalys av tillgänglig data den empiriska relationen; $P_i = 75N$. Försök görs även att bedöma friktionsvinkeln för vittrad granit från P_i baserat på denna relation och arbete publicerat av Schmertmann (1975).



Figur 4-5: Relation mellan slagindex P_i och N-värde från SPT för vittrad granit från tre testområden (Sugawara m.fl, 2003).

4.2.3 Metoder utvecklade för jord

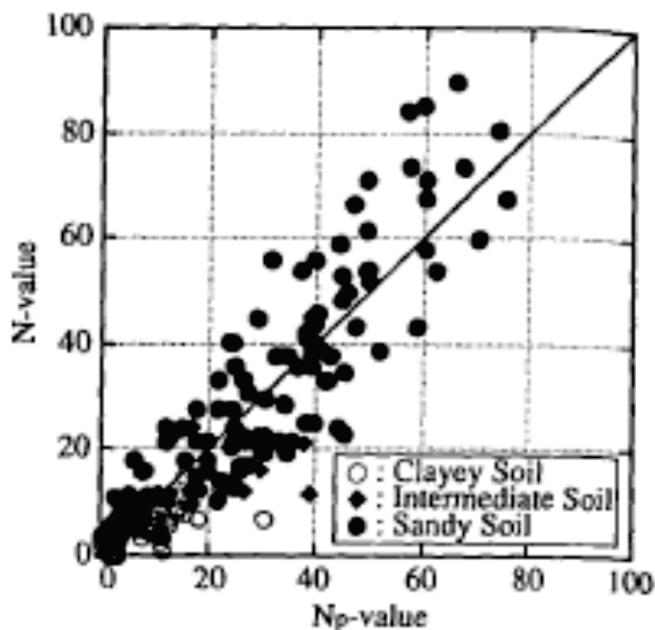
Nishi e.al. (1998) jämförde N-värden erhållna från Standard Penetration Test (SPT) med ett N_p -värde, som är ett index på jordens fasthet erhållit från MWD-data. N_p -värdet beräknas från följande uttryck:

$$N_p = k_0 \frac{\alpha E_{TV} + \beta E_{TR} + \gamma E_{PP}}{V_A} = k_0 \frac{\alpha F V_A + \beta 2\pi C_R V_R + \gamma E_p n}{V_A}$$

där k_0 är en omvandlingskonstant, E_{TV} = matningskraftsenergi per tidsenhet, E_{TR} = rotationsenergi per tidsenhet och E_{PP} = slagenergi per tidsenhet. Vidare är E_p = energi per hammarslag och n = antal slag per tidsenhet. Koefficienterna α , β och γ är effektivitets koefficienter vid borrhning, vilka behöver uppskattas. De tre termerna i uttrycket representerar matnings(krafts)energi, rotationsenergi och slagenergi. N_p -värdet fås genom att multiplicera den totala energin, kallad borrhningsenergi, som krävs för att borra en djupenhet med omvandlingskonstanten k_0 . Resultaten visar att matningskraftsenergin knappast

har någon inverkan alls på N_p -värdet, medan slagenergin, där den används, utgör en överväldigande del av borrhingsenergin.

I studien (Nishi e.al., 1998) har α , β och γ satts lika med 1,0 och genom att jämföra borrhingsenergin för ett stort antal borrhningar med N-värdet från SPT har ett värde på omvandlingskonstanten, k_0 , tagits fram för borrhning i jord utan slagning och ett värde för borrhning med slagning. Resultaten visar att för borrhning utan slagning erhålls olika värden på k_0 i sand, silt respektive lera, men man har valt ett mellanliggande värde vid den fortsatta jämförelsen, $k_0 = 0,06$. För rotationsborrhning med slagning har ett värde på k_0 erhållits, $k_0 = 0,021$. Vid en fortsatt jämförelse mellan N-värdet vid SPT och N_p -värdet vid MWD som gjorts för 6 olika områden har dessa värden på k_0 använts (Figur 4-6). Författarna drar slutsatsen att ett relevant värde på omvandlingskonstanten, k_0 , gör det möjligt att använda MWD loggning för att bestämma översiktliga N-värden för SPT.



Figur 4-6: Relation mellan N-värde från SPT och N_p -värde från MWD med framtagna värden på k_0 för borrhning med respektive utan slagning (Nishi et.al. 1998).

Gui et.al. (1999 och 2002) redovisar undersökningar utförda i Kensington Park, London, med rotationsborrhning i grusig sand och i London-lera med ENPASOL systemet (Figur 4-7). Parametrarna matningskraft och rotationshastighet hölls konstanta under försöket och sjunkhastighet och vridmoment var de parametrar

som användes för att bestämma skillnader mellan jordlagren. De identifierar två grupper; hastighetsgruppen (Γ_v) som representerar förhållandet mellan hastigheten vertikalt och längs omkretsen för en tand, och kraftgruppen (Γ_f) som representerar förhållandet mellan vertikal kraft och horisontell kraft på en tand.

$$\Gamma_v = \frac{V_A}{V_R D}$$

$$\Gamma_f = \frac{F}{(C_R / D)}$$

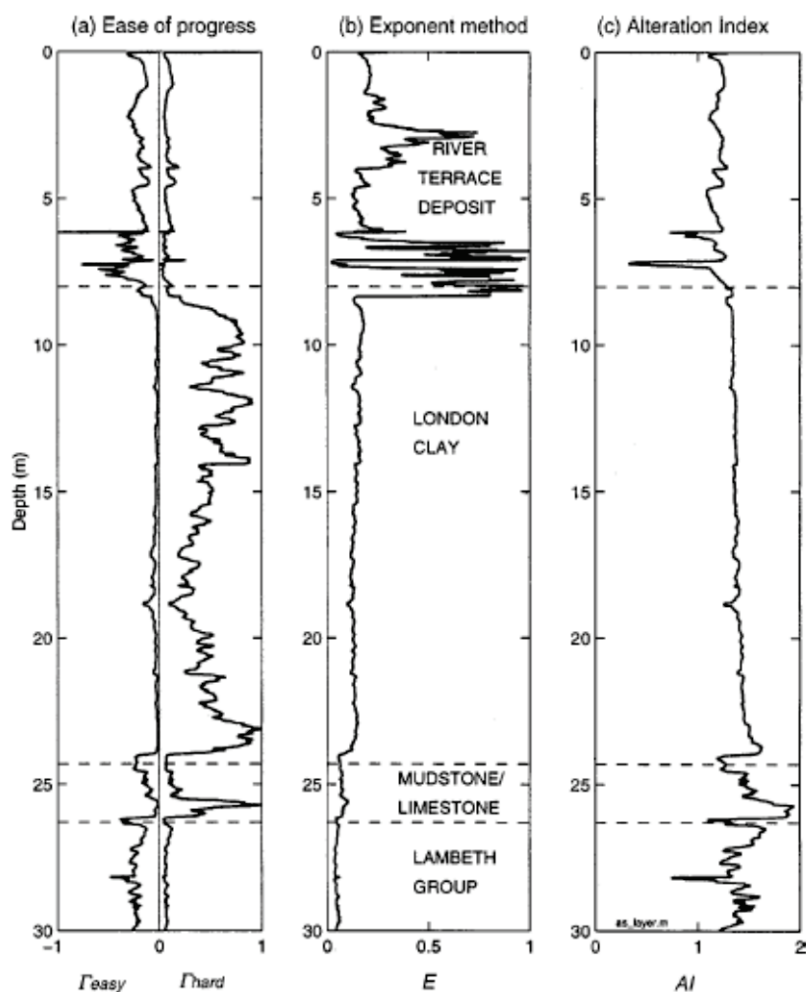
Den okända relationen mellan dessa dimensionslösa grupper skulle karakterisera brottmekanismen vid borrhanden och skulle då vara känslig för typ av jord. Ett nytt ”lätt att framdriva”-förhållande kan härledas: $\Gamma_{\text{easy}} = - \Gamma_v / \Gamma_f$. Eftersom lera är svårt att få framdrift i, med en väldigt litet värde på Γ_{easy} , togs en annan parameter fram kallad Γ_{hard} , definierad som $\Gamma_{\text{hard}} = - 1 / \Gamma_{\text{easy}}$. Denna skulle relateras till svårigheten att lossa och transportera partiklar bort från borrhkronan. På så sätt kan lera definieras som ”svår” att borra i eftersom den tenderar att sätta igen borrhkronan, emedan sand å andra sidan kan sägas vara ”lätt” att borra i.

Baserat på en metod för att bestämma hållfasthetsprofilen i skiffer av Jordan och Shirley (1978), vilken enligt författarna var dimensionellt inkorrekt, formulerar Gui et.al., (1999, 2002) en exponentmetod baserad på relationerna ovan:

$$E_{\text{exp}} = \frac{\log \Gamma_v}{\log \Gamma_f} = \frac{\log \left(\frac{V_A}{V_R D} \right)}{\log \left(\frac{FD}{C_R} \right)} \text{ eller } \Gamma_v = \Gamma_f^e$$

Med denna metod kunde variationer i jordlagren kopplas ihop med variationer i parametern E_{exp} .

Författarna studerade också förhållandet mellan kombinerade borrhparametrar och den odränerade skjuvhållfastheten. Värdet på den odränerade skjuvhållfastheten (c_u) bestämdes då med konsoliderade odränerade triaxialförsök på prov från ett närliggande borrhål. En relativt svag korrelation konstaterades för samtliga använda utvärderingsmetoder.



Figur 4-7: Korrelation mellan jordlager och de utvärderade parametrarna från relationerna Easy/Hard, exponentmetoden och alterationsindex (Gui et.al., 2002).

I Nilsson (2001) undersöker författaren möjligheterna att med jordbergsondering göra en bättre utvärdering av bergytans läge, bergkvalité och förekomst av block/sten genom att använda ett s.k. Jb2-index eller ett integrerat Jb2-index. Jb2 indexet definieras som:

$$\frac{V_A}{F} \alpha = 1$$

där V_A = sjunkhastighet (mm/s), F = matningskraft (kN) och α är en konstant för kalibrering.

Jämförelser har också gjorts mot hejarsonderings- och viktsonderingsresultat. Enligt författaren fanns tydliga tecken på att indexet skulle kunna användas för att förbättra utvärderingen av bergytans läge och även för bedömning av

bergkvalitén i ett specifikt borrhål i jämförelse med andra. Resultatet från de integrerade värdena indikerade möjligheten att även olika jordlager skulle kunna avläsas. Någon bestämning av jordlagren och verifiering av bergytans läge har dock inte gjorts.

I Olsson (2008) jämförs resultaten från Jord-berg totalsondering (Jb-tot) med resultat från Hejarsondering (HfA) i morän. I denna studie har man valt att endast ta med matningskraft och hammartryck i utvärderingen. Att inte rotationshastigheten och sjunkhastigheten tas med i utvärdering beror enligt författaren på att dessa enligt standard skall hållas konstant. Enligt metodbeskrivningen för Jb-sondering (SGF, 2012) gäller dock detta enbart för det statiska vridtryckskedet. När motståndet blir så stort att hammaren kopplas på gäller principerna för Jb-2 sondering (SGF, 2012), och sjunkhastigheten hålls då inte längre konstant. En jämförelse har gjorts mellan Jb-tot och HfA utifrån förekommande relationer för utvärdering av friktionsvinkel och E-modul från hejarsonderingsresultat. Dessa relationer baseras enbart på parametrarna matningskraft och hammartryck uppmätta vid Jord-berg totalsonderingen, som alltså inte körts enligt metodbeskrivningen i de fall då hammaren varit påslagen. De parallellborrningar som gjorts visar på varierande korrelation. Korrelationen försämrats då hammaren används i Jb-totalsonderingen. Följande korrelationer mellan hejarsondering och Jb-totalsondering utförd med konstant sjunk- och rotationshastighet även under slagningen föreslås:

$$\phi' = 29 + 2,8 \left(2 \cdot \frac{\text{matningskraften}}{\text{spetsarean}} \right)^{0,45} + 0,4 \cdot \text{hammartrycket}^{1,7}$$

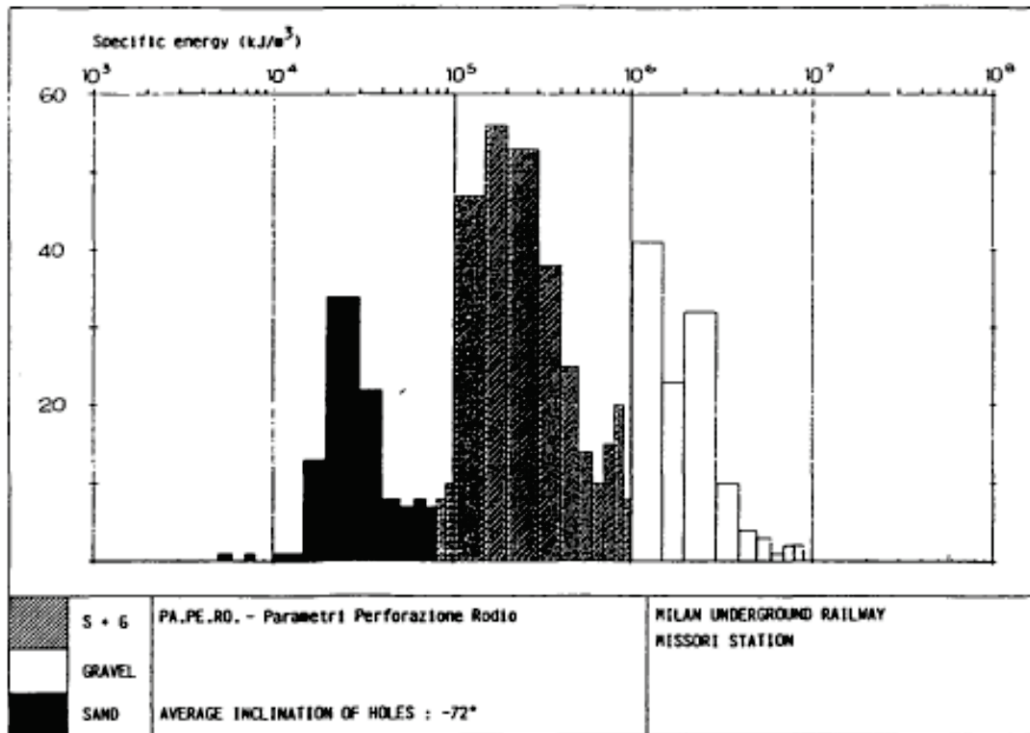
$$E - \text{Modul} = 2,8 \left(2 \cdot \frac{\text{matningskraften}}{\text{spetsarean}} \right)^{1,45} + 1,4 \cdot \text{hammartrycket}^{2,3}$$

4.3 EXEMPEL PÅ STUDIER DÄR OVAN BESKRIVNA METODER ANVÄNTS

Ett flertal exempel finns där ovan beskrivna metoder använts för bedömning av lagerföljd och/eller kvalitet hos jord eller berg.

I De Paoli et.al. (1988) beskrivs utvecklingen av ett system, som förutom registrering av borrarparametrarna borrarjunkning, rotationshastighet, matningskraft, vridmoment och spolmediatryck också kontinuerligt redovisar beräknad

specifik energi. Statistisk analys användes för att koppla borrarparametrar och beräknad specifik energi till de litologiska familjer som förekom på platsen. I artikeln presenteras ett stapeldiagram där jordlagerförhållandena bestående av omväxlande lager med sand, grovt grus eller sand blandat med grus grupperats baserat på specifik energi, se Figur 4-8. De tre topparna i diagrammet indikerar de tre litologiska familjerna och tillhörande specifik energi har markerats för att tydliggöra utvärderingen.



Figur 4-8: Frekvens av värden på specifik energi mätta i ett signifikant antal borrhål. Topparna representerar typiska jordlager (De Paoli et.al. 1988).

Sadkowski et.al. (2008) undersökte bergkvalité med hjälp av borrarparametrar för byggande av en 21-våningsbyggnad i Boston, USA. Det registreringssystem för borrarparametrar (Drilling Parameter Recorder, DPR.), Jean Lutz CL88n, som användes vid borrhningen möjliggör registrering av borrhjunkning, matningskraft och uppdragningskraft (pull-up pressure), vridmoment, rotationshastighet, spoltryck/vattentryck och flöde, djup och tid. I studien borrades 8 st hål med 50,8 mm diameter med djup varierande mellan 47 och 57 m. Bergdjupet varierade mellan 14 och 21 m och bergkärnor togs upp vid varje plats.

Bergkärnorna klassificerades med avseende på litologisk variation, grad av vittring, bergets struktur, bergets hårdhet och RQD (Rock Quality Designation).

Berget på platsen bestod främst av Cambridge-skiffer med diabas och i vissa borrhål påträffades sandsten och basalt.

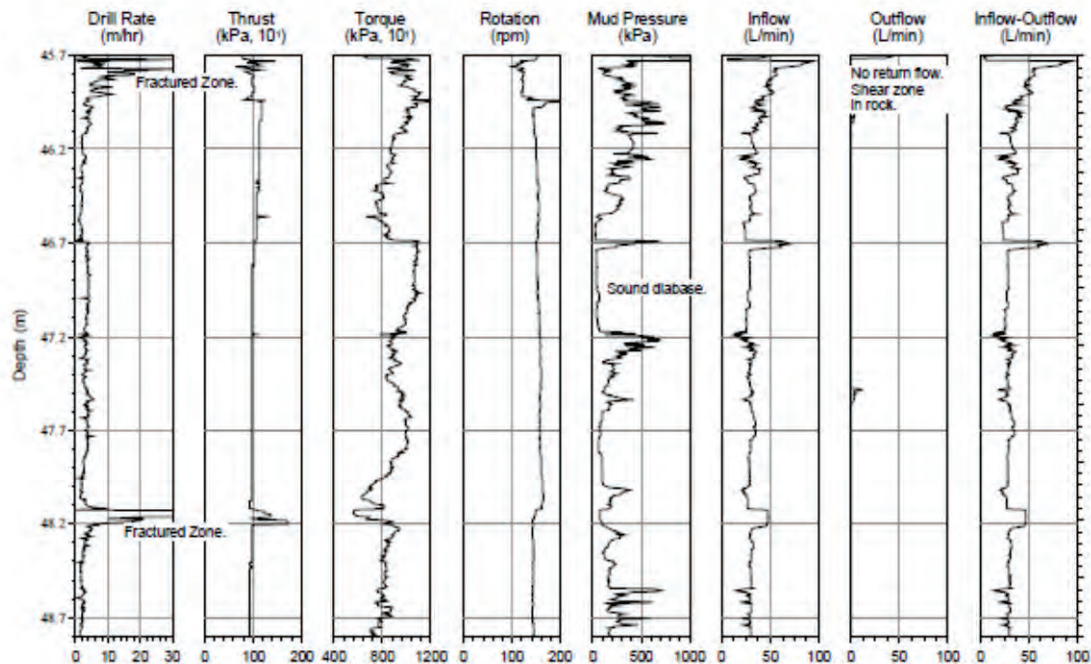


Figure 1: DPR Measured Parameters for Boring SH-305

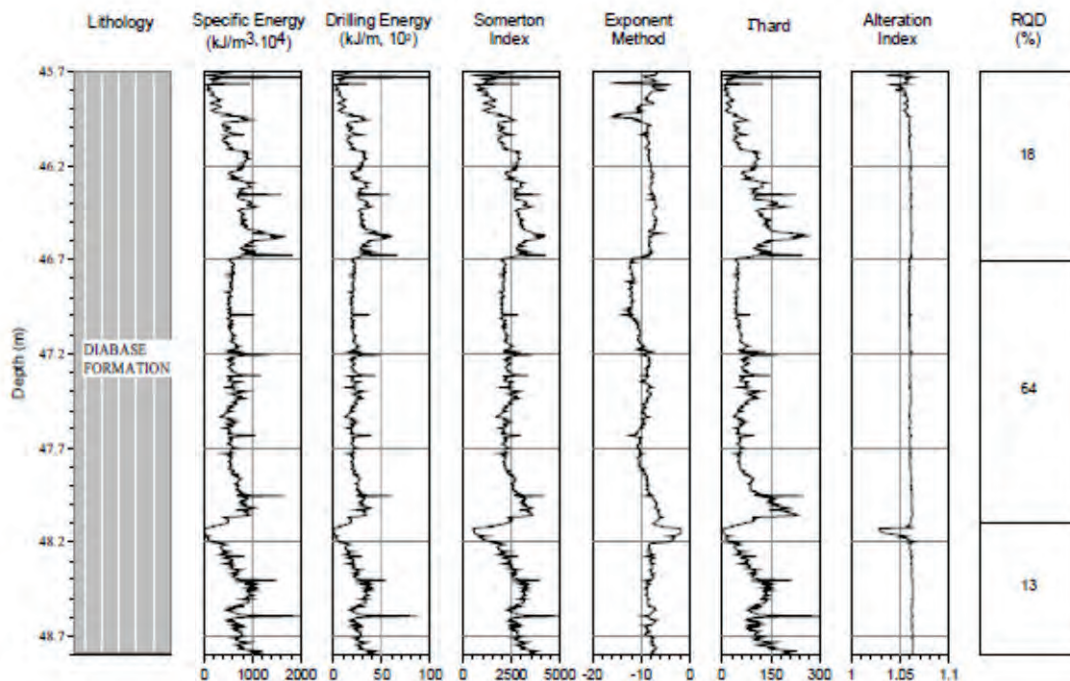


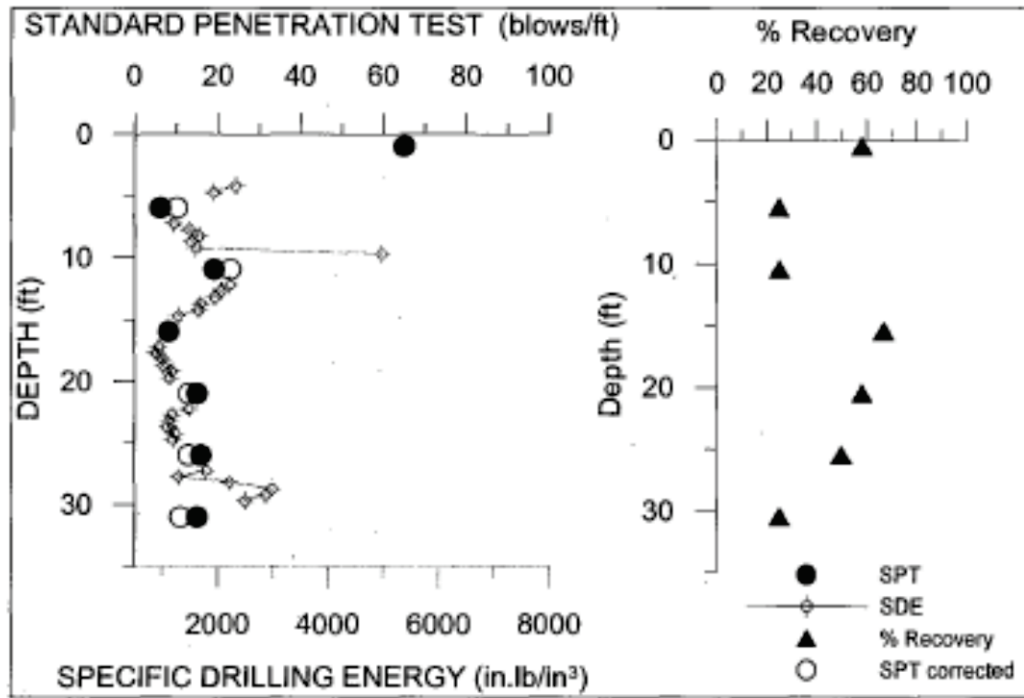
Figure 2: DPR Compound Parameters and Lithology for Boring SH-305

Figur 4-9: Exempel på mätta borrhparametrar (överst) och parametrar utvärderade utifrån olika relationer för utvärdering (underst) (Sadkowski et. al, .2008.)

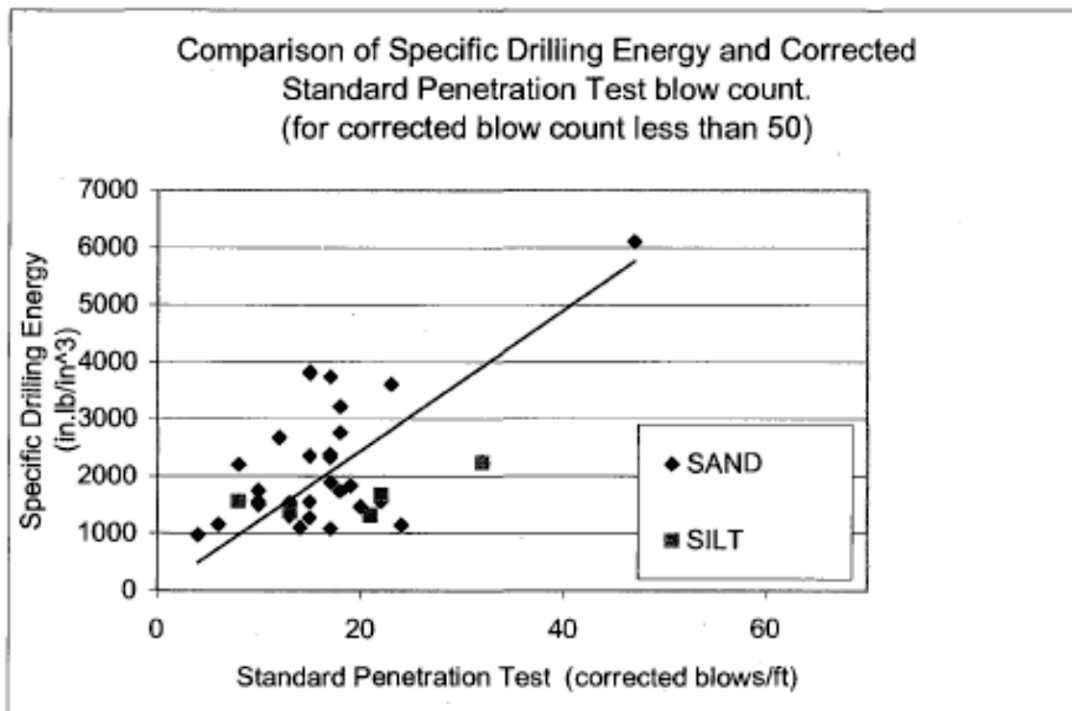
I studien har man dels gjort en bedömning direkt utifrån borrarparametrarna och dels utifrån relationer för utvärdering enligt kapitel 4.2, se Figur 4-3 ovan. Genom användning av de enskilda uppmätta borrarparametrarna kunde en utvärdering göras för indikation av sprickförekomst, förändringar i litologi och kunskap om berget. En förändring av sjunkhastigheten eller rotationshastigheten under oförändrad matningskraft och vridmoment tyder på antingen en förändring av stratigrafien eller förekomsten av en anomali som en kavitet eller spricka. Flödesmätningarna och spoltryckssensorn användes också för att lokalisera sprickor.

De relationer som användes i studien var förändringsindex, borrenergi, exponentmetoden, Somertons index, specifik energi och ”svår”-parametern Γ_{hard} . Författarna konstaterar att utvärdering med dessa relationer, speciellt Somertons index, hjälpte till att identifiera bergformationens hållfasthet. Trots att endast ett fåtal prover undersöktes i laboratoriet indikerar förhållandet mellan tryckhållfastheten och Somertons index ett linjärt samband inom det undersökta intervallet.

I en fallstudie i Manchester, centrala New Hampshire, jämförde Christie (2002) MWD data med resultat från SPT. MWD-data, vilken registrerades med en Lutz CL88n DPR, omfattade borrarjunkning, rotationshastighet, spoltryck, matningskraft på borrar-kronan, volymflöde av borrarvätska och i vissa fall även den reflekterade stötvågen. En 86 mm tricons borrar-krona användes och matningskraften, rotationshastigheten och borrarvätskans flödeshastighet försökte man hålla någorlunda konstant. Jordlagren bestod av 25 – 30 fot Pleistocene Fluvoglaciala avlagringar (silt och sand) ovan ett tunt lager vittrat berg överlagrande fast berg. 13 borrhål undersöktes i studien. Jämförelsen omfattade bestämning av specifik energi bestämd utifrån MWD-data vilken jämfördes med N-värden från SPT. Christie (2002) fann en relativt god korrelation mellan resultaten, se Figur 4-10 och Figur 4-11. Det framgår inte klart om slagning används vid MWD-borringarna, men det torde vara sannolikt eftersom den reflekterade stötvågen mäts.



Figur 4-10: Jämförelse mellan specifik energi beräknad utifrån MWD med resultat från SPT (blow counts) mot djupet i ett av borrhålen (Christie, 2002).



Figur 4-11: Jämförelse mellan specifik energi och korrigerad SPT antal slag (blow count) (Christie, 2002).

4.4 SAMMANSTÄLLNING AV FUNNA METODER, DEFINITIONER

De metoder för utvärdering av borrarparametrar från MWD som presenterats i den genomgångna litteraturen sammanfattas i nedanstående tabell och använda beteckningar definieras efteråt.

Tabell 4-1: Metoder för utvärdering av borrarparametrar från MWD.

Benämning	Ekvation	Enhet	Referens
Somertons index	$S_d = k_s \cdot P_E \sqrt{\frac{V_R}{V_A}}$ vid samma dimension på borkronan. D inkluderas i k_s $k_s = \text{konstant}$	dimensionslös	Somerton (1959)
Specifik energi	$e = \left(\frac{F}{A}\right) + \left(\frac{2\pi}{A}\right) \left(\frac{V_R C_R}{V_A}\right)$	(kPa) ursprungligen lb/in ³ vilket är ekvivalent med lb/in ²	Teale (1965)
Borrenergi	$E = \frac{C_R V_R}{V_A}$	(kNm)	Pfister (1985)
Förändringsindex	$A_f = 1 + \left(\frac{P_E}{P_{E\max}}\right) - \left(\frac{V_A}{V_{A\max}}\right)$	dimensionslös	Pfister (1985)
Borringmotstånd	$R_f = k \frac{F V_R}{V_A D}$ k = konstant	(kPa)	Girard (1985), Girard et.al. (1986)
Specifik energi för slagborring (för sänkborrhämmare)	$SE = \frac{4T_r P_0}{\pi D^2 V_A} = \frac{T_r P_0}{A V_A}$	oklart	Sugawara et. al. (2003), refererar till andra artiklar.

Benämning	Ekvation	Enhet	Referens
Slagindex (för sänkborrhammare)	$P_i = \frac{P_p}{V_A} \left(\frac{D}{100} \right)^{1,5}$	oklart	Sugawara et. al. (2003)
Fasthetsindex	$N_p = k_0 \frac{\alpha F V_A + \beta 2\pi C_R V_R + \gamma E_p n}{V_A}$ k ₀ =omvandlingsfaktor (1/kN) α, β, γ = effektivitetskonstanter	dimensionslös	Nishi et.al. (1998)
”lätt” och ”svår”-parameter (”easy” resp. ”hard”)	$\Gamma_{\text{easy}} = -\Gamma_v / \Gamma_f \text{ och}$ $\Gamma_{\text{hard}} = -1 / \Gamma_{\text{easy}} \text{ där}$ $\Gamma_v = \frac{V_A}{V_R D}$ $\Gamma_f = \frac{F}{(C_R / D)}$	dimensionslös	Gui et.al. (1999 och 2002)
Exponentmetoden	$E_{\text{exp}} = \frac{\log \Gamma_v}{\log \Gamma_f} = \frac{\log \left(\frac{V_A}{V_R D} \right)}{\log \left(\frac{F D}{C_R} \right)}$ eller $\Gamma_v = \Gamma_f^e$	dimensionslös	Gui et.al. (1999 och 2002)
Jb2- index	$\frac{V_A}{F} \alpha = 1$	(s/kg) (motsvarar mm/s·N)	Nilsson (2001)
Borrmotstånd (1)	Tid för 0,2 m sjunkning alt.	s/0,2 m	Möller et.al. (2004)
Borrmotstånd (2)	Tid för 5 mm sjunkning	s/5 mm	Girard (1985), Gui et.al. (1999)

Definitioner av i tabellen använda beteckningar:

F = matningskraften på borrhängarna exklusive stångvikten (net down-thrust applied on drilling tool) (kN)

P_E = trycket motsvarande matningskraften F (matningstryck), (net down-thrust pressure applied on drilling tool) (kPa)

- $P_{E_{max}}$ = maskinens maximala matningstryck
 V_A = sjunkhastighet (penetration rate) (m/s)
 $V_{A_{max}}$ = maskinens maximala sjunkhastighet
 V_R = rotationshastighet (drill head rotational speed) (varv/s).
 C_R = rotationsmoment (drill head rotational torque) (kNm),
 A = borrhålets area (borrkronans area) (m²)
 D = borrkronans diameter (m)
 P_0 = kraftutveckling/uteffekt från borrsystemet för sänkborrhammare
 (power output of the drilling system) - slageffekt (slagenergi per
 tidsenhet) (J/sek)
 T_r = transmissionskonstanten
 P_p = slagtrycket, hammartrycket (kPa)
 E_p = slagenergi (per hammarslag) (J/slag)
 $E_{p_{max}}$ = maskinens maximala slagenergi (per hammarslag) (J/slag)

Använda beteckningar för borrarparametrar följer förslaget till internationell MWD standard ISO/WD 22476-X, daterat 2011-09-1.

4.5 REFLEKTIONER

I den studerade litteraturen har ett flertal relationer för utvärdering av MWD i såväl jord som berg tagits fram, använts och förbättrats. Vissa noteringar kan göras:

Utanför Sverige är rotationsborrning betydligt vanligare än slagborrning. De flesta relationerna är framtagna för rotationsborrning, men har i många fall även använts för slagborrning.

Endast i ett fall tas slagtryck och matningskraft/moment med i samma uttryck för utvärdering.

De beskrivna utvärderingsmetoderna är i de flesta fall framtagna för borrning i berg och då främst sedimentärt berg eller vittrat berg. Metoderna har dock använts även för bedömning av förhållanden i jord.

Flera olika system för registrering av borrhparametrar finns tillgängliga, där förutom registrering av borrhparametrar, även en utvärdering görs med ett urval av de i denna studie förekommande relationerna.

I flera av studierna poängteras att slitaget på borrhkronan har stor inverkan på utvärderingen.

Vissa uttryck baseras på att några parametrar i dessa fall hålls konstanta och därför inte tas med i uttrycket för utvärdering av parametrar, t.ex. matningskraft och rotationshastighet vid ”lätt” och ”svår” parametrarna.

I några fall är det oklart vilka enheter som använts på de ingående parametrarna i metoderna. I dessa fall har en enhetsbetraktelse gjorts för att det ska kunna bli rätt

Kapitel 5

Del 2: Fältstudie

5.1 UNDERSÖKNINGAR

5.1.1 Undersökningsområde

Det aktuella undersökningsområdet är beläget ca en kilometer öster om Ulricehamn, strax norr om befintlig riksväg 40 och i väglinjen för planerad ny sträckning av riksväg 40 (Etapp 1, sektion 4/800 - 4/900), se Figur 5-1. Detta område bedömdes lämpligt eftersom, dels många jord-bergsonderingar utförts varav ett flertal i berg och dels ett antal provgropar som visade att den överlagrande moränen hade olika fasthet.



Figur 5-12: Översiktlig karta över undersökningsområdet (© Lantmäteriet, Trafikverket)

5.1.1.1 Topografi och jordlagerförhållanden

Området för den nya sträckningen av riksväg 40 utgörs av ett kuperat skogslandskap där höjdområden avlöser dalgångar. Vissa uppodlade områden finns i dalgångarna.

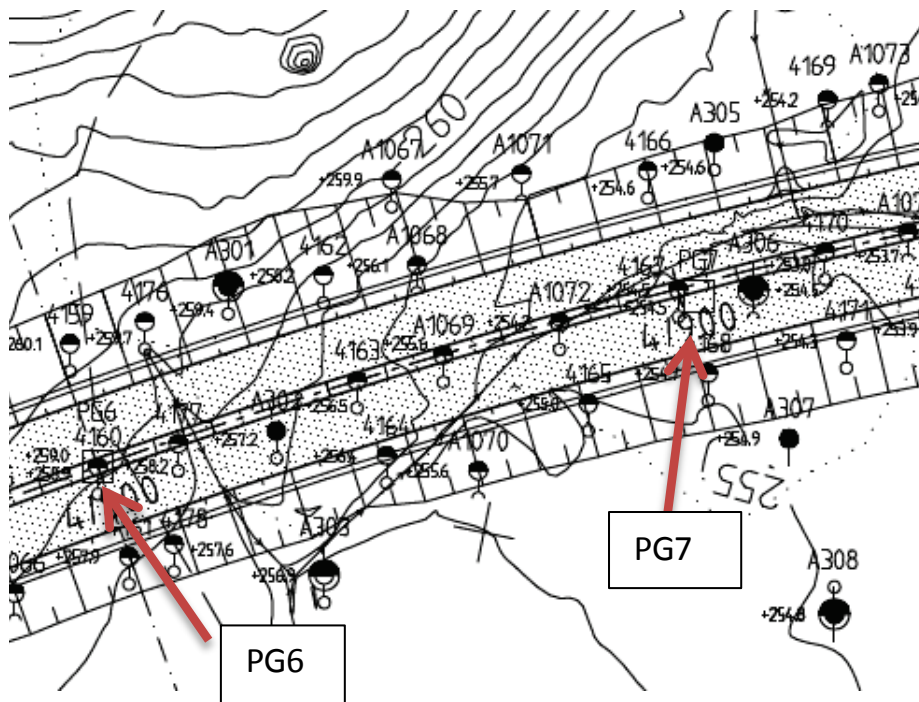
Jordlagren inom området består huvudsakligen av morän med partier där berg går i dagen. Grundundersökningar för den planerade riksväg 40 visar att berget i stora delar av området är överlagrat av två slags moräner. Närmast berget är en mycket fast morän, som avlagrats före den första istiden och över denna en ganska siltig morän avlagrad i samband med isens avsmältning. Berget består av granit. På några avsnitt finns torv.

5.1.1.2 Tidigare utförda undersökningar inom området

För den planerade nya sträckningen av riksväg 40 har ett stort antal undersökningar utförts. Huvudsakligen har utförts jord-bergsondering klass 2. I ett antal sektioner har utförts provgroppgrävning. Även trycksondering och skruvprovtagning har utförts, se Trafikverket 1G13PM01, Väg 40 Dällebo-Hester, Etapp 1, (2010) .

Avsikten i ett första steg är att analysera ett antal av de tidigare utförda jord-bergsonderingarna med utvärderingsmetoderna som beskrivs i kapitel 4. Dessa Jb-sonderingar ska då vara belägna i närheten av en provgrop. Därför gjordes en sammanställning över provgropar, intilliggande Jb-sonderingar, typ av Jb-sondering, om borrhning utförts till berg och bedömd gräns mellan de olika moränerna, vilken presenteras i Tabell 5-1.

Denna sammanställning visade att endast två Jb-sonderingar uppfyllde förutsättningarna för utvärdering, dvs att ligga intill provgropen, vara av typen Jb2, ha utförts till berg samt att gränsen mellan de två olika moränerna påträffats i provgropen. Dessa sonderingar är nr 4160 i sektion 4/800 vid provgrop 6 (PG6) och 4167 i sektion 4/903 vid provgrop 7 (PG7). En plan över tidigare undersökningar mellan sektion 4/800 och 4/900 framgår något otydligt av Figur 5-2 (se även: Trafikverket, Väg 40, Delen Dällebo-Hester, Etapp 1, Plan km 4/800-5/400, Ritning nr 100G0208).



Figur 5-13: Plan med av Trafikverket utförda undersökningar för Väg 40, Delen Dånlebo-Hester, Etapp 1, mellan sektion 4/800 och 4/900 (© Trafikverket, SGI)

Tabell 5-2: Sammanställning över provgropar och intilliggande jordbergsonderingar.

Prov grop (Pg)	Sekti on	Utförda Jb i sektion för Pg	Sektion och punkt nr för närmaste Jb	Status Jb	Gräns till hård morän	Anmärkning
PG1	3/250	A213 i sekt 3/254		typ Jb1, inte till berg	på 4,7 m djup	
PG2	3/330	A217 i sekt 3/334		typ Jb1, inte till berg	på 5,0 m djup	
PG3	3/150	Inga Jb i sekt	3/170, A209	typ Jb1, inte till berg	på 3,0 alt. 5,0 m	
PG4	3/050	Inga Jb i sekt	3/090, A205	typ Jb1, inte till berg	på 2,7 m djup	
PG5	1/390 VM	Inga Jb i sekt, el nära			på 3,5 m djup	
PG6	4/800	4160		Jb2 ok. Borrn i berg	på 3,2 m djup	

Prov grop (Pg)	Sektion	Utförda Jb i sektion för Pg	Sektion och punkt nr för närmaste Jb	Status Jb	Gräns till hård morän	Anmärkning
PG7	4/903	4167		Jb2 ok. Borrn i berg	på 2,0 m djup	
PG8	5/200	Inga Jb i sekt	5/160, A318 5/220, A322	Jb2 ok. Inte till berg	på 2,9 m djup	stor nivåskillnad
PG9	5/100	Inga Jb i sekt	5/075, A314	Jb2 ok. Inte till berg	på 3,0 m djup	
PG10	5/000	A310 i sekt 4/994		Jb2 ok. Inte till berg	på 3,0 m djup	
PG11	1/340	Inga Jb i sekt, el nära			på 3,0 m djup	
PG12	6/225	6842 och 6843 nära		Jb2 ok. Borrn i berg	inte påträffats	för brostöd
PG13	6/260 H20	A1089 nära		typ Jb1, Borrn i berg	inte påträffats, mycket sten	för brostöd
PG14	6/570 H10	6111, 6112 i sekt 6/575		Jb2 ok. Borrn i berg	inte påträffats	

Sonderingarna vid provgrop 6 och 7 har utförts av Håkan Eklund, WSP Jönköping. Enligt uppgifter från honom har en bandvagn av typen Geotech 605DD använts, med en hydraulmotor av typen OMS 200. Maskinen har en maximal matningskraft av 1900 – 2700 kg (utan förankring) och en maximal sjunkhastighet av 250 mm/s. I beräkningarna har maximal matningskraft satts till 2700 kg. Maskinen har en hammare av typen Lifton 110 och enligt uppgifter från datablad över hammare har denna en energi per slag på 200 J och en slagfrekvens på 850 – 1400 slag per minut. I beräkningarna har slagfrekvensen satts till 1000 slag per minut. Någon aktuell kalibreringsborrnig har inte funnits tillgänglig. En 57 mm stiftborrkrona har använts vid jord-bergsonderingarna.

5.1.2 Inom utredningen utförda undersökningar

5.1.2.1 Fältundersökningar

Syftet med de nya undersökningarna var att i första hand bedöma om gränsen mellan lösare och fastare morän samt mellan morän och berg kan bestämmas. Det område som valdes ut för nya undersökningar i denna studien är beläget mellan sektion 4/780 – 4/920, dvs i samma område som de tidigare utförda sonderingarna vilka bedömts lämpliga för utvärdering. I det aktuella undersökningsområdet har tidigare huvudsakligen utförts jord-bergsondering klass 2. I två sektioner 4/800 och 4/900 har utförts provgrovsgrävning.

Det är viktigt att kunna särskilja inverkan av olika faktorer vid jord-bergsondering på utvärderingen. Faktorer som i tidigare studier identifierats ha betydelse är framför allt typ av krona och slitaget på kronan. Därför utfördes sonderingar med två olika typer av krona och såväl ny som sliten krona. Samtliga Jb-sonderingar utfördes som jord-bergsondering klass 3 (Jb3), med vattenspolning till 3 m ned i friskt berg. Jämförande sonderingar utfördes med hejarsondering typ A (HfA) och jord-bergtotalsondering (Jb-tot). För att klarlägga gränsen mellan morän och berg samt möjligheten att ta upp prov i denna typ av jord utfördes provtagning med Geobor-S. Följande undersökningar utfördes:

Kring sektion 4/800 (vid PG6):

- 3 st Jb3 med 57 mm ny stiftborrkrona (sfäriska stift) utan hammare så långt det går.
- 2 st Jb-tot (enbart vrid/tryck skedet)
- 1 st HfA
- Ett öppet gw-rör för bestämning av grundvattennivå

Kring sektion 4/900 (vid PG7):

- 2 st Jb3 med 57 mm ny stiftborrkrona (vanliga sfäriska stift)
- 2 st Jb3 med 57 mm ny skärborrkrona
- 1 st Jb3 med sliten 57 mm stiftborrkrona (vanliga sfäriska stift)
- 1 st Jb3 med sliten 57 mm skärborrkrona
- Provtagning med Geobor-S
- Ett öppet gw-rör för bestämning av grundvattennivå

Läget för de utförda undersökningarna redovisas i Figur 5-11 och Figur 5-13, i kapitel 5.3.

Undersökningarna utfördes av Kjell Hidsjö, Miljögeo AB, med en bandvagn av typen Geotech 705, vilken har en hydraulmotor av typen OMS 200. Maskinens hammare är av typen Furukawa HB3G och hammarens energi per slag är ca 600J enligt uppgift från datablad över hammare. Hammaren har dock strypts, varför en lägre energi på 400J använts i beräkningarna (avser Fasthetsindex och Specifik energi för slagborrning). Maskinens maximala matningskraft är 8 ton. Uppgift om max sjunkhastighet har inte erhållits. Max sjunkhastighet har därför satts till 250 mm/s, som de tidigare utförda undersökningarna. En kalibreringsborrning utfördes innan sonderingarna påbörjades.

Vid de jord-bergsonderingar klass 3 som utfördes registrerades följande parametrar:

- Djup (m)
- Matningshastighet (mm/s)
- Borrmotstånd (s/0,2m)
- Matningskraft (kN)
- Hammartryck (MPa)
- Rotationstryck/tryck på vridmotor (MPa)
- Spolmediatryck (MPa)
- Spolmediaflöde (l/min)
- Vridningshastighet/rotationshastighet (rpm)

5.1.2.2 Laboratorieundersökningar

Upptagna prover med Geobor-S har fotograferats och jordart, samt provets konsistens har bedömts okulärt utifrån materialet i provets yta. Bestämning av kornstorleksfördelning genom tvättsiktning har gjorts på den mycket fasta moränen på 3,75 – 3,85 m djup. Kompressometerförsök har gjorts på den mycket fasta moränen på 3,95 m djup.

5.2 UTVÄRDERINGSMETODIK

De metoder som använts vid utvärderingen är de som sammanfattas i Tabell 4-1, ovan. Dessa metoder är:

- Somertons index (Somerton, 1959),
- Specifik energi (Teale, 1965),
- Borrenergi (Pfister, 1985),
- Förändringsindex (Pfister, 1985),
- Borrningsmotstånd (Girard, 1985),
- Specifik energi för slagborrning och Slagindex (Sugawara et. al., 2003),
- Fasthetsindex (Nishi et.al., 1998),
- Easy och Hard parametrar och Exponentmetoden (Gui et. al., 1999),
- Jb2-index (Nilsson, 2001)
- traditionell utvärdering av bormotstånd som tid per 0,2 m sjunkning (Möller et. al., 2004).

Generella antaganden som behövs göras för att kunna använda flera av utvärderingsmetoderna framgår av kapitel 5.2.1. Ingående parametrar i metoderna och hur beräkningen gjorts beskrivs i kapitel 5.2.2.

5.2.1 Generella antaganden

Eftersom vissa av de ingångsdata som behövs i de funna utvärderingsmetoderna inte direkt kan fås ur resultaten från jord-bergsonderingen har vissa antaganden behövt göras.

5.2.1.1 Beräkning av moment

Rotationsmoment (C_R) är en ingångsparameter som förekommer i flera av utvärderingsmetoderna. Denna parameter erhålls inte direkt vid jord-bergsonderingen, utan måste antingen mätas separat eller på något sätt beräknas utifrån rotationstrycket.

Det går att göra en ungefärlig beräkning av vridmomentet utifrån hydraultrycket, men det finns en mängd osäkerhetsfaktorer. Ett av problemen med att använda hydraultrycket är att man bara mäter trycket på ena sidan av den hydrauliska vridmotorn vid jord-bergsondering. Det gör att man inte vet hur stora strömningsförlusterna är beroende på varvtalet. Sen finns det ett antal andra faktorer som påverkar hydraulmotorns verkningsgrad såsom olika viskositet och

temperatur på hydrauloljan. Ytterligare en parameter att tänka på är att det är olika typer av hydraulmotorer på olika borrhjor. Det är alltså inte helt enkelt att beräkna detta så att resultatet blir detsamma för olika maskiner (Tingström, 2012).

Utifrån kontakter med tillverkare av borrhjor har vi i detta projekt valt att beräkna vridmomentet baserat på följande förslag:

Alt med 1 tryckgivare och kalibrerad konstant på förlusterna (Tingström, 2012)

Rotationsmomentet: $C_R \approx (P1 - k * V_R) * c * a$ där

$P1$ = Tryck på vridmotor i MPa inlopp.

k = Konstant på strömningsförlust (kalibrerad på respektive maskin men ej utprovat)

$a = 4.4$ (Konstant faktor för utväxling 1:4.4 på vridbordets växellåda).

C_R = Vridmoment Nm

$c = 18.095$ (Konstant för hydraulmotor OMS125)

$c = 23.810$ (Konstant för hydraulmotor OMS 200)

V_R = Varvtal (rpm)

Eftersom vi inte haft någon uppgift om konstanten på strömningsförlusten så har vi antagit att det inte är någon strömningsförlust i hydraulmotorn. Detta innebär att konstanten $k = 0$ och formeln i detta fall förenklas till: $C_R \approx P1 * c * a$. Detta innebär att i utvärderingsuttryck där rotationsmomentet ingår som en av flera delkomponenter, t.ex. adderas till en kraftkomponent, kommer rotationsmomentets bidrag bli större än det faktiskt är.

Eftersom vi utfört samtliga jord-bergsonderingar med samma maskin har skillnaden i konstanter mindre betydelse.

5.2.1.2 Hänsyn till slagenergi

Den energi som når jorden/berget vid borrhjoran är inte hela den slagenergi som hammaren genererar vid varje slag. En del av energin förloras på vägen ner genom stängerna såväl genom dämpning i stångmaterialet som genom mantelfriktion. Det är inte möjligt att räkna ut hur stor del av hammarens energi

som når berget vid varje slag. Inte heller finns det någon utrustning på borrhandsvagnen som kan mäta detta.

Eftersom de utförda sonderingarna är ungefär lika djupa och djupet till berg är relativt begränsat (ca 15 m) har vi antagit att all slagenergi når borrhönan.

5.2.2 Utvärderingsmetoder – specificering

5.2.2.1 Somertons index

Somertons index uttrycks som:

$$S_d = k_s \cdot P_E \sqrt{\frac{V_R}{V_A}} \quad \text{där } k_s = \text{konstant}$$

Detta uttryck gäller vid samma dimension på borrhönan. Diametern på borrhönan (D) inkluderas då i konstanten k_s . Övriga parametrar som ingår i formeln är matningstrycket (PE), rotationshastigheten (VR) och sjunkhastigheten (VA)

Konstanten k_s har i denna studie satts till 1,0.

5.2.2.2 Specifik energi

Specifik energi uttrycks som:

$$e = \left(\frac{F}{A}\right) + \left(\frac{2\pi}{A}\right) \left(\frac{V_R C_R}{V_A}\right)$$

Rotationsmomentet (C_R) har beräknats översiktligt på det sätt som beskrivs i kapitel 5.2.1.1. Övriga parametrar som ingår i formeln, dvs matningskraften (F), borrhålens area (A), rotationshastigheten (V_R) och sjunkhastigheten (V_A) fås direkt ur resultatet från jord-bergsonderingen.

5.2.2.3 Borrenergi

Borrenergi uttrycks som:

$$E = \frac{C_R V_R}{V_A}$$

Rotationsmomentet (C_R) har beräknats på det sätt som beskrivs i avsnitt 5.2.1.1. De andra parametrarna, dvs. rotationshastigheten (V_R) och sjunkhastigheten (V_A) fås direkt ur resultatet från jord-bergsonderingen.

5.2.2.4 Förändringsindex

Förändringsindex uttrycks som:

$$A_I = 1 + \left(\frac{P_E}{P_{E_{\max}}} \right) - \left(\frac{V_A}{V_{A_{\max}}} \right)$$

Matningstrycket (P_E) och sjunkhastigheten (V_A) fås direkt ur resultatet från jordbergsonderingen. Maskinens maximala matningstryck ($P_{E_{\max}}$) har beräknats från maskinens maximala matningskraft, enligt avsnitt 5.1.1.2. Maskinens maximala sjunkhastighet har satts efter uppgift från fältgeotekniker, se avsnitt 5.1.1.2.

5.2.2.5 Borrningsmotstånd

Borrningsmotstånd uttrycks som:

$$R_f = k \frac{F V_R}{V_A D} \text{ där } k = \text{konstant}$$

Matningskraften (F), rotationshastigheten (V_R) och sjunkhastigheten (V_A) fås alla direkt ur resultatet från jordbergsonderingen och D är borrkronans diameter.

5.2.2.6 Slagindex

Slagindex är framtaget för sänkhammarbörning och uttrycks som:

$$P_i = \frac{P_P}{V_A} \left(\frac{D}{100} \right)^{1,5}$$

Hammartrycket (P_P) och sjunkhastigheten (V_A) fås direkt ur resultatet från jordbergsonderingen. Diametern, D , är borrkronans diameter.

5.2.2.7 Easy/hard parameter

Parametrarna Easy och Hard (Lätt och Svår) uttrycks som:

$$\text{Easy: } \Gamma_{\text{easy}} = - \Gamma_v / \Gamma_f \text{ och Hard: } \Gamma_{\text{hard}} = - 1 / \Gamma_{\text{easy}}$$

där

$$\Gamma_v = \frac{V_A}{V_R D} \text{ och } \Gamma_f = \frac{F}{(C_R / D)}$$

Rotationsmomentet (C_R) har beräknats på det sätt som beskrivs i kapitel 5.2.1.1. De andra parametrarna, dvs. rotationshastigheten (V_R), sjunkhastigheten (V_A) och matningskraften (F) fås direkt ur resultatet från jordbergsonderingen. D är borrkronans diameter.

5.2.2.8 Fasthetsindex

Fasthetsindex är ett index uppdelat i en term för kraftenergi, en för rotationsenergi och en för slagenergi och uttrycks som:

$$N_p = k_0 \frac{\alpha F V_A + \beta 2\pi C_R V_R + \gamma E_p n}{V_A}$$

där k_0 = omvandlingsfaktor (1/kN) och α, β, γ = effektivitetskonstanter.

Rotationsmomentet (C_R) har beräknats på det sätt som beskrivs i avsnitt 5.2.1.1. Matningskraften (F), rotationshastigheten (V_R) och sjunkhastigheten (V_A) fås direkt ur resultatet från jord-bergsonderingen. För att få slagenergin per slag (E_p) har hammarens maximala energi per slag (E_{pmax}) multiplicerats med aktuellt hammartryck (H_A) dividerat med max uppmätt hammartryck under sonderingen (H_{Amax}). För att det skall bli rätt relation borde aktuellt hammartryck egentligen dividerats med maskinens maximala hammartryck. Denna uppgift har dock inte funnits tillgänglig, varför vi antagit att maximalt hammartryck under sonderingen ligger nära maskinens maximala hammartryck. För att få slagenergi per tidsenhet har detta multiplicerats med antal slag per sekund (n). Effektivitetskonstanterna α, β, γ har samtliga satts till 0,5 och k_0 har satts till 1,0.

5.2.2.9 Exponentmetoden

Exponentmetoden uttrycks som:

$$E_{exp} = \frac{\log \Gamma_v}{\log \Gamma_f} = \frac{\log \left(\frac{V_A}{V_R D} \right)}{\log \left(\frac{FD}{C_R} \right)} \text{ eller } \Gamma_v = \Gamma_f^e$$

Rotationsmomentet (C_R) har beräknats på det sätt som beskrivs i avsnitt 5.2.1.1. De andra parametrarna, dvs. rotationshastigheten (V_R), sjunkhastigheten (V_A) och matningskraften (F) fås direkt ur resultatet från jord-bergsonderingen. D är borrkronans diameter.

5.2.2.10 Jb2-index

Jb2-index uttrycks som:

$$Jb2 = \frac{V_A}{F} \alpha \text{ där } \alpha = \text{konstant}$$

Sjunkhastigheten (V_A) och matningskraften (F) fås direkt ur resultatet från jord-bergsonderingen. Konstanten α har satts till 1,0.

5.2.2.11 Specifik energi för slagborrning

Specifik energi för slagborrning är framtagen för sänkborrhämmare och uttrycks som:

$$SE = \frac{4T_r P_0}{\pi D^2 V_A} = \frac{T_r P_0}{AV_A} \text{ där } T_r = \text{transmissionskonstanten}$$

Arean (A) är borrkronans area och sjunkhastigheten (V_A) tas direkt ur resultatet från jord-bergsonderingen. Slageffekten/slagenergi per tidsenhet (P_0) beräknas utifrån hammarens maximala energi per slag (E_{pmax}) multiplicerat med aktuellt hammartryck (H_A) dividerat med max uppmätt hammartryck under sonderingen (H_{Amax}). Detta multipliceras därefter med antal slag per sekund (n).

Transmissionskonstanten har satts till $T_r = 1,0$.

5.2.2.12 Jämförelse mellan metoder

Som tidigare nämnts är de flesta metoder framtagna för rotationsborrning och slagning tas i dessa fall inte med som en parameter i metodiken. I flertalet av dessa metoder ingår förutom sjunkhastighet, parametrar för såväl kraft/tryck som rotation/rotationsmoment. Endast en metod; Borrenergi, tar endast hänsyn till rotation och en metod; Borrmotstånd från jord-bergsondering, tar endast hänsyn till kraft. Två metoder är framtagna för sänkhammarborrning; Specifik energi för slagborrning och Slagindex. Dessa metoder bygger på parametrar för slagning och sjunkhastighet, men inte kraft och rotation. En metod; Fasthetsindex, tar hänsyn till såväl slagenergi, kraftenergi som rotationsenergi. Den delen av uttrycket som avser rotationsenergi blir dock så mycket större än de två andra att de i praktiken blir försumbara, om man, som vi, har valt samma värde på de olika effektivitetskonstanterna. Dessa borde på något sätt kalibreras så att samtliga energier ger ett likvärdigt bidrag till resultatet. Sjunkhastigheten ingår som en parameter i samtliga metoder.

5.3 ANALYS

Jämförelsen mellan utvärderingsmetoderna av hur väl gränsen mellan normalfast och fast morän respektive mellan morän och berg kan bestämmas, baseras på en subjektiv bedömning av skillnaden i värdet på aktuellt index ovanför och under dessa gränser. En sammanställning av bedömningen av såväl tidigare som inom projektet utförda undersökningar med respektive metod framgår av tabell i Bilaga 11.

5.3.1 Analys av tidigare utförda undersökningar

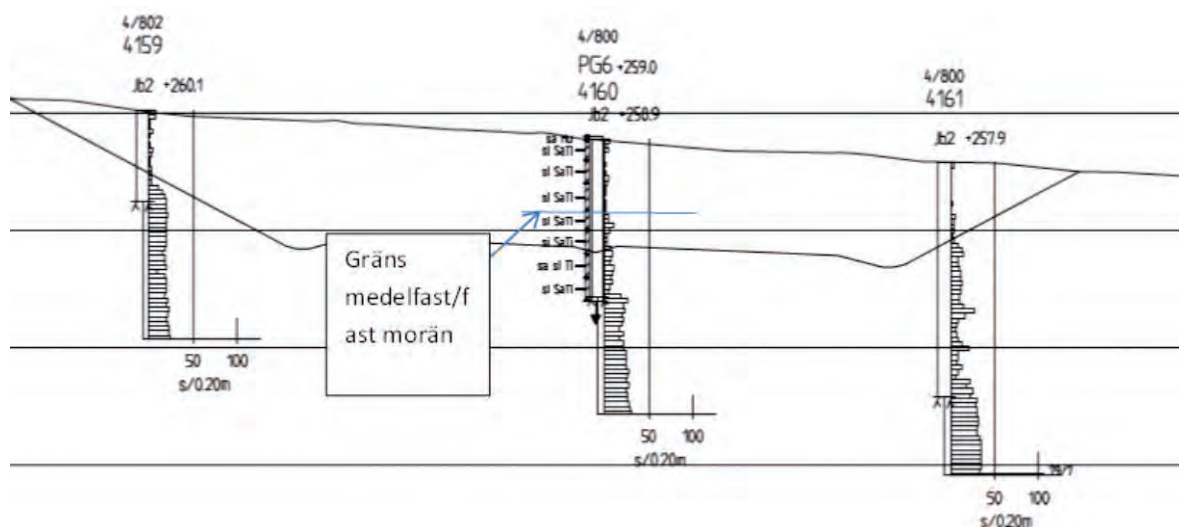
5.3.1.1 Osäkerheter

Vid analysen av de tidigare utförda undersökningarna finns ett flertal osäkerheter i ingångsparametrar till de olika metodikerna som man bör ha i åtanke. Två av dessa är beräkning av moment och hänsyn till slagenergi, vilka beskrivs i kapitel 5.2. Andra osäkerheter är de maskindata som erhållits från fältgeotekniker och maskindatablad där t.ex. ett intervall för maximal matningskraft och slagfrekvens angetts. Ett värde inom intervallet har då valts för beräkningarna. Det har inte heller funnits uppgifter om hur ny/sliten krona som använts. Något som enligt tidigare studier avseende rotationsborrning har visat sig ha stort inflytande på resultaten. De äldre sonderingar som analyserats ligger nära varann, har utförts av samma fältgeotekniker och samma maskin, vilket innebär att de bör kunna jämföras sinsemellan.

5.3.1.2 Analys

5.3.1.3 Jord-bergsondering i sektion 4/800

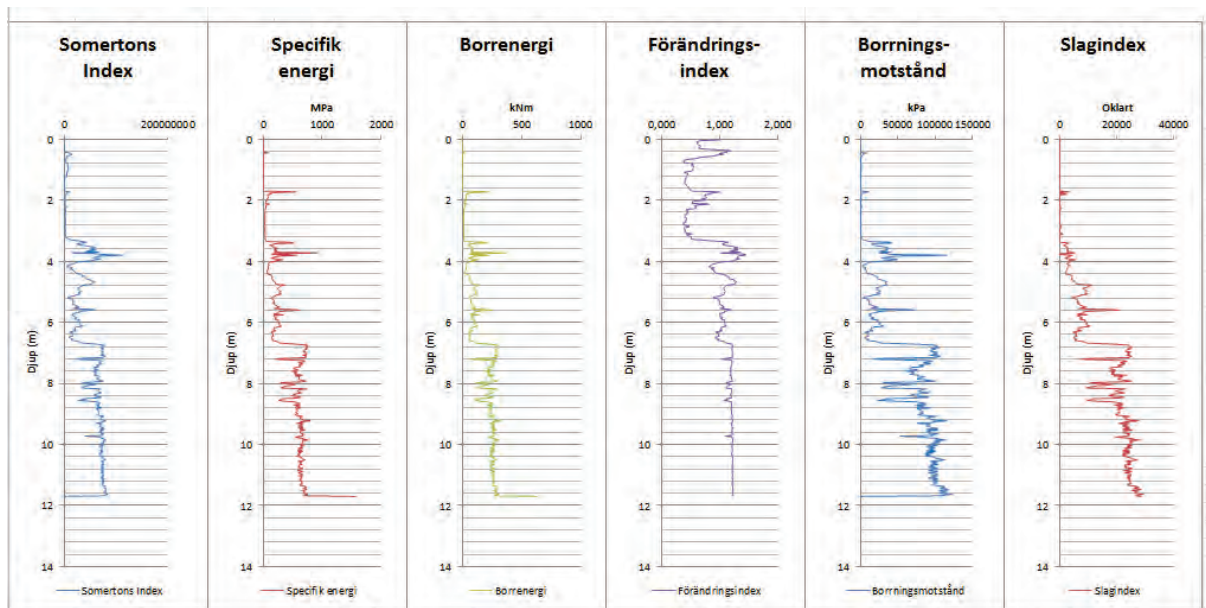
En jämförelse har gjorts av tre sonderingar som ligger i sektion 4/800 i närheten av provgrop nr 6. Provgrop nr 6 är belägen i vägmitt i sektionen, är 7 m djup och gränsen mellan den mer normalfasta moränen och den mycket fasta moränen ligger på 3,2 m djup, nivå +255,7 m. Jord-bergsondering 4160 ligger i vägmitt i läget för provgropen (nivå +258,9), sondering 4159 ligger 20 m till vänster om vägmitt (nivå +260,1 m) och sondering 4161, 20 m till höger om vägmitt i sektionen (nivå +257,9), se Figur 5-3.



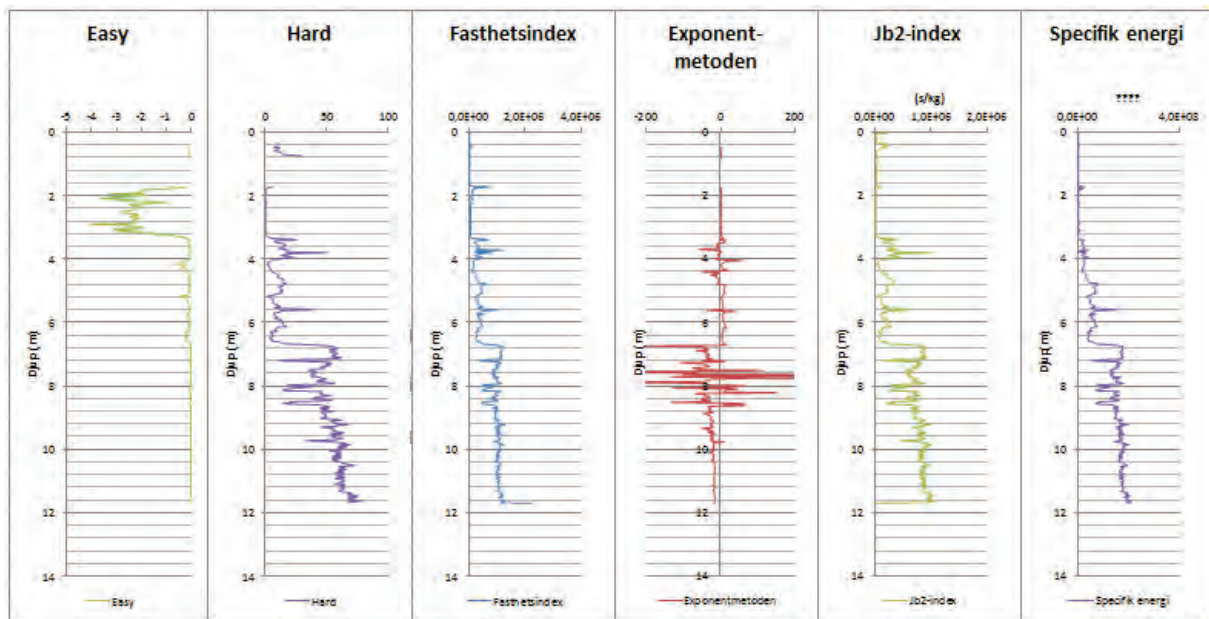
Figur 5-14: Sektion 4/800 med undersökningar utförda för bygghandling, väg 40 (© Trafikverket, SGI)

Utvärdering av sondering 4160 – jämförelse mellan utvärderingsmetoder:

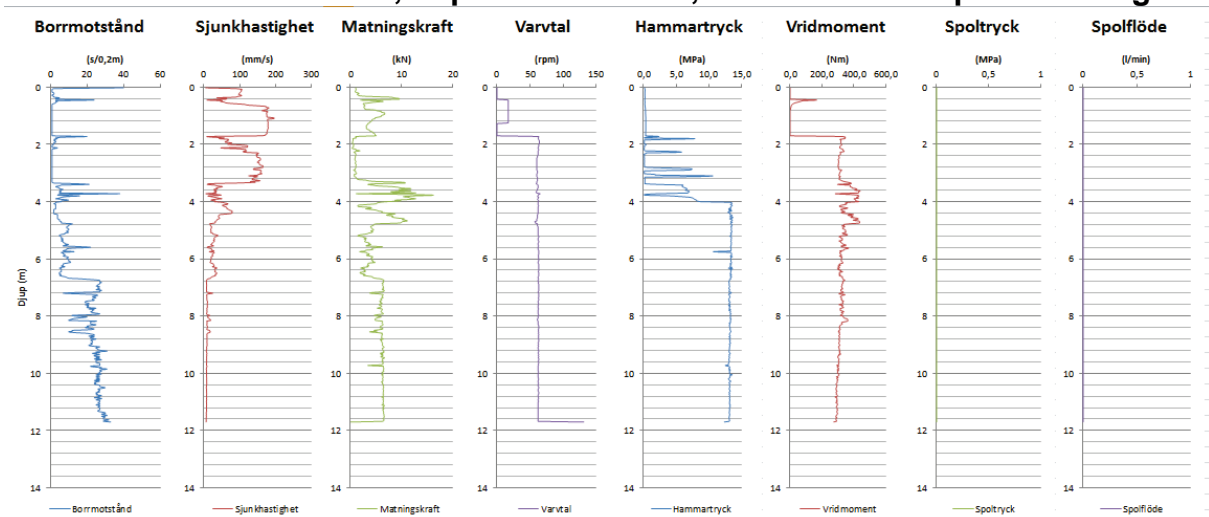
Från utvärderingen av sondering 4160 (Figur 5-4 och Figur 5-5 samt Bilaga 1a) kan gränsen mellan normalfast och mycket fast morän urskiljas mer eller mindre tydligt från samtliga utvärderingsmetoder utom Exponentmetoden. Gränsen urskiljs tydligare med Somertons index, Förändringsindex, Borrningsmotstånd (enligt Girard), Easy/Hard parameter och Jb2 index. Den mest markanta förändringen fås med Förändrings index och Easy/Hard parameter. Gränsen till berg, vilken bedöms ligga på samma djup som provgropens botten, kan urskiljas relativt tydligt med samtliga metoder, utom möjligen Exponentmetoden.



Figur 5-15: Jord-bergsondering 4160 utvärderad med Somertons index, Specifik energi, Borrenergi, Förändringsindex, Borrningsmotstånd och Slagindex.



Figur 5-16: Jord-bergsondering 4160 utvärderad med Easy/Hard parameter, Fasthetsindex, Exponentmetoden, Jb2-index och Specifik energi.



Figur 5-17: Jord-bergsondering 4160 med de parametrar som redovisas vid sonderingen.

Utvärdering av sondering 4159 – jämförelse mellan utvärderingsmetoder: Gränsen mellan den normalfasta och den mycket fasta moränen kan inte urskiljas från någon av metoderna i punkt 4159 (se Bilaga 1b). Eftersom det inte finns någon provtagning eller provgrop i detta läge är det inte känt var denna gräns ligger. Om moränlagret är horisontellt borde gränsen påträffas på ca 4,4 m djup, vilket är djupare än bedömd gräns till berg.

Från Somertons index, Förändrings index, Borrningsmotstånd (enligt Girard), Easy/Hard parameter och Jb2 index kan en succesivt ökande fasthet mot djupet

utläsas som inte de andra metoderna visar. Denna succesiva ökning styrks av grundparametrarna från jord-bergsonderingen, såsom minskning av sjunkhastigheten, ökning av matningskraften och ett succesivt pålagt hammartryck.

Gränsen till berg, som bedöms ligga högre än i punkt 4160, är tydlig med de flesta metoder. Det är något svårare att bedöma denna gräns med Somertons index och Jb2 index på grund av den succesiva ökningen av fastheten, dvs. ökningen av det aktuella indexet mot djupet. Även från denna sondering är det svårt att utläsa något från Exponentmetoden. Se även sammanställning av jämförelsen mellan metoder i Bilaga 11.

Utvärdering av sondering 4161 – jämförelse mellan utvärderingsmetoder:

I punkt 4161 (Bilaga 1c) är det svårt att från de olika metoderna utläsa var gränsen mellan den normalfasta och den mycket fasta moränen går. Om moränen är horisontellt lagrad skulle gränsen ligga på ca 2,2 m djup.

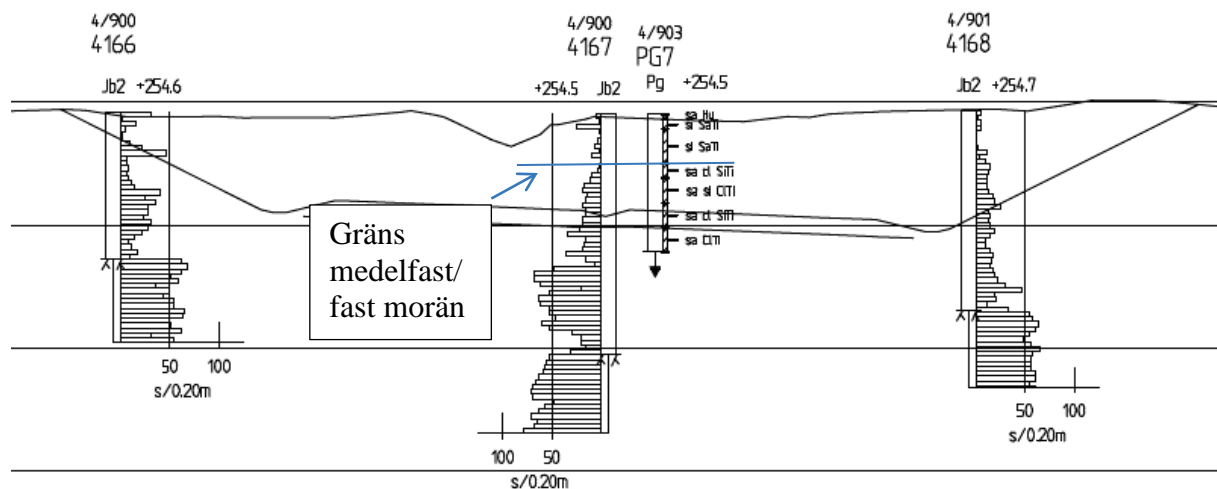
En utvärdering med Somertons index, Förändringsindex, Borringsmotstånd (enligt Girard), Easy/Hard index och Jb2 index, skulle ge en gräns vid ca 2,0 m djup. En utvärdering med Borringsmotstånd (från Jb-sonderingen), Specifik energi, Borrenergi, Slagindex, Specifik energi för slagborrning och möjligen också Fasthetsindex skulle ge en gräns på 3,2 m djup. Dock visar dessa metoder en mindre ökning också vid ca 2 m djup, men den är mindre markant än den vid 3,2 m. Jämför man med enskilda borrarparametrar från jord-bergsonderingen kan man se att sjunkhastigheten minskar tydligt vid ca 2 m för att minska ytterligare vid 3,5 m, matningskraften ökar kraftigt vid 2 m för att åter minska vid 3,5 m och hammartrycket ökas succesivt från noll vid 2,4 m till fullt tryck vid 3,5 m djup. Se även sammanställning av jämförelsen mellan metoder i Bilaga 11. En möjlig orsak till skillnaden mellan metoderna kan vara att hammartrycket ökats succesivt, vilket man dock inte ska göra enligt metodbeskrivningen för jord-bergsondering. De metoder som bygger på parametrar för slagning, dvs Slagindex och Specifik energi för slagborrning, visar en liten momentan ökning vid 2,4 m då slagning startar och en större momentan ökning vid 3,4 m då fullt tryck uppnåtts. Det är dock svårt att avgöra hur kurvan skulle sett ut om fullt

tryck på slagningen hade uppnåtts direkt, eftersom även sjunkhastigheten då också borde ha ökat.

I punkt 4161 visar samtliga metoder, utom Exponentmetoden, en markant ökning vid 9,2 m. Det sjunker dock tillbaks vid 9,6 m för att direkt öka till samma nivå som vid 9,2 m. Detta mönster kan tydligt urskiljas för samtliga metoder utom Exponentmetoden, och bedöms som läget för berg, möjligen med spricka alt. block i ytan.

5.3.1.4 Jord-bergsondering i sektion 4/900

En jämförelse har gjorts för en jord-bergsondering i sektion 4/900 i läget för provgrop nr 7. Provgrop nr 7 är belägen i vägmitt i sektionen, är 5,6 m djup och gränsen mellan den mer normalfasta moränen och den mycket fasta moränen ligger på 2,0 m djup, nivå +252,5. Jord-bergsondering 4167 ligger i vägmitt i läget för provgropen och ytterligare 2 sonderingar ligger 20 m på var sida vägmitt, se Figur 5-7.

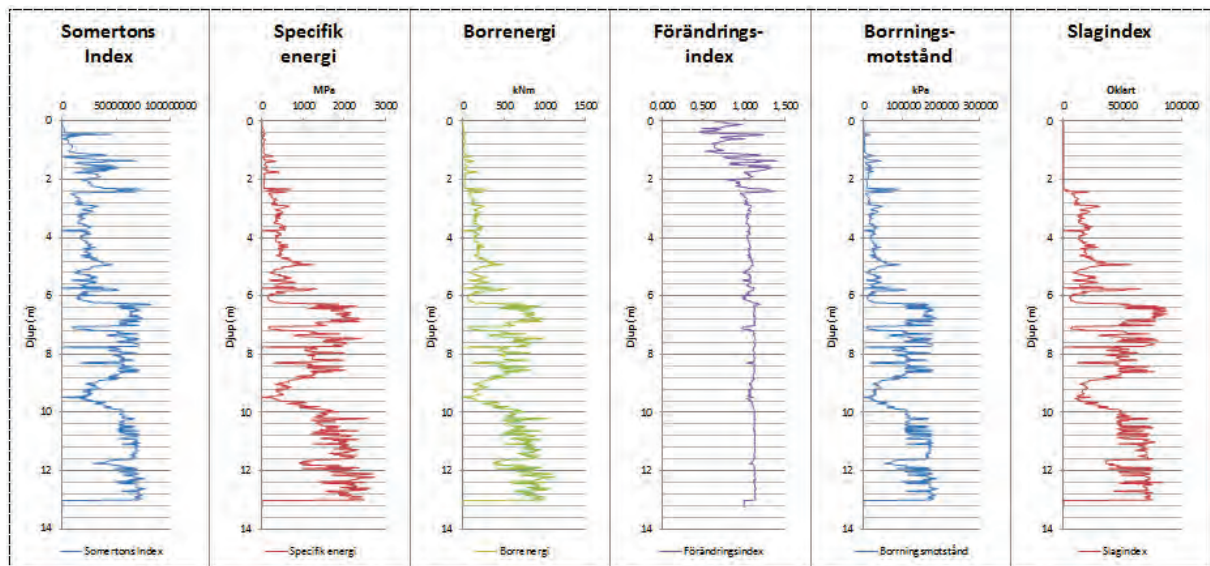


Figur 5-18: Sektion 4/900 med undersökningar utförda för bygghandling, väg 40 (© Trafikverket, SGI).

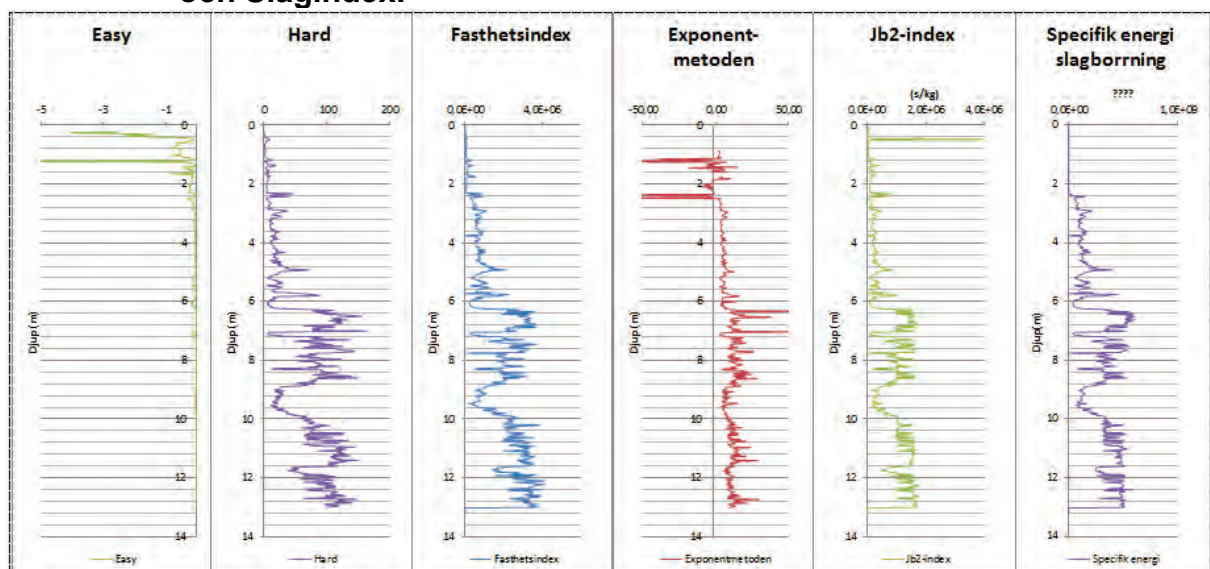
Utvärdering av sondering 4167 – jämförelse mellan utvärderingsmetoder:

Det är relativt svårt att bedöma gränsen mellan normalfast och mycket fast morän med samtliga metoder i punkt 4167, se Figur 5-8 - Figur 5-9, samt Bilaga 2. Exponentmetoden visar liksom tidigare vare sig gräns till fast morän eller berg. De båda metoderna som enbart innehåller en term med slagning, dvs Slagindex

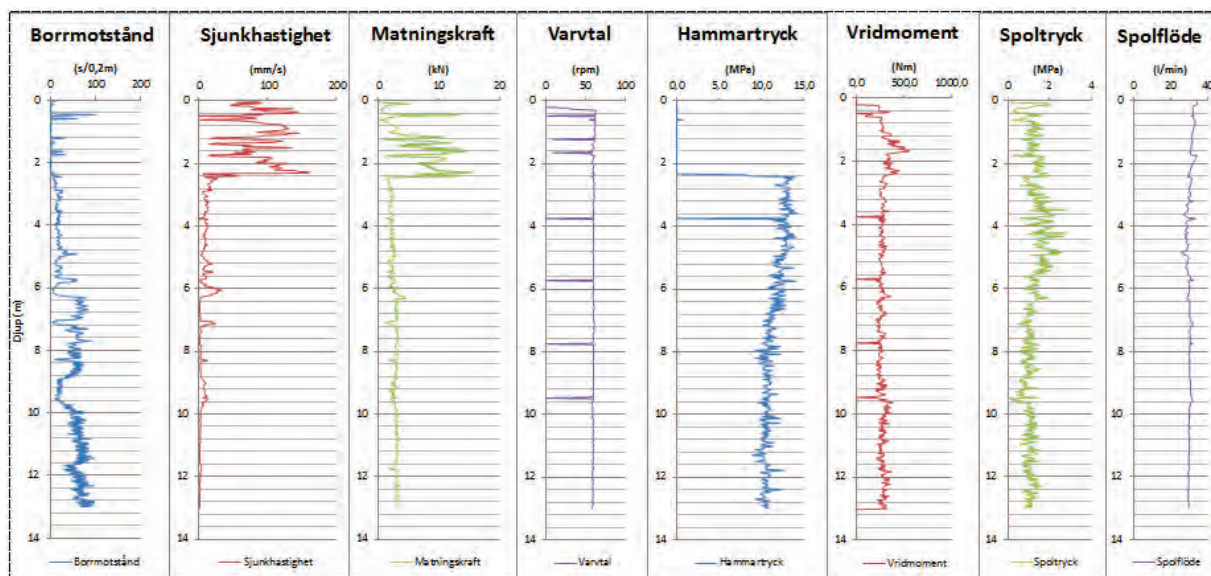
och Specifik energi för slagning, visar en ökning vid 2,4 m då slagningen startat, vilket ungefär sammanfaller med gränsen för hård morän. Även metoderna Specifik energi, Borrenergi, Fasthetsindex, och Borrmotstånd (från Jb-sonderingen) visar en ökning vid 2,4 m, dvs strax under gränsen för den mycket fasta moränen. Även Förändringsindex och möjligen också Easy/Hard parameter visar på en förändring vid ca 2,4 m. Däremot kan ingen förändring utläsas med Somertons index, Borrningsmotstånd (enligt Girard) och Jb2 index. Se även sammanställning av jämförelsen mellan metoder i Bilaga 11.



Figur 5-19: Jord-bergsondering 4167 utvärderad med Somertons index, Specifik energi, Borrenergi, Förändringsindex, Borrningsmotstånd och Slagindex.



Figur 5-20: Jord-bergsondering 4167 utvärderad med Easy/Hard parameter, Fasthetsindex, Exponentmetoden, Jb2-index och Specifik energi.



Figur 5-21: Jord-bergsondering 4167 med de parametrar som redovisas vid sonderingen.

För bedömning av gränsen till berg erhålls en liknande ”bild” från samtliga metoder (i viss mån även Exponentmetoden). Dock är den bild som fås med Förändringsindex något otydligare. Det som kan utläsas från metoderna är en kraftig ökning av värdena vid ca 6 m djup. Mellan 8,8 och 9,6 m djup vidtar ett parti med låga värden, varefter de åter är höga. Förändringsindex visar i stället en utslätning (jämn kurva) från 6 m djup och en minskning i värdena mellan 8,8 och 9,6 m. En bedömning skulle kunna vara sprickigt berg till ca 9,6 m och därefter fast berg.

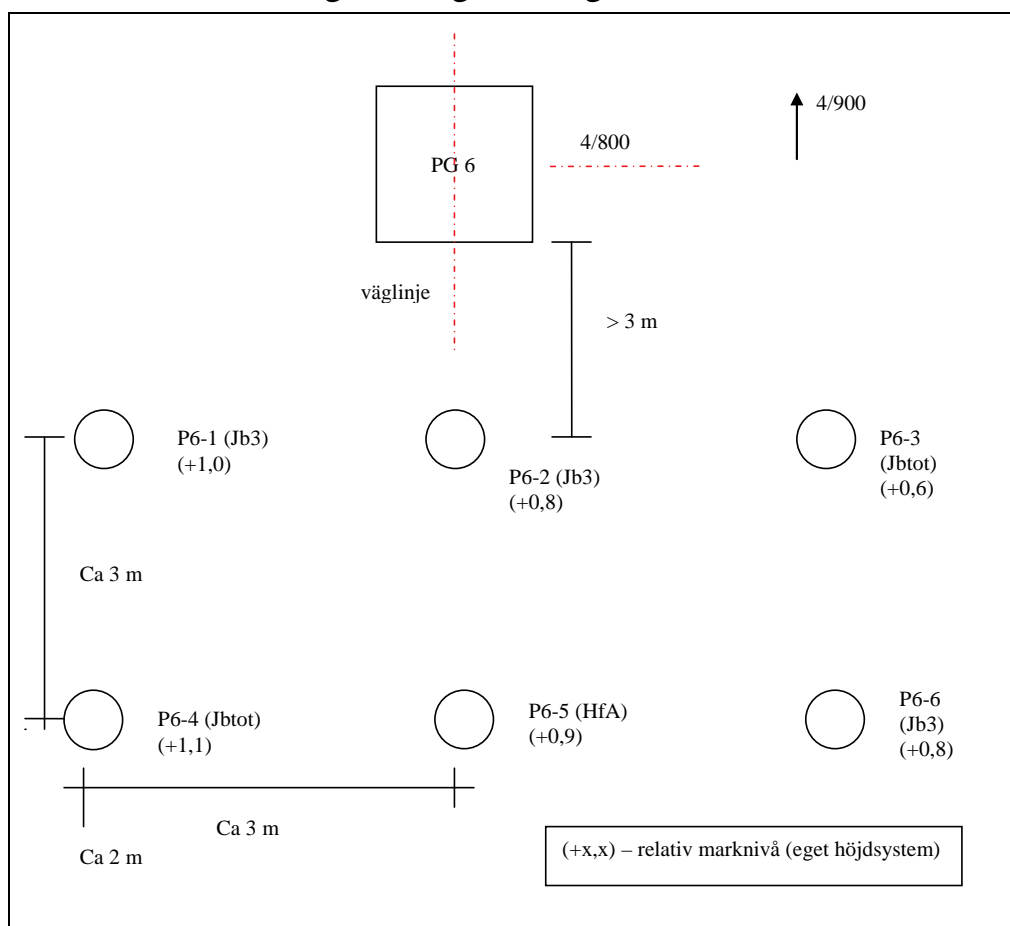
5.3.2 Analys av utförda undersökningar inom utredningen

5.3.2.1 Generella observationer

Eftersom den maskin som användes vid de nya undersökningarna var en större maskin med större kraft (matningskraft 8 ton jämfört med max 2,7 ton), så har även sondering i den mycket fasta moränen kunnat utföras till viss del med avstängd hammare. Detta har en stor inverkan på analysen av sonderingarna. Från maskinen som användes för de nya undersökningarna erhålls värden på borrmotstånd med steg enbart motsvarande 5 s/0,2 m. Från de tidigare undersökningarna erhöles värden med steg motsvarande 1 s/0,2 m. Detta innebär att kurvan för borrmotstånd från de nya undersökningarna blir grövre med en mer stegvis ökning av borrmotståndet.

5.3.2.2 Sonderingar i ca sektion 4/800

I närheten av provgrop 6, mellan sektion 4/780 och 4/800 har utförts sex sonderingar med ca 3 m avstånd; 3 jord-bergsondering klass 3, två jord-berg totalsondering och en hejarsondering. I provgrop 6 bedöms gränsen till den mycket fasta moränen ligga på 3,2 m djup. Grundvattennivån uppmättes 2012-07-02 i ett öppet grundvattenrör i P6-1 till markytan. Ungefärligt läge för utförda undersökningar framgår av Figur 5-11.



Figur 5-22: Undersökningar utförda i denna studie i sektion 4/800.

Det har inte varit möjligt att precis lokalisera läge och ursprunglig höjd för den tidigare utförda provgrop 6. Markytan inom det undersökta området inklusive provgropen är dock relativt plan, men gropig (sönderkört kalhygge). Det skiljer 0,5 m mellan den högst och den lägst belägna sonderingen.

Utvärdering jord-bergtotalsondering och hejarsondering:

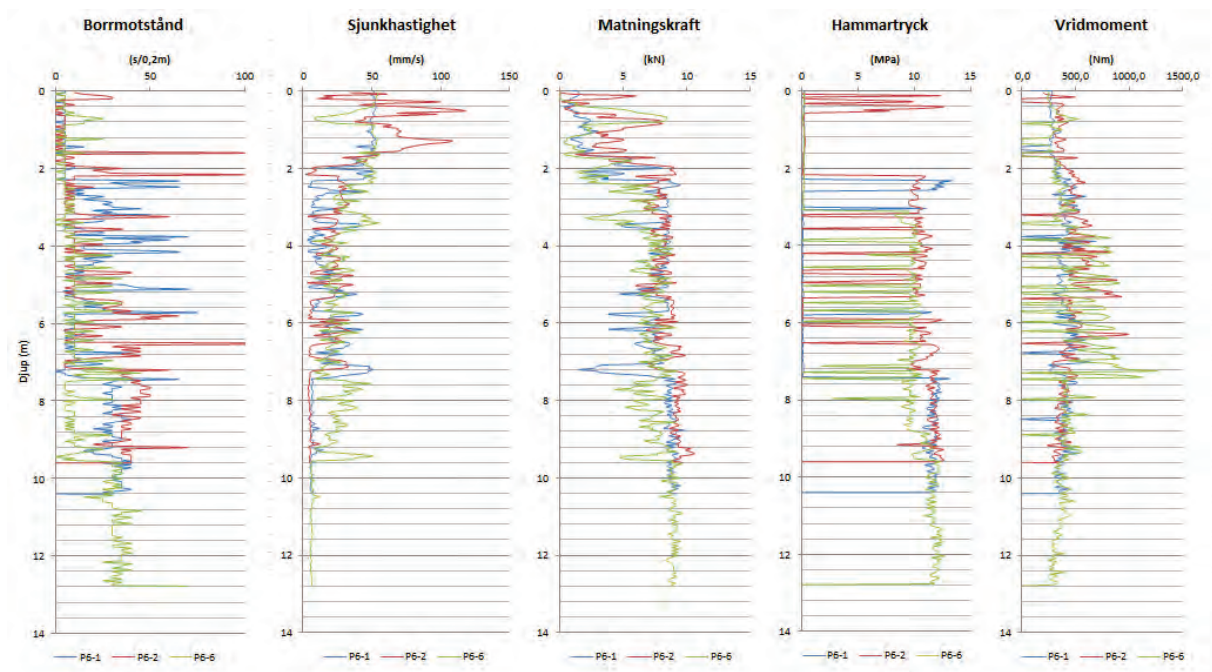
De båda jord-berg totalsonderingarna har båda stoppat tidigt i den mycket fasta moränen. Sonderingarna bedöms ha gått ned 0,5 – 1,0 m i den mycket fasta

moränen. Hejarsonderingen bedöms ha stoppat ca 0,7 m ned i den mycket fasta moränen. Det kan konstateras att jord-berg totalsonderingarna och hejarsonderingen har nått ungefär lika djupt ner i den fasta moränen. Resultaten från hejarsonderingen redovisas i Bilaga 3 och resultaten från jord-berg totalsonderingarna i Bilaga 4a och 4b.

Jämförelse mellan borrarparametrar för de tre jord-bergsonderingarna P6-1, P6-2 och P6-3:

Vid jord-bergsondering skall eftersträvas att matningskraft, rotationshastighet och hammartryck hålls konstanta under sonderingens gång. I jord skall dock hammaren vara avstängd så långt det är möjligt. Avsikten var att genomföra en jord-bergsondering med fullt hammartryck hela tiden, men det genomfördes inte eftersom slagning i den lösare jorden riskerade att skada maskinen.

En jämförelse har gjorts mellan borrarparametrarna för de tre jord-bergsonderingarna P6-1, P6-2 och P6-6 (se Figur 5-12 och Bilaga 5). Då kan man konstatera att en viss variation i hammartryck, varvtal och matningskraft förekommer mellan sonderingarna. Generellt är matningskraften lägre i den normalfasta moränen, men även i den mycket fasta moränen varierar den såväl i djupled som mellan sonderingarna. Varvtalet har vid en sondering (P6-6) varierats mellan noll och fullt varvtal ca varannan decimeter på en sträcka av ca 4 m. Orsaken till detta är okänd. Hammartrycket ligger något högre i den djupaste delen av sonderingarna, vilket troligen sammanfaller med bedömd bergnivå. En sondering har kunnat köras nästan hela vägen igenom den mycket fasta moränen utan att slå på hammaren.



Figur 5-23: Jämförelse mellan borrarparametrar för jord-bergsonderingarna P6-1, P6-2 och P6-6.

Jämförelse mellan de olika utvärderingsmetoderna för de tre jord-bergsonderingarna P6-1, P6-2 och P6-3:

Vid en jämförelse mellan de olika utvärderingsmetoderna syns tydligt inverkan av variationen i varvtal mellan noll och fullt utslag vid jord-bergsondering P6-6 på Somertons index, Specifik energi, Borrenergi och Fasthetsindex, se Bilaga 6a-6c. Det kan här tolkas som ett fastare inhomogent lager. En jämförelse har gjorts mellan den jord-bergsondering som körts med hammaren avstängd även genom den mycket fasta moränen (P6-1) och de andra två sonderingarna. Då erhålls högre index-värden i den mycket fasta moränen i P6-1 för de flesta metoderna.

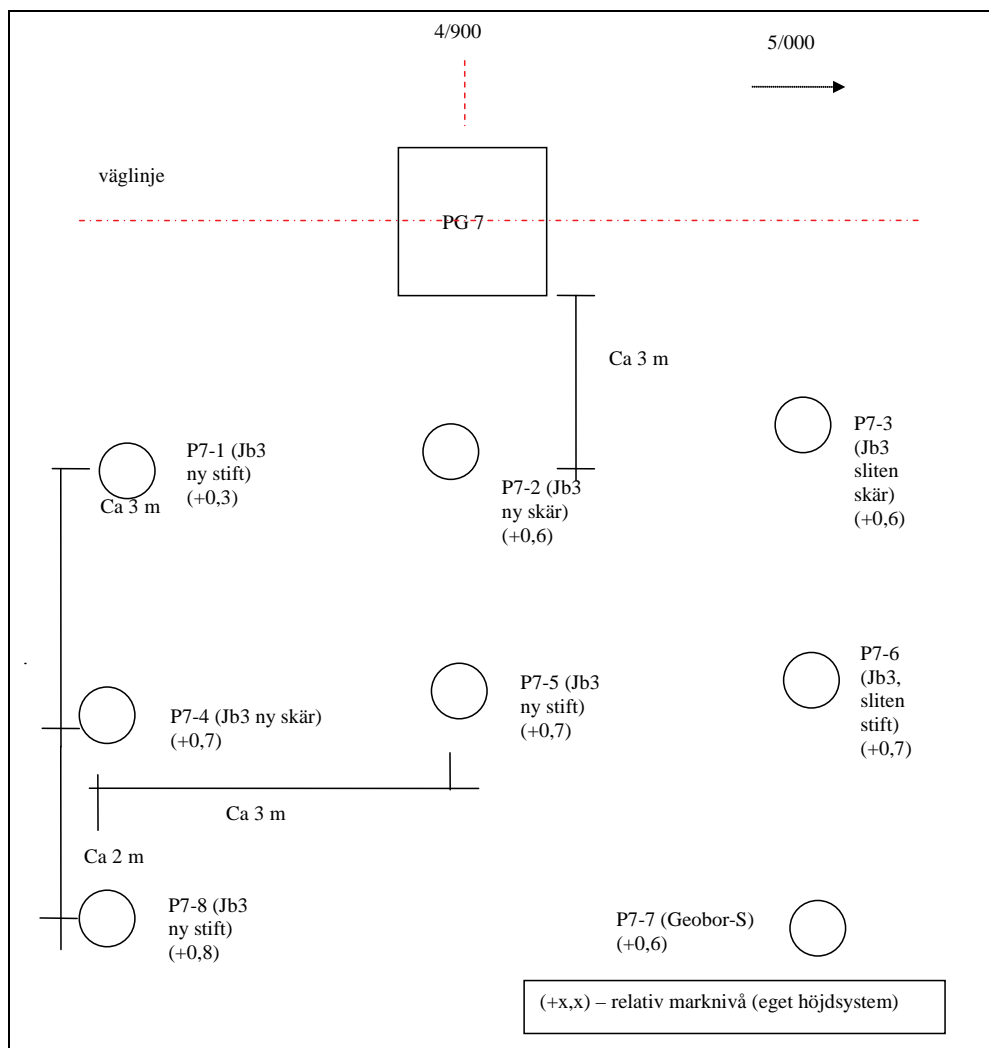
På samma sätt erhålls högre index-värden för ett parti mellan 5 och 6 m djup i P6-2 där hammaren varit avstängd, vilket kan tolkas som ett fastare lager. Det vore mer logiskt att få ett lägre värde, dvs att kunna tolka dessa partier som lösare jordlager. Detta visar att inverkan av om hammaren är avstängd eller inte har en inverkan på de metoder som inte har med slagning som en parameter. Även Fasthetsindex där slagning är med i en term visar en ökning mellan 5 och 6 m i P6-2. Detta kan bero på att inverkan av rotationsenergi är dominerande i resultatet från denna metod. Metoderna som bygger på parametrar för slagning

Slagindex och Specifik energi för slagning ger inget utslag förrän hammaren slagits på.

Detta visar att om de borrarparametrar som inte finns med i en utvärderingsmetod varierar, kan metoden ge ett missvisande resultat. Det innebär alltså att en utvärderingsmetod kan ge ett missvisande resultat om de borrarparametrar som ska hållas konstanta varierar, och de inte är med i metoden av denna anledning.

5.3.2.3 Sonderingar i ca sektion 4/900

I närheten av provgrop 7, på höger sida om väglinjen i sektion 4/900 har utförts sex sonderingar med ca 3 m avstånd; 2 jord-bergsondering klass 3 med ny stiftborkrona, 2 jord-bergsondering klass 3 med ny skärborkrona, en jord-bergsondering klass 3 med sliten stiftborkrona och en jord-bergsondering klass 3 med sliten skärborkrona. Ungefärligt läge för utförda undersökningar framgår av Figur 5-13. Dessutom utfördes en sondering där hammaren var på hela tiden utom i den översta normalfasta moränen. Det utfördes också en provtagning med Geobor-S. I provgrop 7 bedöms gränsen till den mycket fasta moränen ligga på 2,0 m djup. Från provtagningen med Geobor-S i punkt P7-7 bedöms gränsen mellan den normalfasta och den mycket fasta moränen ligga på ca 2,7 m djup. Grundvattennivån uppmättes 2012-07-02 i ett öppet grundvattenrör i P7-5 till 0,4 m under markytan.



Figur 5-24: Undersökningar utförda i denna studie i sektion 4/900.

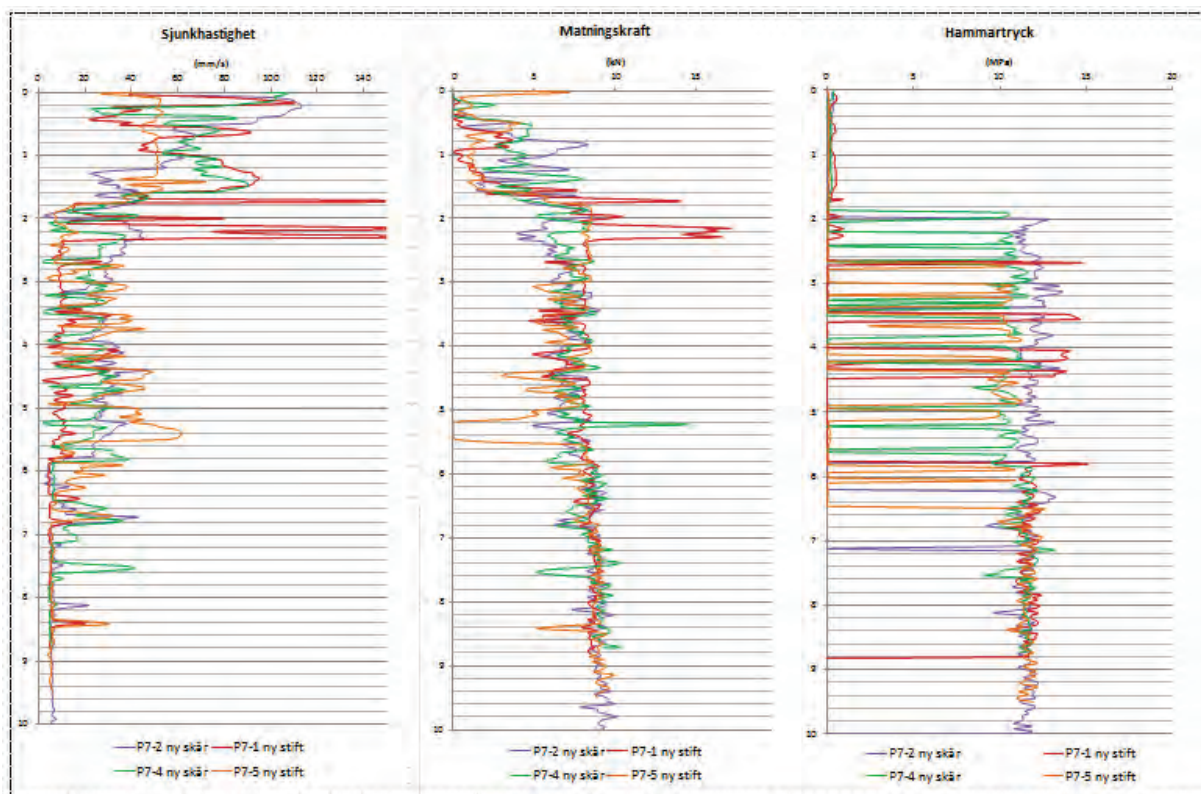
Det har inte varit möjligt att precis lokalisera ursprunglig höjd för den tidigare utförda provgrop 7. Markytan inom det undersökta området inklusive provgropen är dock relativt plan. Det skiljer 0,5 m mellan den högst och den lägst belägna sonderingen.

En jämförelse har gjorts mellan resultat av sondering med skärborrkrona respektive stiftskrona och ny respektive sliten krona. Denna jämförelse baseras på borrhparametrarna sjunkhastighet, matningskraft och hammartryck. Det är viktigt att jämförelsen baseras på dessa borrhparametrar, eftersom utvärderingsmetoderna inte tar hänsyn till samtliga parametrar. Eftersom hammartrycket inte har varit påslaget under hela sonderingen genom den mycket fasta moränen måste detta också beaktas i jämförelsen.

Jämförelse mellan jord-bergsondering med stiftborrkrona respektive skärborrkrona:

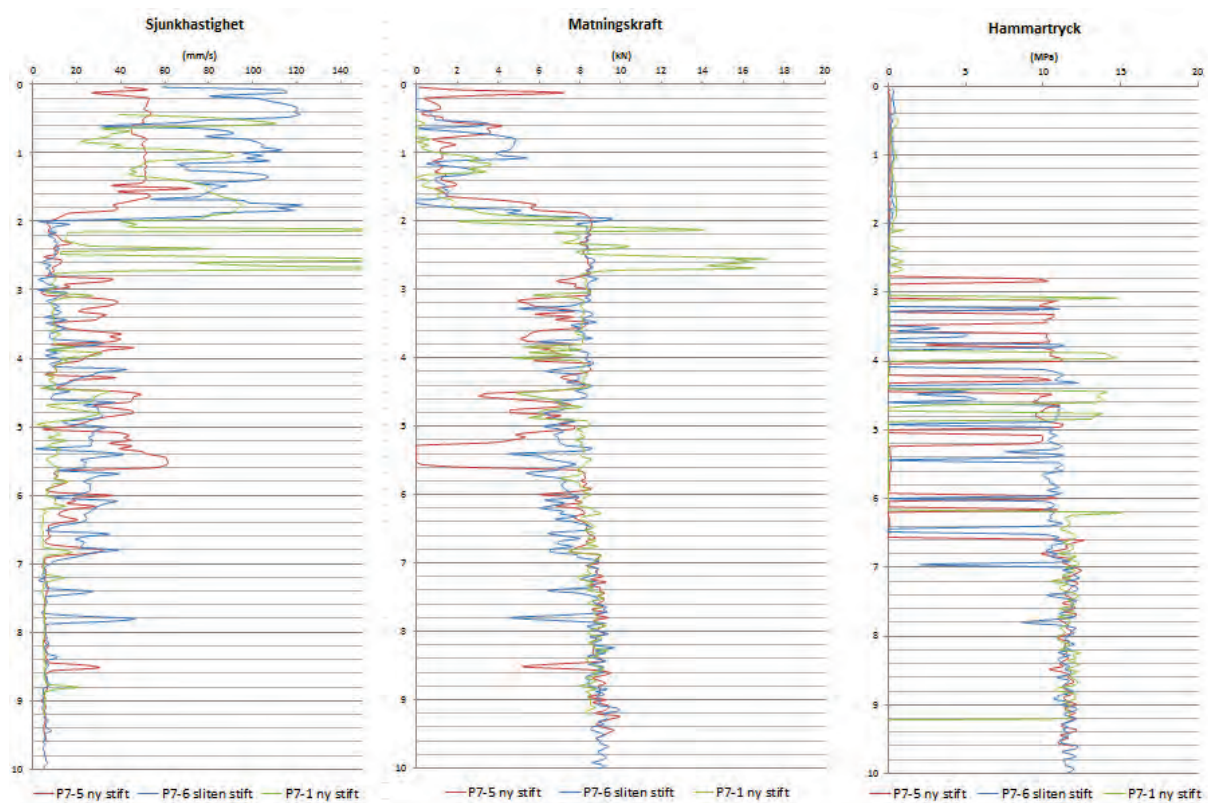
Sondering med stiftskrona har kunnat göras genom den mycket fasta moränen med hammaren avstängd under största delen av sonderingen i ena fallet och med hammare avstängd på knappt halva sträckan i det andra. Vid sondering med skärborrkrona genom den mycket fasta moränen har hammaren behövt vara på under hela sonderingen i ena fallet och nästan hela sonderingen i andra fallet (se Figur 5-14 och Bilaga 7). Dessutom är sjunkhastigheten högst för den sondering med stiftskrona som haft hammaren påslagen. Detta tyder på att stiftskronan är effektivare för borrhning igenom den mycket fasta moränen. Sonderingen med stiftborrkrona men med hammare avstängd har dock den lägsta sjunkhastigheten genom den mycket fasta moränen.

En jämförelse mellan de olika sonderingarna i den normalfasta moränen där hammaren varit avstängd i samtliga fall, visar att matningskraften varit lägst för de båda sonderingarna med stiftskrona. Även detta antyder att sondering med stiftborrkrona är effektivare än sondering med skärborrkrona. Sjunkhastigheten varierar kraftigt utefter sträckan för samtliga sonderingar, och inget entydigt samband kan ses. Utefter sträckan i berg kan inte någon skillnad mellan de olika sonderingarna urskiljas.



Figur 5-25: Jämförelse mellan jord-bergsondering utförd med stiftborrkrona (P7-1 och P7-5) och med skärborrkrona (P7-2 och P7-4).

Jämförelse mellan jord-bergsondering med ny respektive sliten stiftborrkrona:
 Jämförelse mellan sonderingar med ny och sliten stiftborrkrona visar inte någon anmärkningsvärd skillnad (se Figur 5-15, Bilaga 8). Genom den fasta moränen har, vid sondering med sliten krona, hammaren varit påslagen något mer än vid sonderingen med ny krona. Trots det är sjunkhastigheten lägre för sonderingen med sliten krona. Lägst är dock sjunkhastigheten för den sondering med ny krona där hammaren knappast varit påslagen genom den mycket fasta moränen. I den normalfasta moränen varierar matningskraften längs sträckan, men sjunkhastigheten är högst för sonderingen med sliten krona. Det finns en antydning till bättre framdrift med ny krona genom den mycket fasta moränen, medan man inte kan se någon sådan antydning i den normalfasta moränen. Från sonderingarna i berg kan inte någon skillnad i sjunkhastighet noteras och i detta fall har matningskraft och hammartryck hållits relativt konstant.



Figur 5-26: Jämförelse mellan jord-bergsondering utförd med ny respektive sliten stiftborrkrona.

Jämförelse mellan jord-bergsondering med ny respektive sliten skärborrkrona:
 Jämförelse med ny och sliten skärborrkrona visar på liten skillnad mellan sonderingar (se Bilaga 9). Hammaren har till största delen varit påslagen genom den mycket fasta moränen vid samtliga tre sonderingar. Matningskraften och sjunkhastigheten har varierat men följts åt för de tre sonderingarna. I den lösare moränen har matningskraften varierat men följts åt och det är inte sonderingen med sliten krona som har den lägsta sjunkhastigheten.

Inte heller sonderingarna i berg med skärborrkrona visar någon skillnad i resultat mellan ny och sliten krona. Utifrån dessa sonderingar kan man inte avgöra om det är bättre framdrift med ny skärborrkrona jämfört med sliten krona.

Sammanfattning av utvärdering i sektion 4/900:

För att man säkert ska kunna bedöma vilken skillnad det är att köra med stift- eller skärborrkrona och ny respektive sliten krona måste parametrar som

hammartryck, matningskraft och rotation hållas konstanta så att jämförelsen kan koncentreras till sjunkhastigheten.

Jämförelse mellan de olika utvärderingsmetoderna visar på samma inverkan av om hammaren är påslagen eller inte som vid sektion 4/800. På de avsnitt där hammaren är avstängd i den mycket fasta moränen fås ett högre värde för de flesta metoderna, vilket kan tolkas som ett fastare lager. Detta lager borde i stället vara lösare eftersom man kunnat köra med hammare avstängd. Slagindex och specifik energi för slagborrning ger inget utslag förrän hammaren slagits på.

5.3.2.4 Provtagning med Geobor-S

Provtagningen med Geobor-S gjordes ned till 6,6 m djup. Då hade kronan slitits ned helt och provtagningen kunde inte fortsättas. Det kan noteras att det har gått att få upp prov och att detta fyller rördiametern utefter nästan hela provtagningsdjupet. Endast på djupen 0-0,4 m, 1,9-2,1 m, 2,7-2,75 m och 3,27-3,4 m har provet tappats eller spolats bort. De översta 1,7 m bedöms provet vara omrört. Från bedömning av provets konsistens har gränsen mellan den lösare moränen och den mycket fasta moränen bedömts ligga på ca 2,7 m djup. Representativa prover från olika djup presenteras i Figur 5-16.

En siktning har utförts på materialet från den mycket fasta moränen på 3,75-3,85 m djup. Utifrån detta prov har moränen bedömts vara en sandig lerig siltmorän med en finjordshalt på 47%, se Bilaga 10a. Ett stegvis ödometerförsök har också utförts i kompressometer på ett prov från den mycket fasta moränen på 3,95 m djup. Detta visar en kompression på 5% vid den maximalt pålagda lasten på ca 1200 kPa. Last – deformationskurvan från ödometerförsöket redovisas i Bilaga 10b.



Figur 5-27: Jordprov tagna med Geobor-S på olika djup i punkt P7-7 (aktuellt djup angivet på rosa lapp i bilden).

5.4 SLUTSATSER

I denna studie har ett antal utvärderingsmetoder för jord-bergsondering testats med syftet att få en säkrare bestämning av gränsen mellan lösare och fastare morän och mellan morän och berg. Inverkan av olika typer av borrkronor samt inverkan av ny respektive sliten krona har också undersökts.

Följande slutsatser kan dras från jämförelsen mellan olika utvärderingsmetoder:

- För ett tillförlitligt resultat måste hänsyn tas till samtliga borrhparametrar från jord-bergsonderingen, dvs. såväl sjunkhastighet, matningskraft, rotation och hammartryck eftersom dessa inte kan hållas helt konstanta under sonderingen.
- Bästa möjliga utvärdering får man om man baserar utvärderingen av lagergränser på flera olika utvärderingsmetoder, vilka baseras på olika grundparametrar.
- En jämförelse mellan metoderna tyder på att det är något lättare att bedöma gränsen mellan de båda moränerna med metoderna Somertons index och Förändringsindex än med övriga metoder.
- Gränsen mellan moränerna är svårast att bedöma utifrån de båda metoderna som baseras på hammartryck, dvs. Slagindex och Specifik energi för slagborring. Det ska då observeras att olika metoder i vissa fall ger olika djup för denna gräns och det har inte varit möjligt att avgöra vilken som är mest "rätt". Från Exponentmetoden har det generellt varit svårt att utvärdera gränser, såväl mellan de båda moränerna som mellan morän och berg.
- Gränsen mellan morän och berg har varit lätt att bedöma med samtliga metoder, utom Exponentmetoden. Möjligen har det varit något svårare med Förändringsindex.

Följande slutsatser kan dras från jämförelsen mellan stift- respektive skärborrkrona och ny respektive sliten krona:

- Jämförelsen mellan stift- och skärborrkrona tyder på att stiftborrkronan är effektivare än skärborrkrona för borring igenom den mycket fasta moränen. I berg kan inte någon skillnad mellan de båda kronorna urskiljas.
- Jämförelsen mellan ny och sliten stiftborrkrona antyder att framdriften är bättre med ny krona genom den mycket fasta moränen, medan man inte kan se någon sådan antydning i den lösare moränen. Från sonderingarna i berg kan inte någon skillnad noteras.
- Utifrån jämförelsen mellan ny och sliten skärborrkrona kan man inte avgöra om det är bättre framdrift med ny skärborrkrona jämfört med sliten krona i vare sig morän eller berg.

- För att man säkert ska kunna jämföra resultat från borrning med stift respektive skärborrkrona och ny respektive sliten krona måste dock parametrar som hammartryck, matningskraft och rotation i möjligaste mån hållas konstanta så att jämförelsen kan koncentreras till sjunkhastigheten. I denna studie har framför allt hammartrycket slagits på och av vid olika tillfällen i den fasta moränen vilket har gjort att en helt tillförlitlig utvärdering inte varit möjlig.

Från övriga undersökningar i studien kan följande slutsatser dras:

- Med hejarsondring och vridtryckskedet vid jord-bergtotalsondering kan man endast komma ner i det översta skiktet av en så fast morän som det varit här. Nedträngningsdjupet i den mycket fasta moränen är ungefär detsamma för båda metoderna.
- Geobor-S fungerade väl för upptagning av prover såväl i den normalfasta som den mycket fasta moränen.

5.5 DISKUSSION

Denna studie har visat på en del svårigheter vid utvärdering av jord-bergsonderingar. Maskinparametrarna har stor betydelse och det går inte att jämföra resultatet från en maskin med en annan. Det går heller inte att få fram samtliga maskinparametrar som behövs för utvärdering med olika metoder och inte heller vilka förluster som sker på vägen.

Det är också så att samtliga borrparametrar har en betydelse för resultatet. Även om det anges i metodbeskrivningen för jord-bergsondering att vissa parametrar, som matningskraft, rotationshastighet och hammartryck ska hållas konstanta görs inte detta alltid och en viss variation erhålls även då fältingenjören strävar efter att hålla dessa parametrar konstanta. Därför behöver samtliga borrparametrar vid jord-bergsonderingen tas med.

De flesta metoder har inte med någon faktor för hammartrycket. Detta innebär att om hammaren är på och sedan slås av utefter en sträcka som är något lösare, ger detta i stället högre utslag dvs. på samma sätt som ett fastare lager.

De två metoder som är framtagna för sänkhämbarbörning och där hämmartryck ingår ger å andra sidan inget utslag alls förrän hämmaren slås på. Detta innebär att med en kraftfull maskin skulle inte ett lager mellan två olika fasta moräner som här kunna urskiljas.

Inte heller den metod, Fasthetsindex, där man räknar med energier och har med såväl kraftenergi, rotationsenergi som slagenergi, dvs. samtliga parametrar från jord-bergsonderingen, ger ett tillförlitligt resultat. Orsaken är att termerna för de olika energierna vilka adderas ihop är väldigt olika stora. I uttrycket blir rotationsenergin betydligt större än de övriga och det syns också i utvärderingen. En anledning till att hämmarenergin inte blir störst kan bero på att aktuellt hämmartryck dividerats med max uppmätt hämmartryck under sonderingen. Värdet borde blivit större om aktuellt hämmartryck i stället dividerats med maskinens maximalt möjliga hämmartryck. Denna uppgift har dock inte funnits tillgänglig.

Det räcker alltså inte att samtliga parametrar är med. De måste normaliseras på något sätt så att alla parametrar ger ett bidrag till slutresultatet och inte en parameter blir helt dominerande. Detta kan innebära en modifiering av metoden Fasthetsindex, komplettera någon av de andra metoderna med ytterligare borrhparametrar eller att en ny utvärderingsmetod utarbetas. Kanske finns det möjligheter att göra detta med statistiska metoder eller statistisk bearbetning (som t.ex. Duchamp, 1988, Yu et.al., 2004). Ett annat alternativ är att säkerställa att de borrhparametrar som ska hållas konstanta också är konstanta under sonderingen.

En svårighet i metoden Fasthetsindex är bestämning av hämmarenergin, då det inte går att få fram aktuell energi per hämmarslag, endast maximal energi per slag från maskinen. Slagenergin har då antagits vara proportionell mot hämmartrycket. Det har dock inte heller funnits någon uppgift om maskinens maximala hämmartryck, utan endast uppmätt hämmartryck.

En studie av rotationsbörning i en uppbyggd bank av kalk, lera, silt, sand och grus av Laudanski et.al. (2012) visade att inverkan av typ av krona varierade beroende på typ av penetrerat material. En relativt stor skillnad erhöles vid

borrning med stiftborrkrona i sand och grus jämfört med borrning i silt och kalk. Skillnaden var betydligt mindre vid borrning med skärborrkrona.

Oavsett vilken metod som används behöver resultatet kalibreras mot aktuell lagerföljd bestämd genom provgrovsgrävning, Geobor-S provtagning eller liknande.

5.6 REKOMMENDATIONER

Det tillgängliga materialet från jord-bergsonderingarna borde kunna nyttjas för att göra en fördjupad utvärdering, som det saknats utrymme för inom detta projekt.

Det vore önskvärt att göra en mätbar jämförelse av förmågan att bedöma gränsen mellan normalfast och fast morän och mellan morän och berg med de olika utvärderingsmetoderna. Ett möjligt sätt vore att beräkna medelvärdet av respektive index på en representativ sträcka ovanför och nedanför den bedömda gränsen och jämföra detta förhållande.

Ett förslag under projektets gång har varit att utföra en integrering mot djupet med någon metod. Att utföra integrering med en metod bedöms dock inte tillräckligt. Eftersom feltolkning kan göras på grund av att de flesta utvärderingsmetoder saknar vissa borrarparametrar bör en sådan integrering göras med ett urval av metoderna.

En fördjupad jämförelse av resultat från borrning med olika kronor och ny respektive sliten krona borde också kunna göras genom en integrering mot djupet med ett urval av utvärderingsmetoderna.

Säkraste sättet att jämföra resultat från borrning med olika kronor och ny respektive sliten krona vore dock att hålla borrarparametrar som hammartryck, matningskraft och rotation konstanta så att jämförelsen kan koncentreras till sjunkhastigheten.

För att kunna göra en så korrekt jämförelse som möjligt mellan olika jord-bergsonderingar måste de parametrar som ska hållas konstanta dvs, matnings-

kraft, rotationshastighet och hammartryck också hållas helt konstanta. Jämförelsen måste också göras mellan sonderingar utförda med samma maskin och med samma typ av borrhörl. Inverkan av slitaget på borrhörlan behöver studeras mer innan några rekommendationer kan ges.

Kapitel 6

Referenser

- Andersson, C, Johansson, Å. (1998).** Measurement While Drilling, MWD. Borrparametrar kontra bergets egenskaper uppmätta i kärnborrhål. Luleå tekniska universitet. Väg- och vat-tenbyggnad. Bergteknik / Luleå. Examensarbete 1998:342 CIV
- Apelqvist, C, Wengelin, A. (2008).** Measurement While Drilling - hjälpmedel vid injekte-ringsborrning. en studie utförd på entreprenad NL 304 inom Norra Länken. Kungliga tekniska högskolan. Jord- och bergmekanik / Royal Institute of Technology. Soil and Rock Mechanics / Examensarbete / Master thesis 08/02. Stockholm
- Bruno, A. (2009).** Grouting operation monitoring and analysis of the “Real time grouting control” method. Royal Institute of Technology. Department of Civil and Architectural Engineering. Division of Soil and Rock Mechanics. Master Thesis 09/04. Stockholm.
- Carlswärd, C, Ekstam Wallgren, E. (2009).** Utvärdering av MWD-teknikens möjligheter att identifiera vattenförande zoner vid Norra Länkenprojektet i Stockholm. Kungliga tekniska högskolan. Jord- och bergmekanik. Examensarbete / Master thesis 09/01. Stockholm.
- CEN TC 341. (2011).** ISO/WD 22476-X: Geotechnical investigation and testing – Field test-ing – Part X: Measuring while drilling. Working Draft version 2.1c2.
- Christie, K.A. (2002).** Introducing new technologies to in-situ geotechnical testing. Fifth year personal study project. Department of Civil and Offshore Engineering. Heriot-Watt University. Edinburgh.
- De Paoli, B, Viola, G, and Tomiolo, A. (1988).** The use of drilling energy for soil classification. 2nd International Symposium on Field Measurements in Geomechanics, Kobe 1987. Vol 1, pp 313-321. Rotterdam.

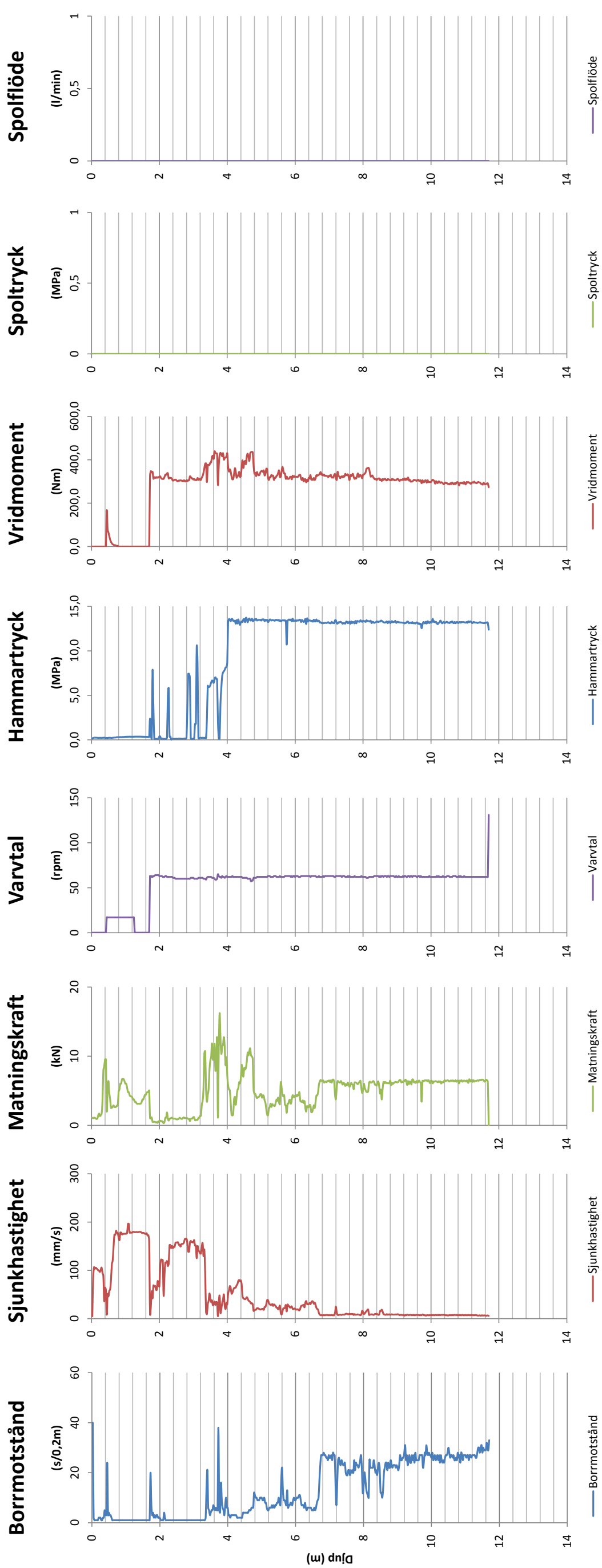
- Duchamp, J-M. (1988).** Apport des techniques statistiques pour l'exploitation des diagraphies instantanées en génie civil. Thèse de doctorat – Université Bordeaux I. No d'ordre 273.
- Girard, H. (1985).** Contribution à l'exploitation des paramètres de forage en génie civil. Thèse de doctorat d'Etat – Université Bordeaux I. No d'ordre 183.
- Girard, H, Morlier, P, Puvilland, O, and Garzon, M. (1986).** The digital Enpasol method – exploitation of drilling parameters in civil engineering. 39th Canadian Geotechnical Conference. Proceedings, pp 59-68. Ottawa.
- Gui, M,W, Soga, K, Bolton, M,D, Hamelin, J,P, Hass, G, Burgess, N, and Butler, A,P. (1999).** Instrumented borehole drilling using ENPASOL system. 5th International Symposium on Field Measurements in Geomechanics. Pp 577-581. Singapore.
- Gui, M,W, Soga, K, Bolton, M,D and Hamelin, J,P. (2002).** Instrumented Borehole Drilling for Subsurface Investigation. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Vol 128, No 4, pp 283-291.
- Laudanski, G, Reiffsteck, P, Tacita, JL, Desanneaux, G, och Benoit, J. (2012).** Experimental study of drilling parameters using a test embankment. International conference on geotechnical and geophysical site characterization, 4, Porto de Galinhas, Brazil, 18-21 September, 2012. Proceedings, vol. 1, pp 435-440.
- Möller, B, Bergdahl, U, Elmgren, K. 2004.** Soil-rock sounding with MWD - a modern technique to investigate hard soils and rocks. Geotechnical and geophysical site characterization. International conference on site characterization, 2, ISC 2, Porto, Portugal, 19-22 September, 2004. Proceedings, Vol 1, pp 731-740.
- Nilsson, J. (2001).** Utvärdering av jord-bergsonderingsresultat - Med undersökning av alternativa metoder att tolka jord-bergsonderingsresultat. Luleå tekniska universitet, Institutionen för Väg- och vattenbyggnad, Avdelningen för geoteknik. Examensarbete 2001:322 CIV. Luleå
- Nishi, K, Suzuki, Y, and Sasao, H. (1998).** Estimation of soil resistance using rotary percussion drill. International Conference on Geotechnical Site Characterisation, Vol 1, pp 393-398. Atlanta.

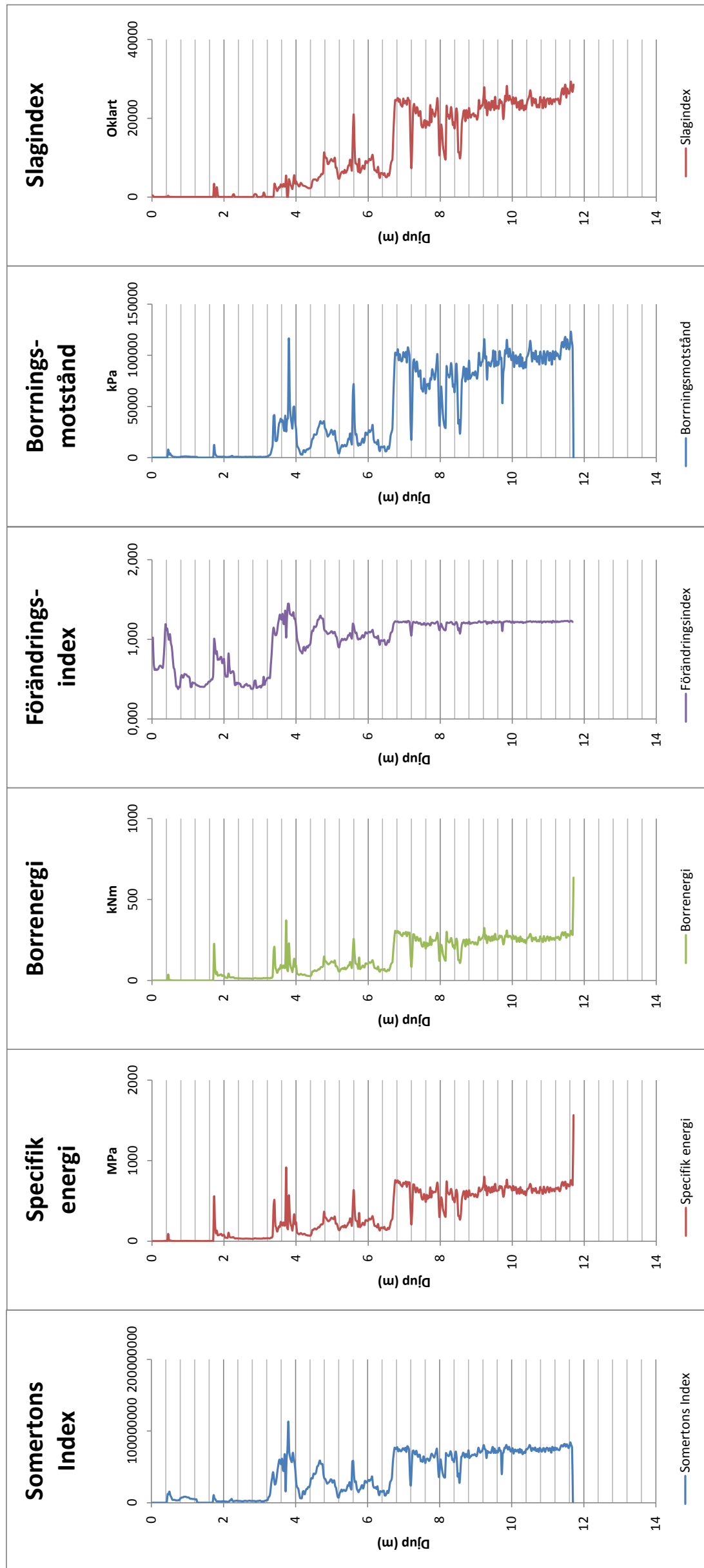
- Olsson, J. (2008).** Utvärdering av Moräns hållfastegenskaper med jordbergtotalsondering. Luleå tekniska universitet, Institutionen för Samhällsbyggnad, Avdelningen för geoteknik Examensarbete, 2008:211 CIV
- Pfister, P. (1985).** Drilling Parameter Recording in Soil Engineering. Journal of Ground Engineering. Vol 18, No 3, pp 16-21.
- Sadowski, S, Stetson, K, and Benoit, J. (2008).** Investigating rock quality using drilling parameters in Boston, MA, USA. International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization, ISC'3. Proceedings pp 1359 – 1364. Taipei.
- Somerton, W.H. (1959).** A laboratory study of rock breakage by rotary drilling. Petroleum transaction, AIME, 216, 92-97.
- SGF. (1999).** Metodbeskrivning för Jord-bergsondering. Svenska Geotekniska Föreningen. Rapport 2:99. Linköping.
- SGF. (2009).** JÄMFÖRANDE SONDERINGAR - Jb-totalsondering, CPT och Hejarsondering, Svenska Geotekniska Föreningen (SGF). Notat 1:2009, Nilsson, G, och Löfroth, H.
- SGF. (2012).** Metodbeskrivning för Jord-bergsondering. Svenska Geotekniska Föreningen. Rapport 4:2012. Linköping.
- Teale, R. (1965).** The concept of specific energy in rock drilling. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science. Vol 2, pp 57-73. Great Britain.
- Tingström, M. (2012).** Personlig kommunikation.
- Trafikverket (2010).** 1G13PM01, Väg 40 Dällebo-Hester, Etapp 1, Utförandeentreprenad 2010-04-26, Objektnummer 436030, Markteknisk undersökningsrapport, MUR. Kontrakts-handling 13.8, Förfrågningshandling 13.8.
- Wister, S. (2010).** Jb-totalsondering – jämförande sonderingar och utvärdering av egenskaper i isälvsavlagringar kring Igelstaviken. Kungliga tekniska högskolan. Examensarbete.
- Yue, Z,Q, Lee, C,F, Law, K,T, och Tham, L,G. (2004)** Automatic monitoring of rotary-percussive drilling for ground characterization—illustrated by a case example in Hong Kong. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science. Vol. 41 s 573–612

Bilaga A.

Bilagor

1. Utvärdering av jord-bergsondering 4160, 4159 och 4161
2. Utvärdering av jord-bergsondering 4167
3. Resultat från hejarsondering P6-5
4. Resultat från jord-berg totalsondering P6-3 och P6-4
5. Jämförelse mellan borrarparametrar för jord-bergsondering P6-1, P6-2 och P6-6
6. Utvärdering av jord-bergsondering P6-1, P6-2 och P6-6
7. Jämförelse mellan ny skärborrkrona och ny stiftborrkrona
8. Jämförelse mellan ny och sliten stiftborrkrona
9. Jämförelse mellan ny och sliten skärborrkrona
10. Kornfördelning från siktning och last-deformations samband från ödometerförsök
11. Sammanfattning av jämförelse mellan utvärderingsmetoder
12. Förstudie





$$S_d = k_s \times P_E \sqrt{\frac{V_R}{V_A}}$$

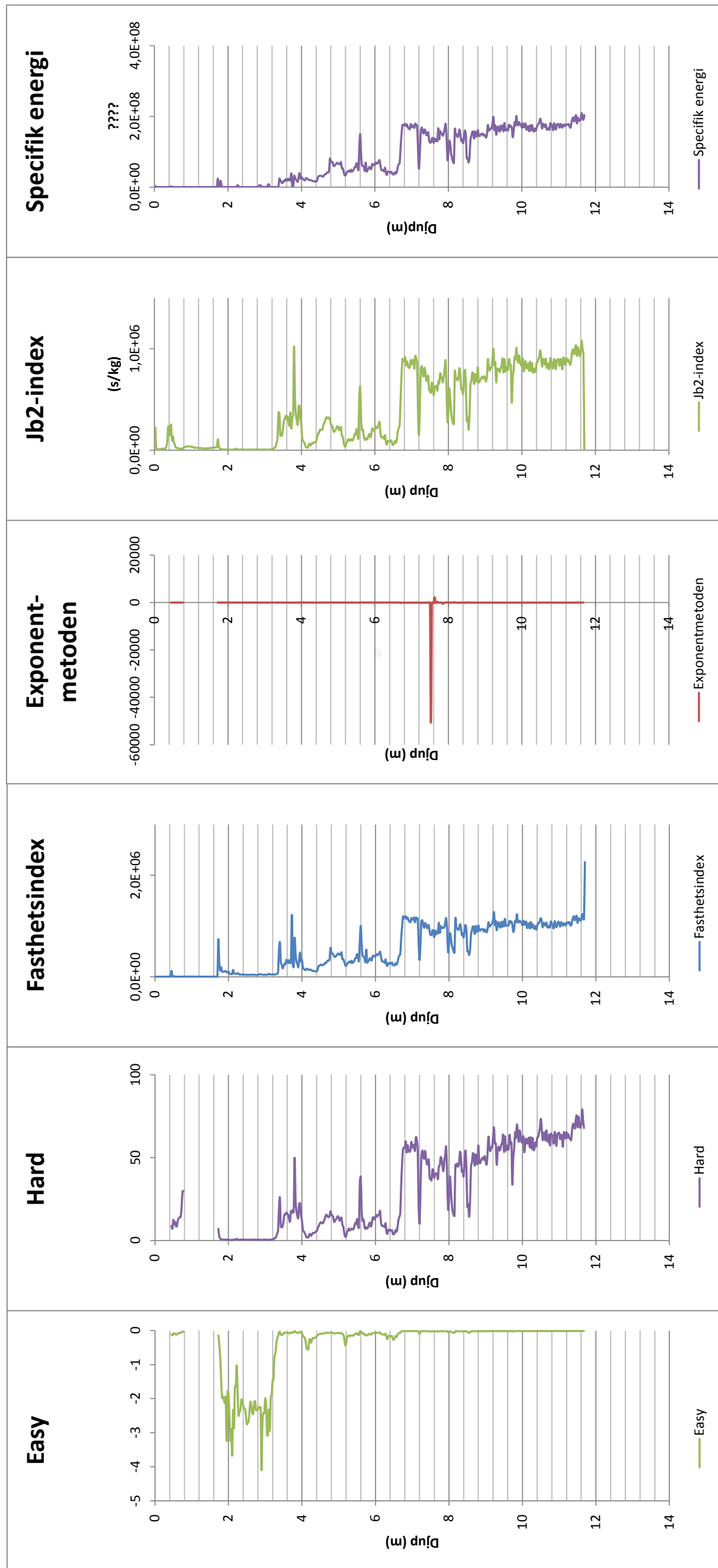
$$e = \left(\frac{F}{A}\right) + \left(\frac{2\pi}{A}\right) \left(\frac{V_R \times C_R}{V_A}\right)$$

$$E = \frac{C_R \times V_R}{V_A}$$

$$A_f = 1 + \left(\frac{P_E}{P_{max}}\right) - \left(\frac{V_A}{V_{max}}\right)$$

$$R_f = k \times \frac{F \times V_R}{V_A \times D}$$

$$P_i = \frac{P_p}{V_A} \times \left(\frac{D}{100}\right)^{1.5}$$



$$\Gamma_{\text{easy}} = \Gamma_v \times \Gamma_f$$

$$\Gamma_v = \frac{V_A}{V_R \times D} \quad \Gamma_f = \left(\frac{F}{C_R/D} \right)$$

$$\Gamma_{\text{hard}} = -1/\Gamma_{\text{easy}}$$

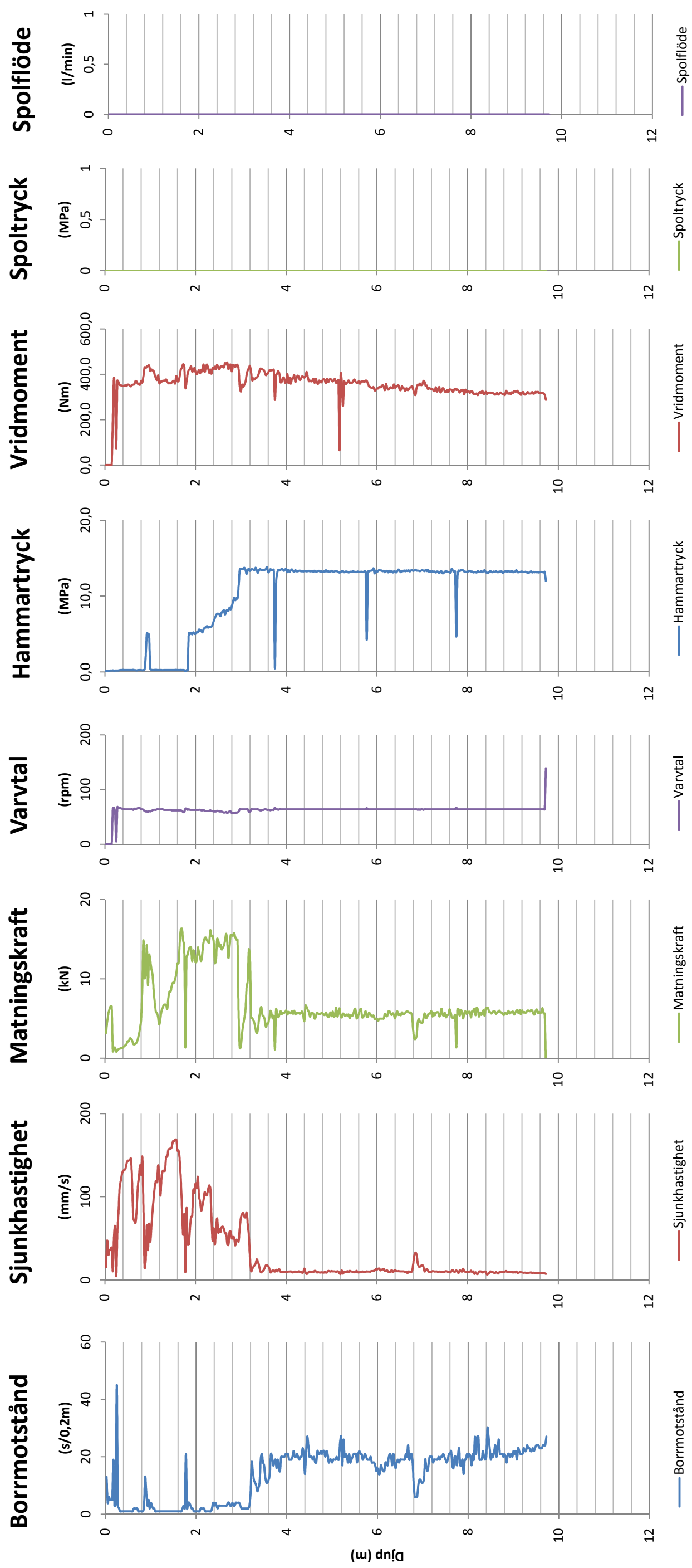
$$R_t = k_0 \times \frac{\alpha FVA + \beta 2\pi CRVR + \gamma EPn}{V_A}$$

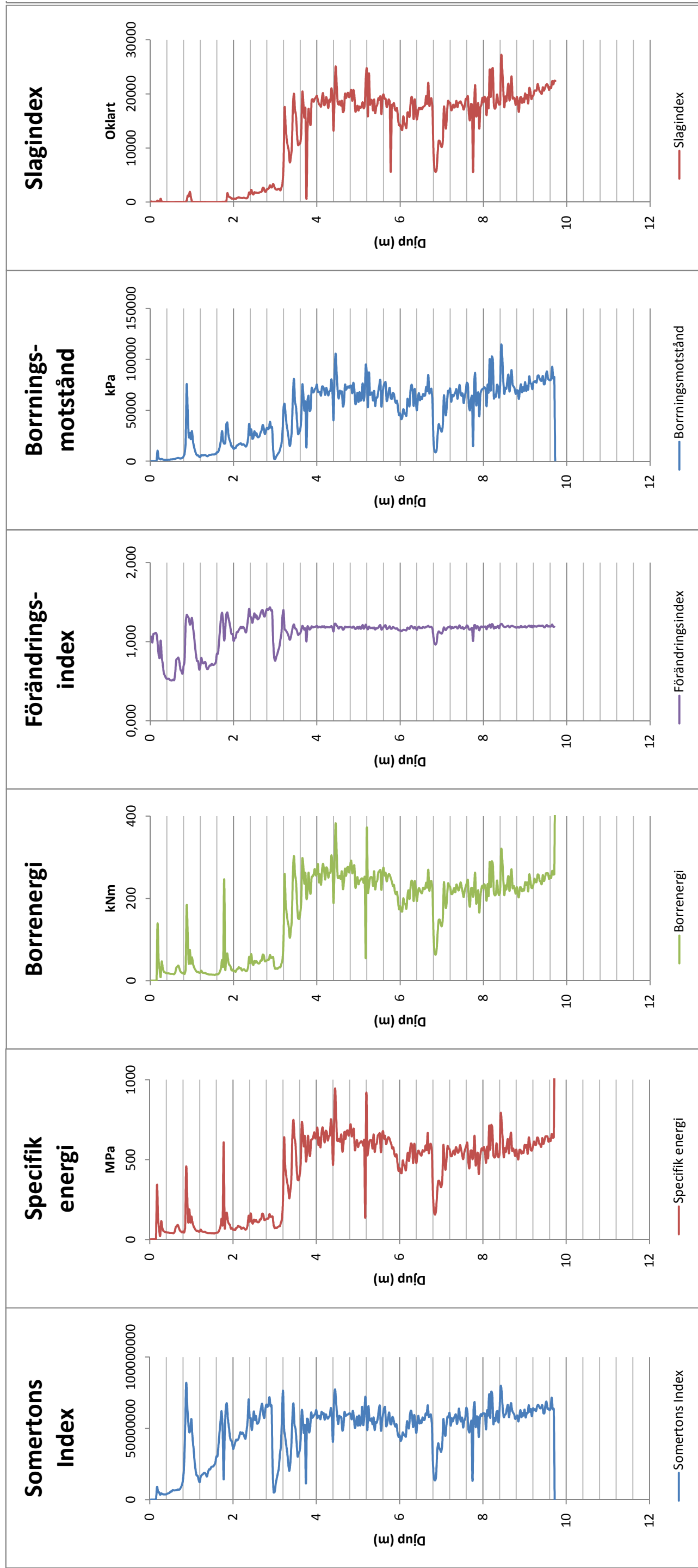
$$E_p = E_{\text{max}} \times \frac{H_A}{H_{A_{\text{max}}}}$$

$$1 = \alpha \times \frac{V_A}{F}$$

$$SE = \frac{T_R \times P_0}{A \times VA}$$

$$P_0 = E_{\text{max}} \times n \times \frac{H_A}{H_{A_{\text{max}}}}$$





Somertons Index

$$S_d = k_s \times P_E \sqrt{\frac{V_R}{V_A}}$$

Specifik energi

$$e = \left(\frac{F}{A}\right) + \left(\frac{2\pi}{A}\right) \left(\frac{V_R \times C_R}{V_A}\right)$$

Borrenergi

$$E = \frac{C_R \times V_R}{V_A}$$

Förändringsindex

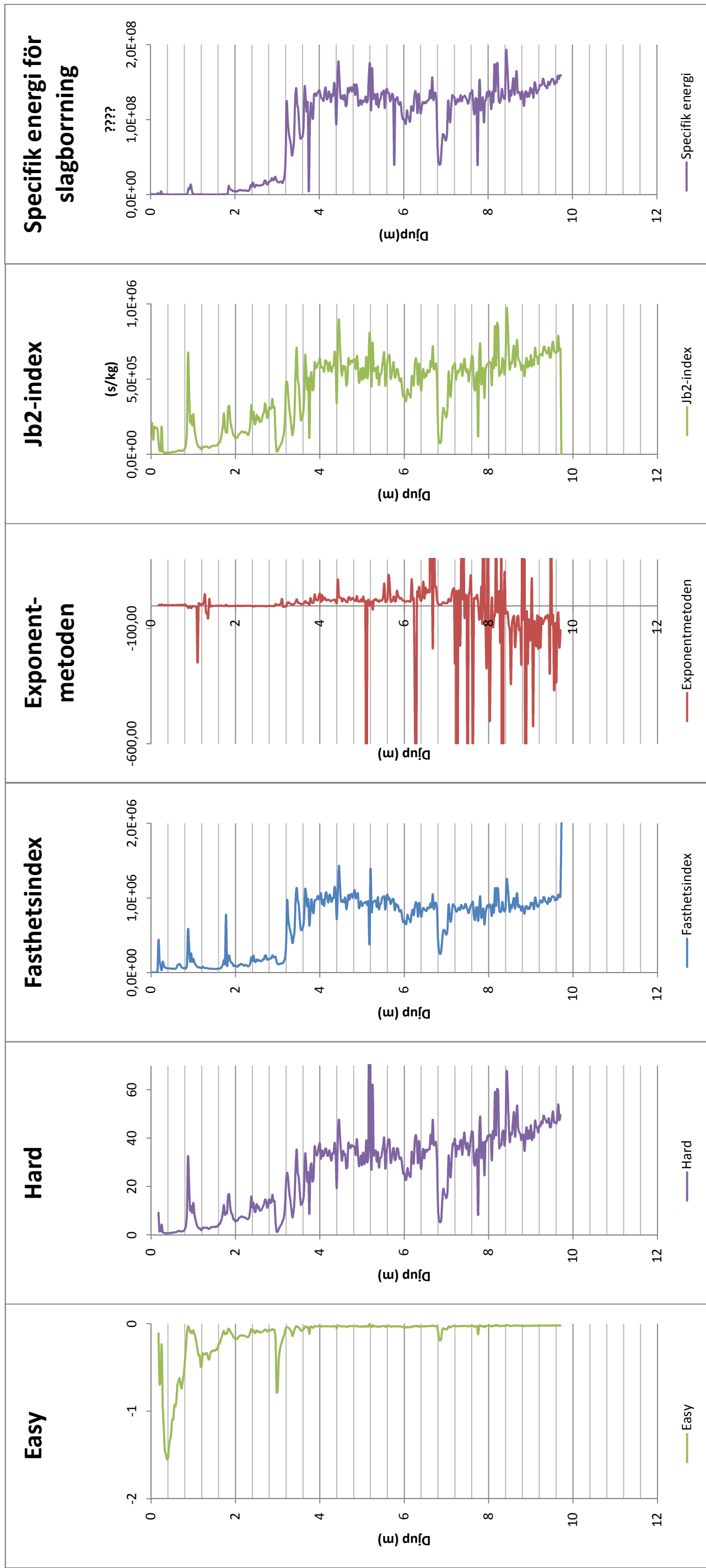
$$A_1 = 1 + \left(\frac{P_E}{P_{max}}\right) - \left(\frac{V_A}{V_{max}}\right)$$

Borrningsmotstånd

$$R_f = k \times \frac{F \times V_R}{V_A \times D}$$

Slagindex

$$P_i = \frac{P_p}{V_A} \times \left(\frac{D}{100}\right)^{1,5}$$



$$\Gamma_{\text{easy}} = \Gamma_v \times \Gamma_f$$

$$\Gamma_v = \frac{V_A}{V_R \times D} \quad \Gamma_f = \left(\frac{F}{C_R/D} \right)$$

$$\Gamma_{\text{hard}} = -1 / \Gamma_{\text{easy}}$$

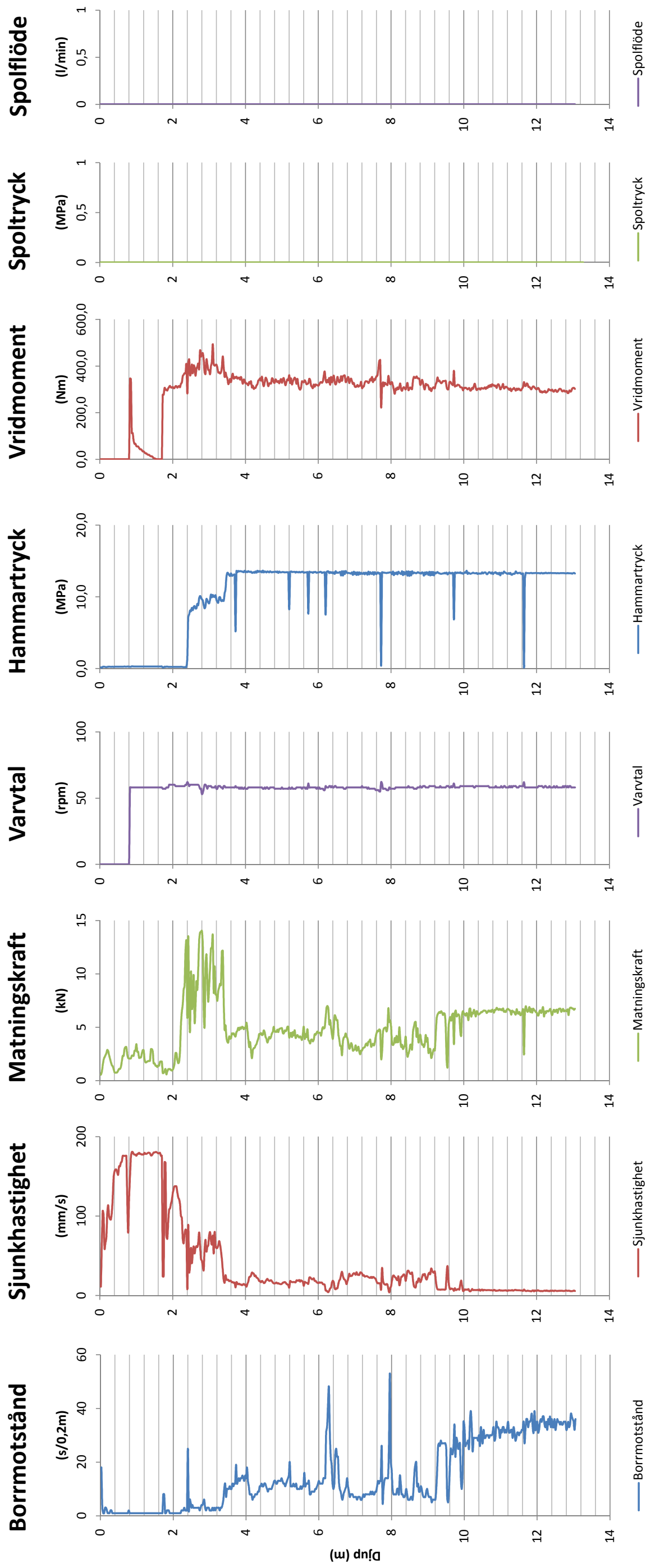
$$R_f = k_0 \times \frac{\alpha FVA + \beta 2\pi CRVR + \gamma EPn}{V_A}$$

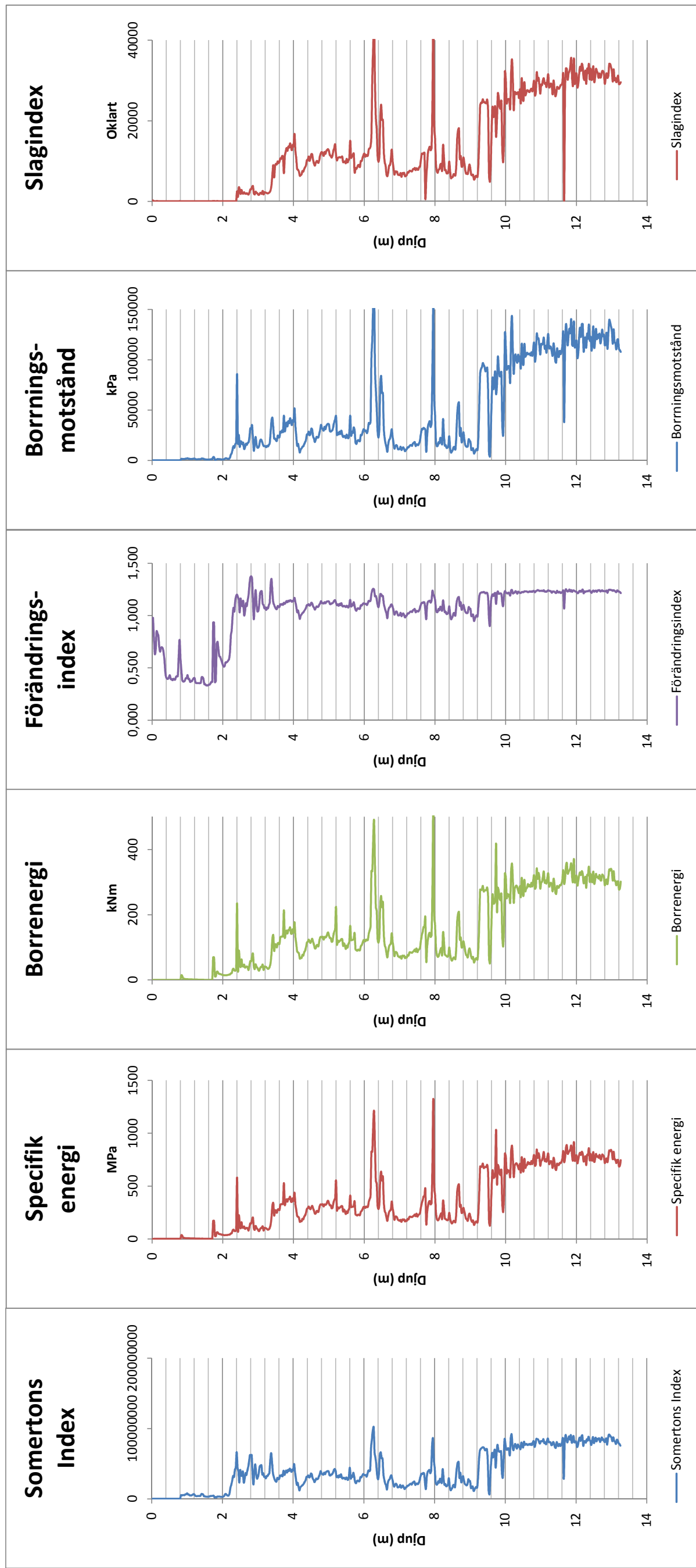
$$E_p = E_{\text{max}} \times \frac{H_A}{H_{A_{\text{max}}}}$$

$$1 = \alpha \times \frac{V_A}{F}$$

$$SE = \frac{T_R \times P_0}{A \times VA}$$

$$P_0 = E_{\text{max}} \times n \times \frac{H_A}{H_{A_{\text{max}}}}$$





$$S_d = k_s \times P_E \sqrt{\frac{V_R}{V_A}}$$

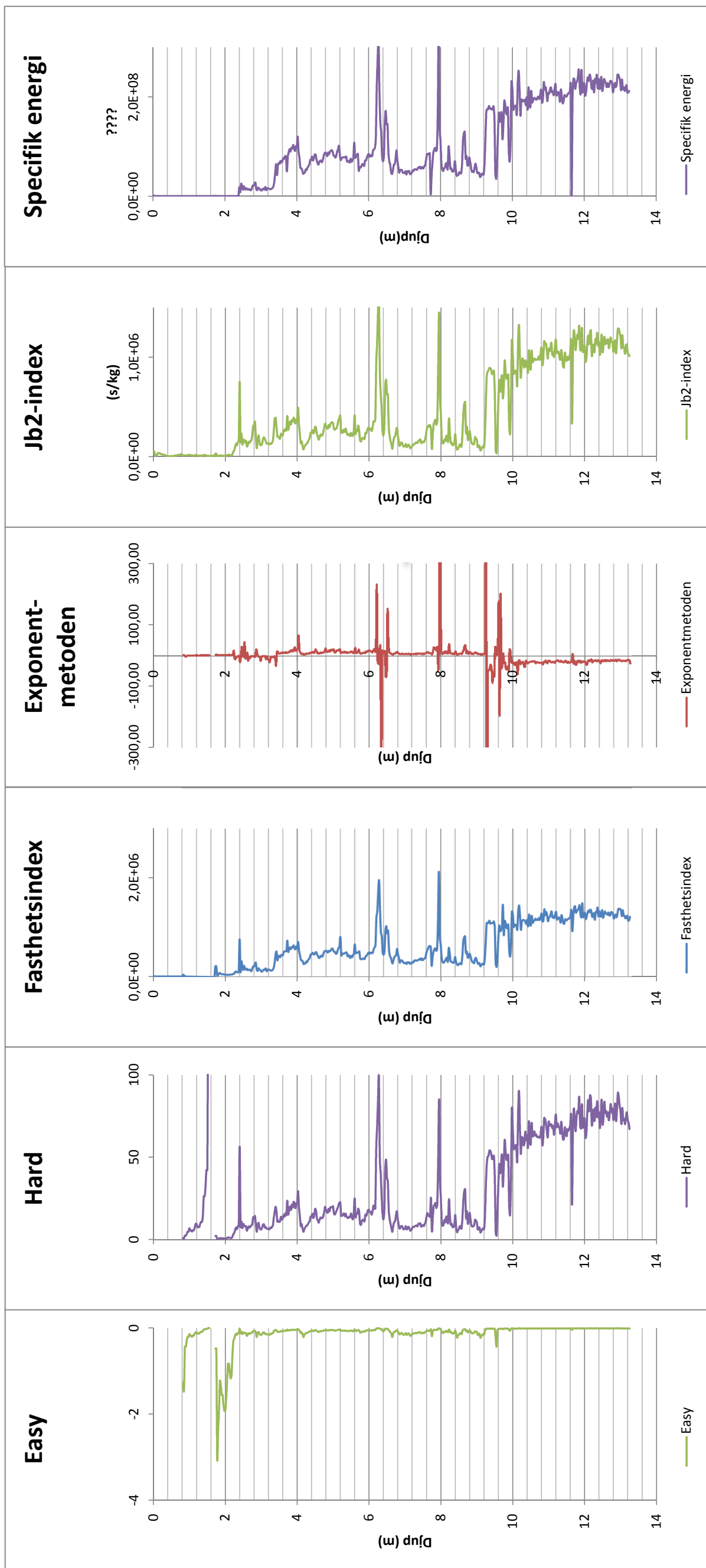
$$e = \left(\frac{F}{A}\right) + \left(\frac{2\pi}{A}\right) \left(\frac{V_R \times C_R}{V_A}\right)$$

$$E = \frac{C_R \times V_R}{V_A}$$

$$A_I = 1 + \left(\frac{P_E}{P_{max}}\right) - \left(\frac{V_A}{V_{max}}\right)$$

$$R_I = k \times \frac{F \times V_R}{V_A \times D}$$

$$P_I = \frac{P_P}{V_A} \times \left(\frac{D}{100}\right)^{1.5}$$



$$\Gamma_{\text{easy}} = \Gamma_v \times \Gamma_f$$

$$\Gamma_v = \frac{V_A}{V_R \times D} \quad \Gamma_f = \left(\frac{F}{C_R/D} \right)$$

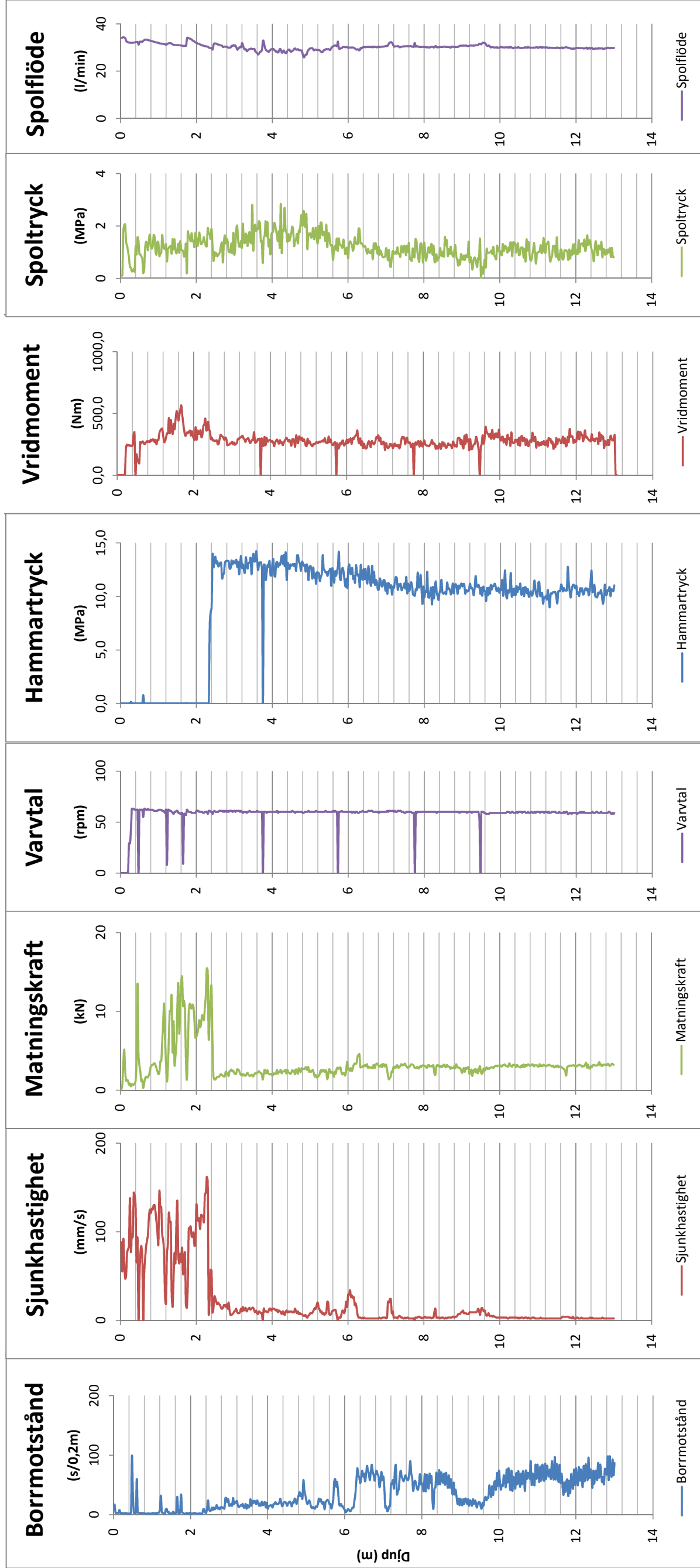
$$\Gamma_{\text{hard}} = -1/\Gamma_{\text{easy}}$$

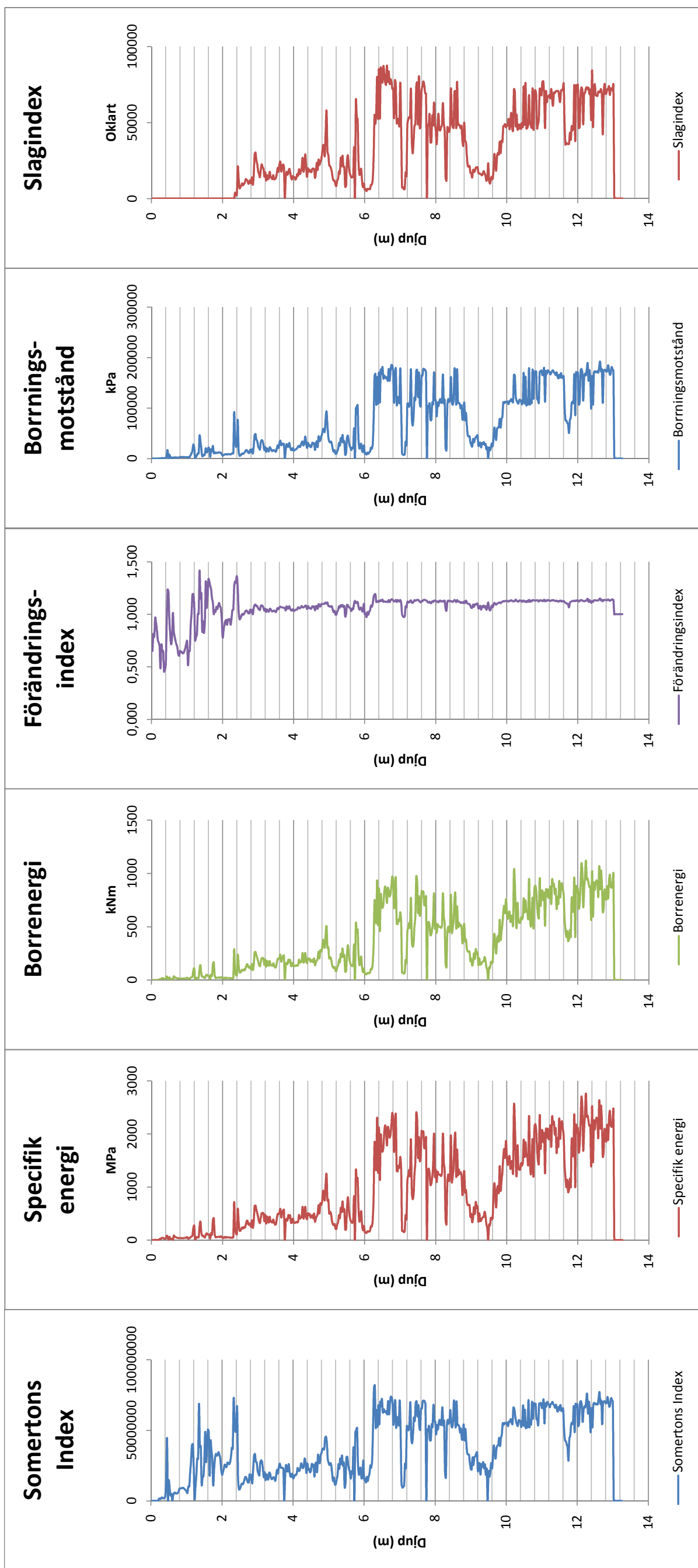
$$R_f = k_0 \times \frac{\alpha FVA + \beta 2\pi CRVR + \gamma EPn}{V_A}$$

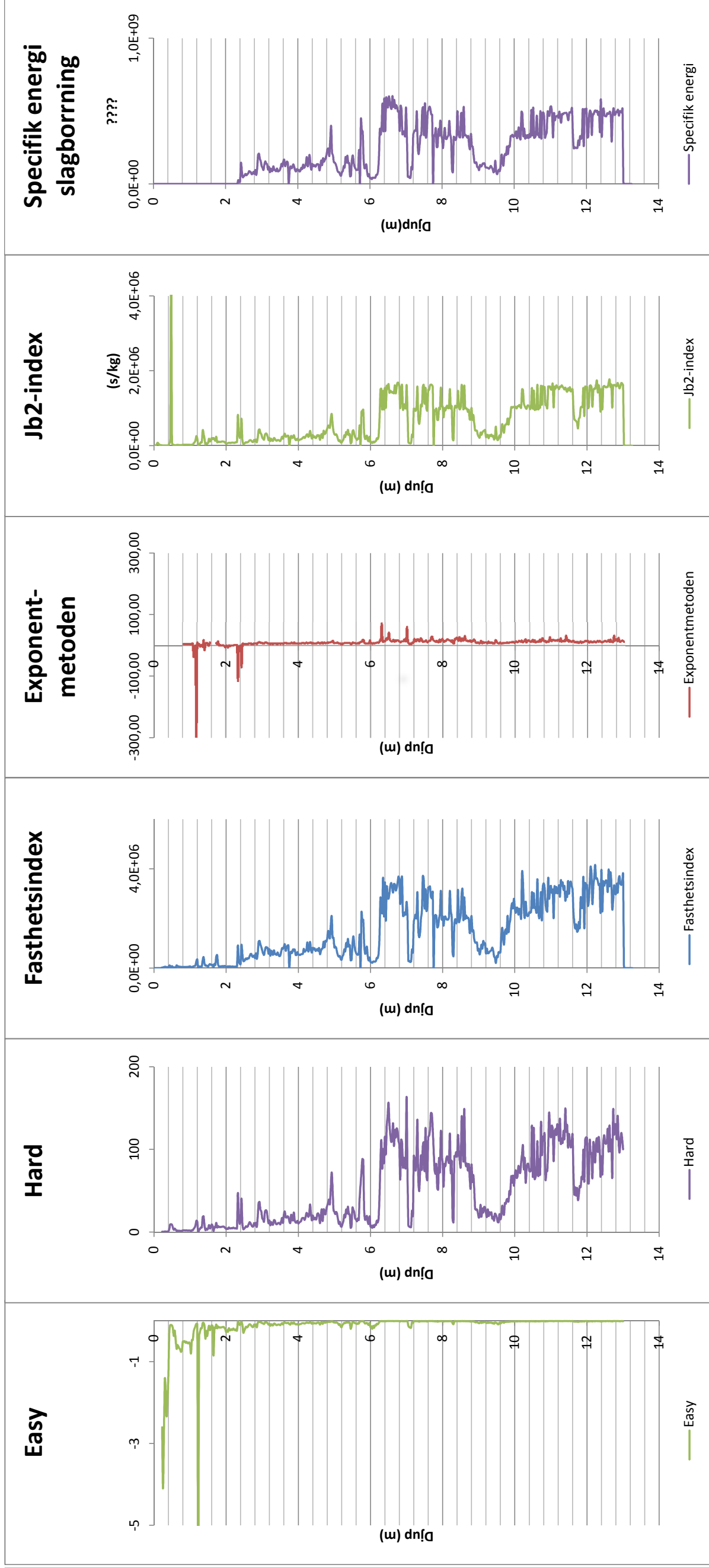
$$E_p = E_{\text{max}} \times \frac{H_A}{H_{\text{Amax}}}$$

$$SE = \frac{T_R \times P_0}{A \times VA}$$

$$P_0 = E_{\text{max}} \times n \times \frac{H_A}{H_{\text{Amax}}}$$







$$\Gamma_{\text{easy}} = \Gamma_v \times \Gamma_f$$

$$\Gamma_v = \frac{V_A}{V_R \times D} \quad \Gamma_f = \left(\frac{F}{C_R/D} \right)$$

$$\Gamma_{\text{hard}} = -1/\Gamma_{\text{easy}}$$

$$R_f = k_0 \times \frac{\alpha FVA + \beta 2\pi CRVR + \gamma EPn}{V_A}$$

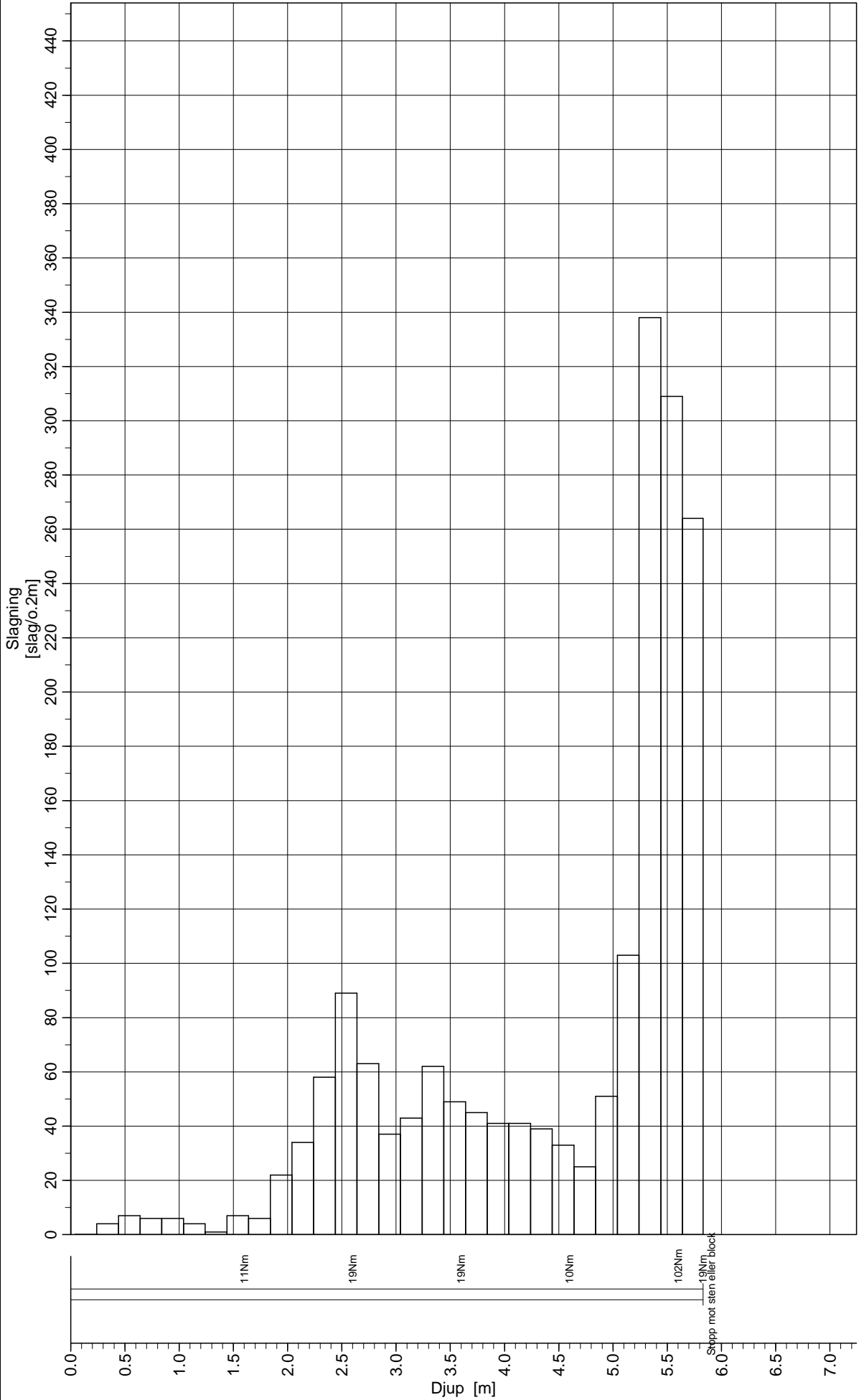
$E = E_{\text{max}} \times H_A$

$$SE = \frac{T_R \times P_0}{A \times VA}$$

$E = E_{\text{max}} \times H_A$

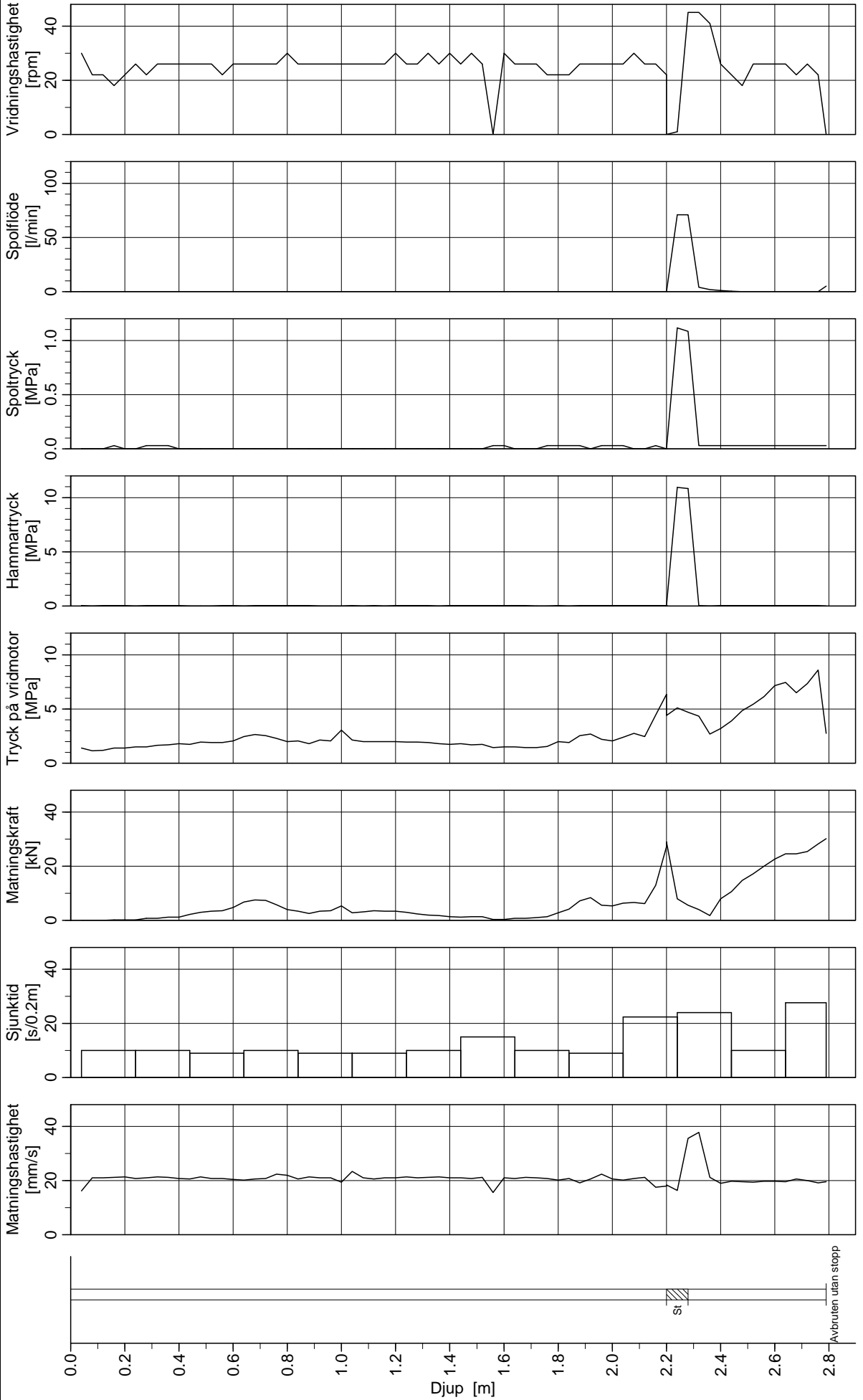
Bilaga 3 - Hejare P6-5

Löpnummer 1 Företag MILJÖGEO AB Företagsnummer P6-5B
 Nr 3718 Starttid 11:23 Förbörningsdjup 0.00 m
 Serienummer 2102 Metod 08-HFA
 Datum 20120621 Objekt nummer Ulricehamn

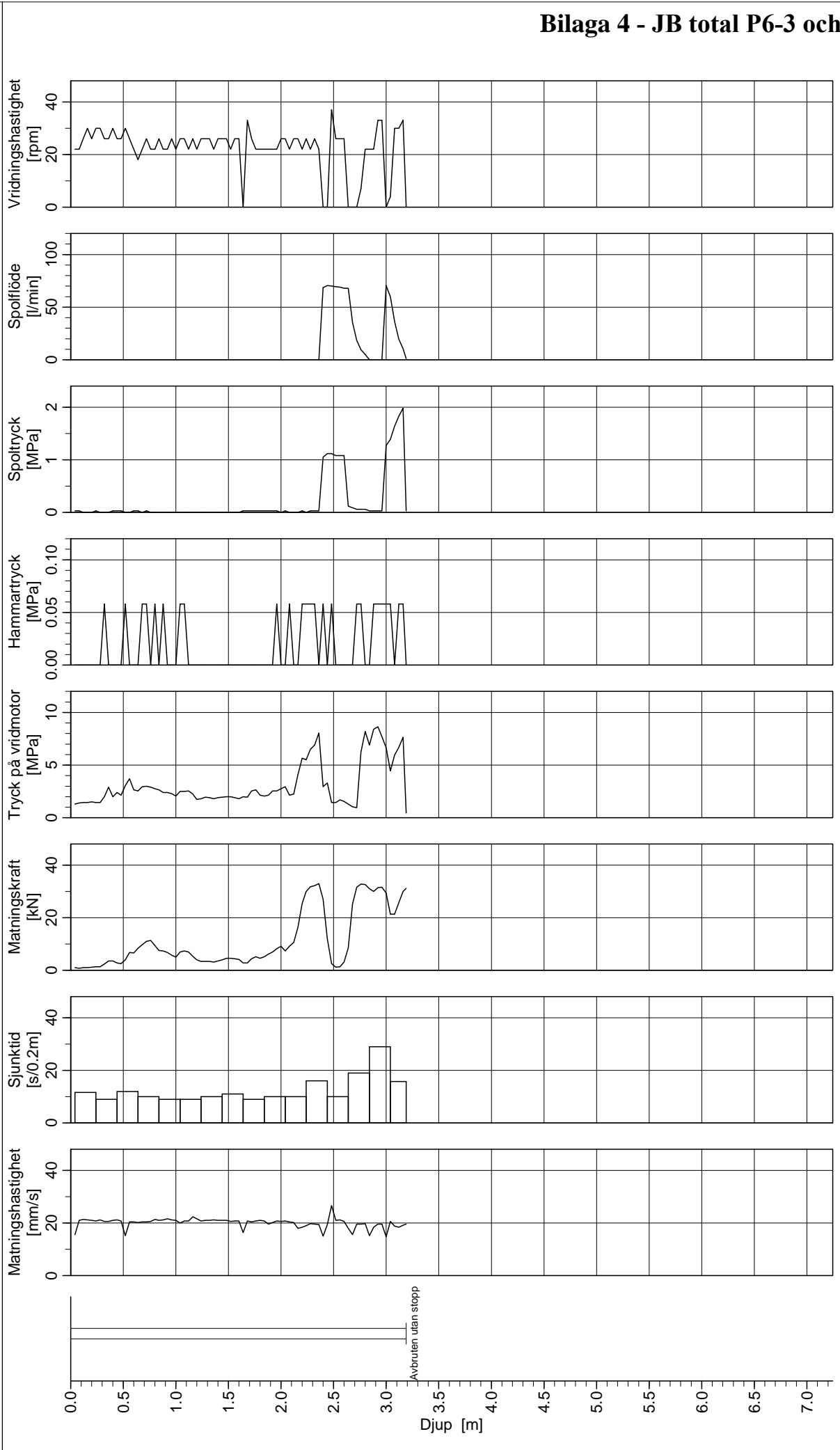


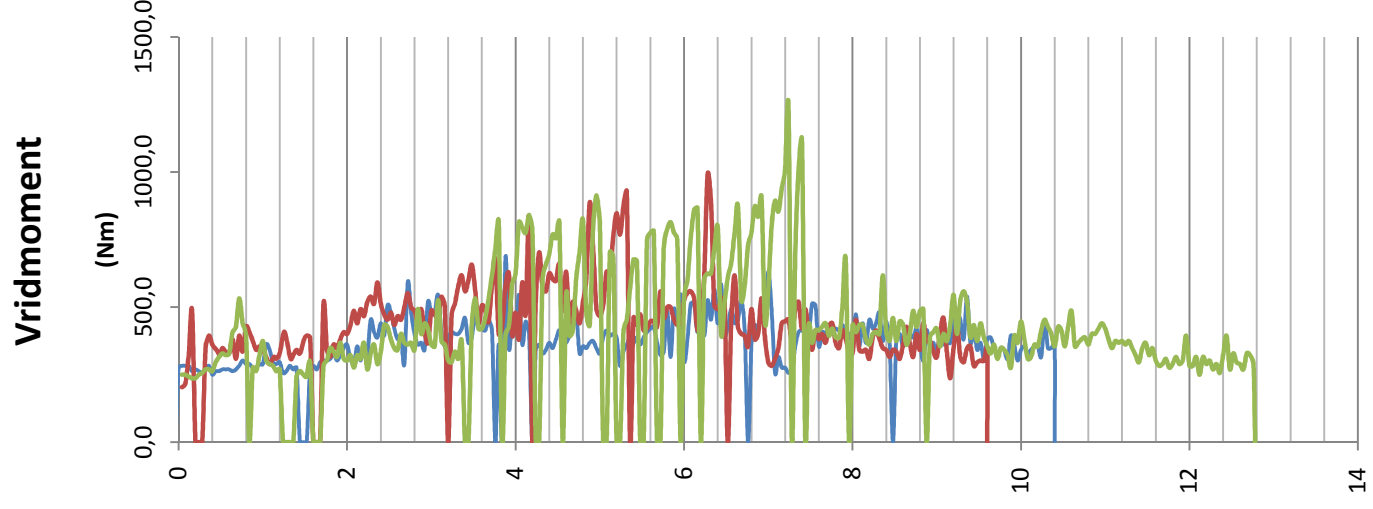
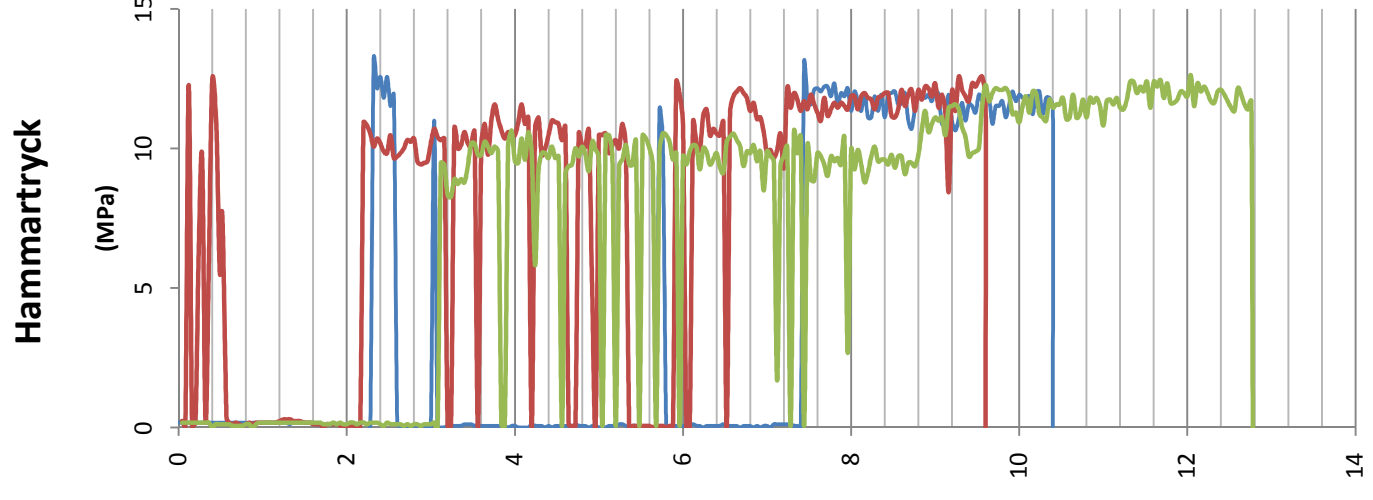
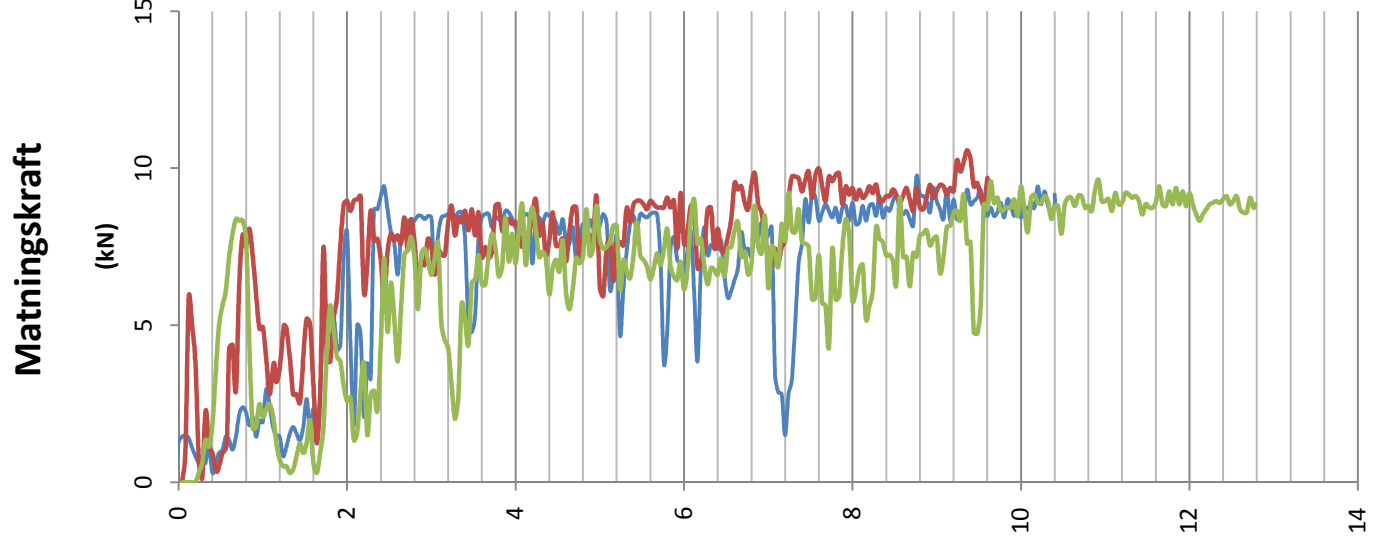
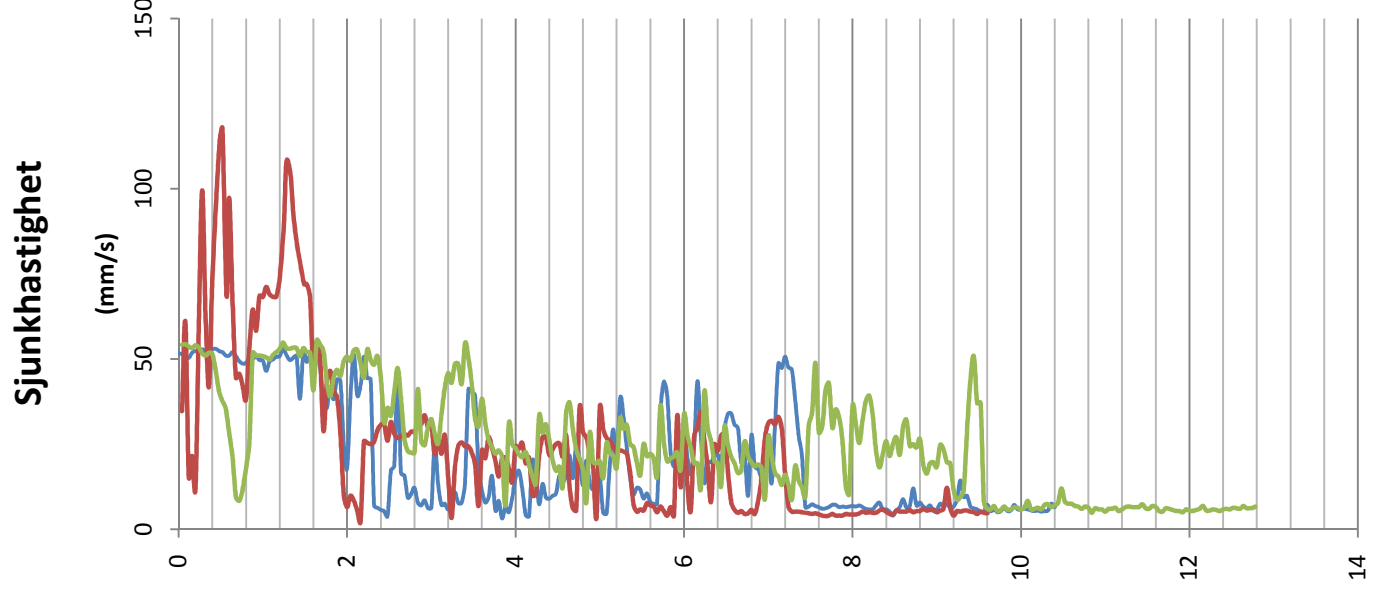
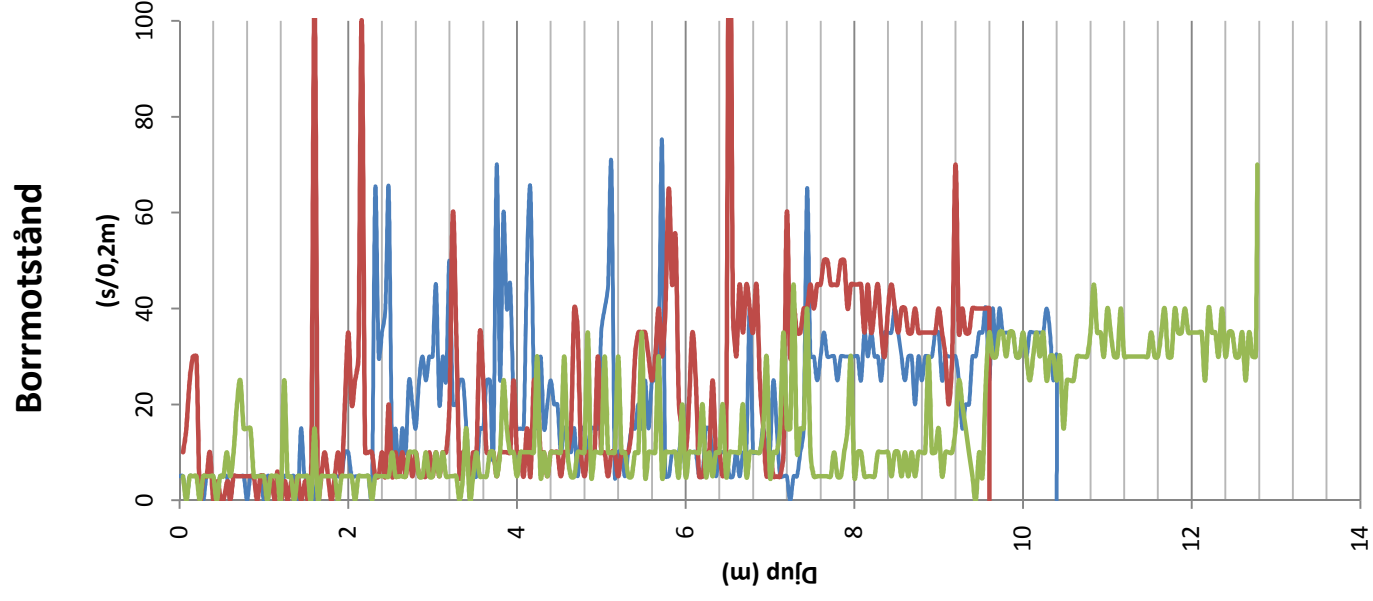
Bilaga 4 - JB total P6-3 och P6-4

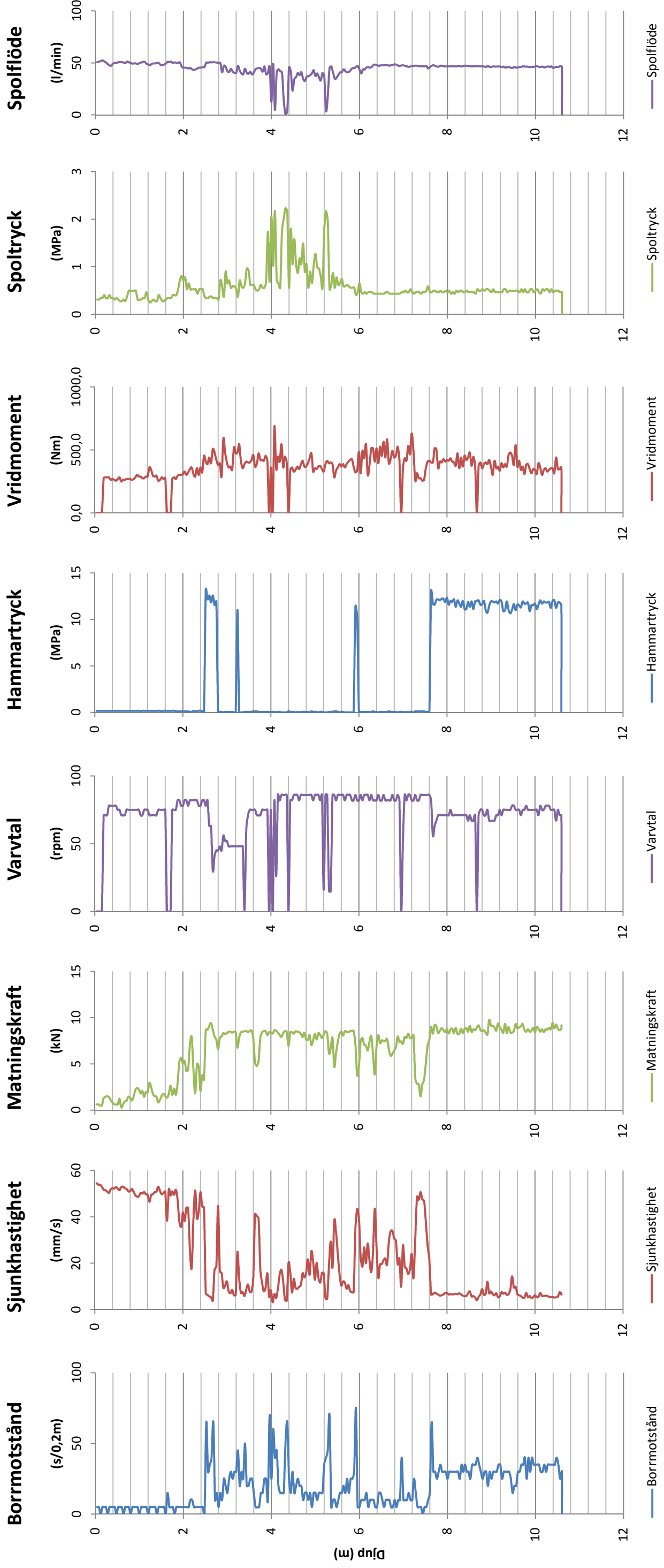
Löpnummer 1 Företag MILJÖGEO AB Företagsnummer P6-3
 Nr 3715 Starttid 16:08 Förborringsdjup 0.00 m
 Serienummer 2102 Metod 72
 Datum 20120620 Objekt nummer Ulricehamn



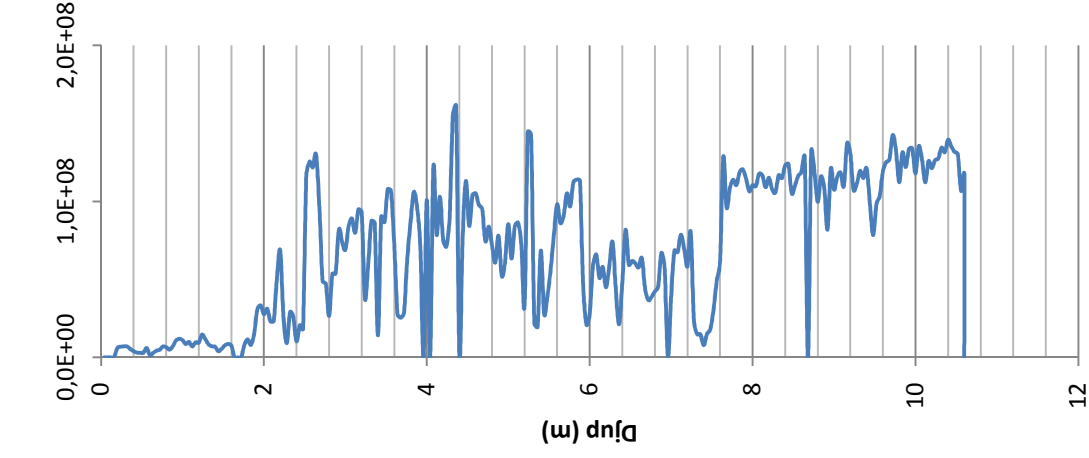
Löpnummer 1 Företag MILJÖGEO AB Företagsnummer P6-4
 Nr 3714 Starttid 15:47 Förbörningsdjup 0.00 m
 Serienummer 2102 Metod 72
 Datum 20120620 Objekt nummer Ulricehamn





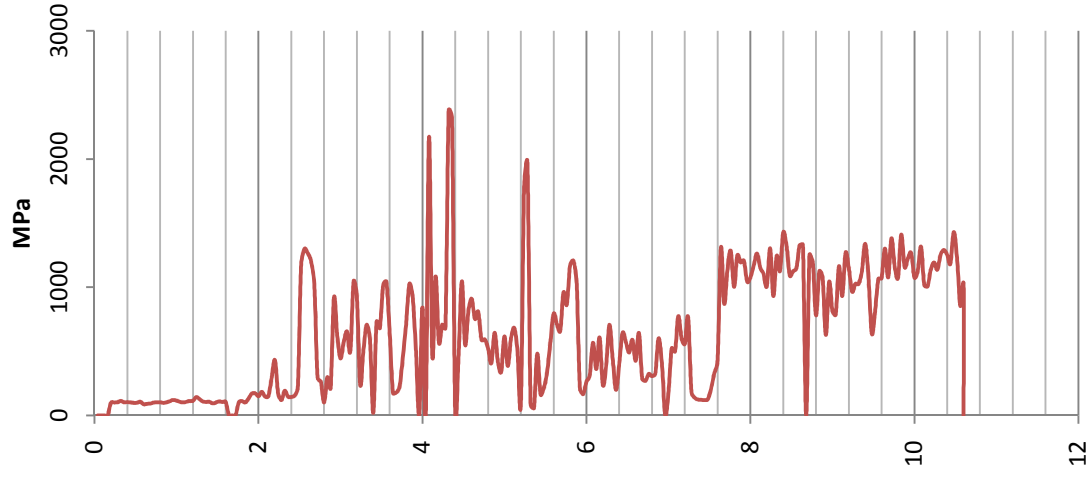


Somertons Index



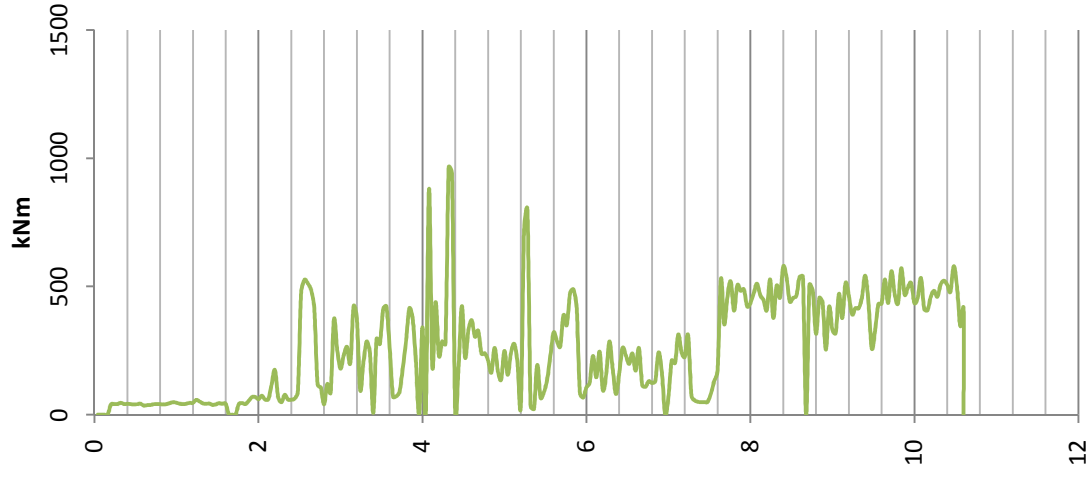
$$S_d = k_s \times P_E \sqrt{\frac{V_R}{V_A}}$$

Specifik energi



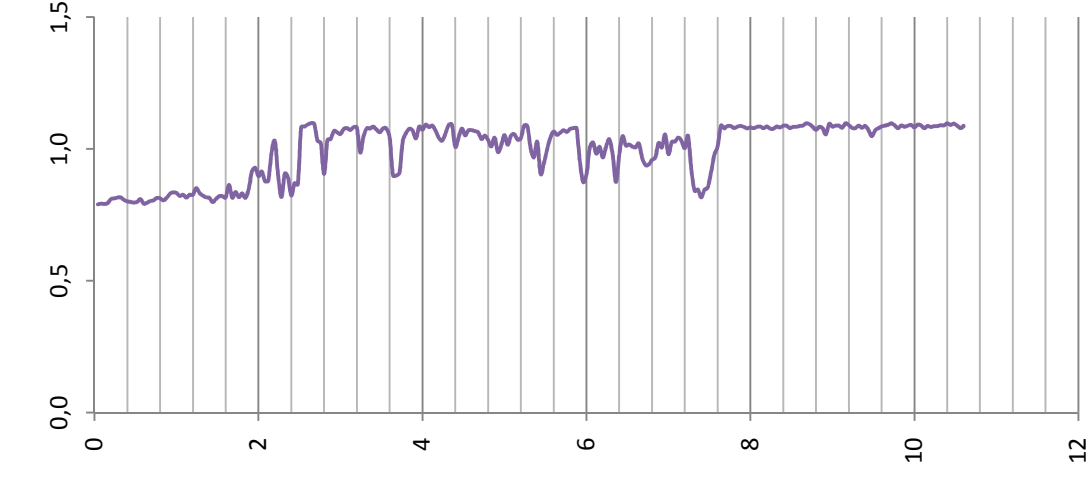
$$e = \left(\frac{F}{A}\right) + \left(\frac{2\pi}{A}\right) \left(\frac{V_R \times C_R}{V_A}\right)$$

Borrenergi



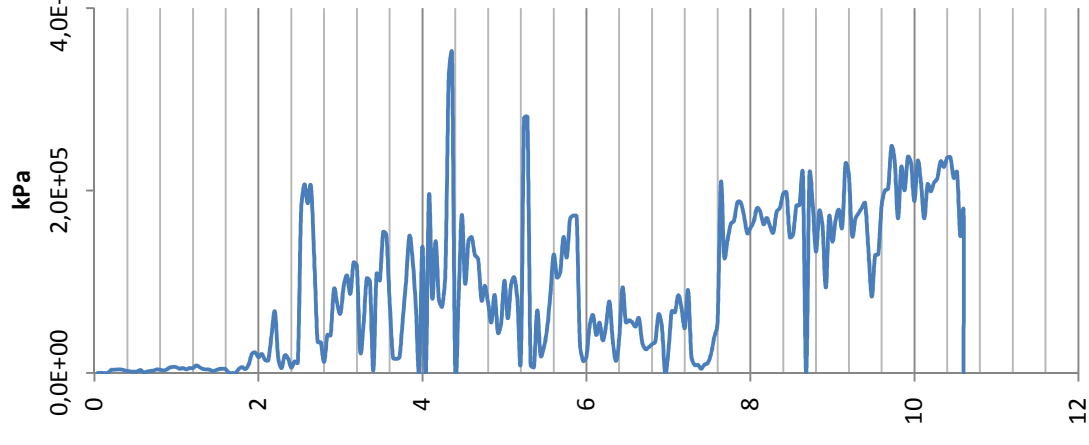
$$E = \frac{C_R \times V_R}{V_A}$$

Förändrings-index



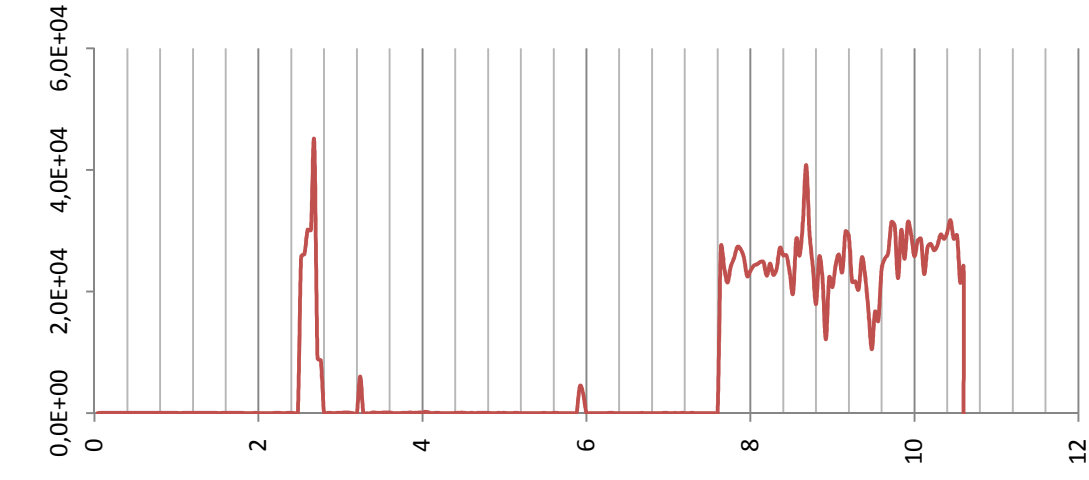
$$A_I = 1 + \left(\frac{P_E}{P_{max}}\right) - \left(\frac{V_A}{V_{max}}\right)$$

Borrningsmotstånd

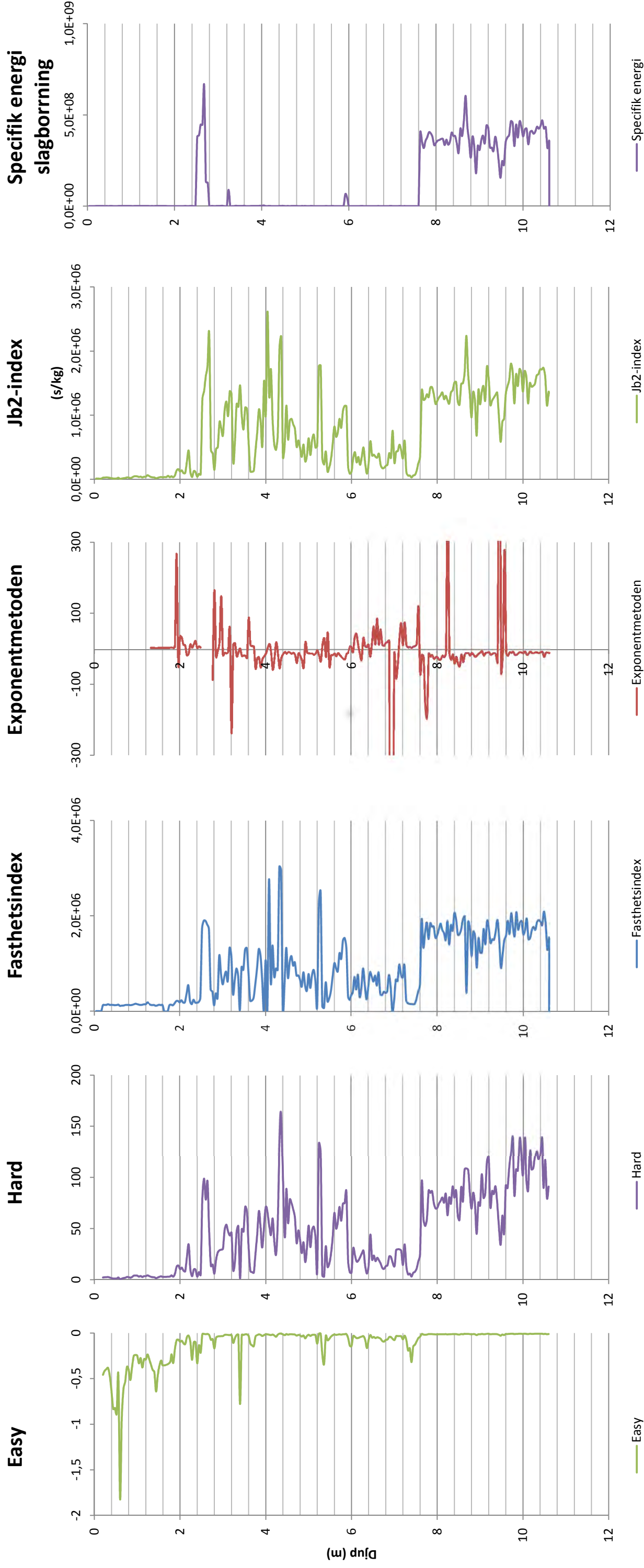


$$R_f = k \times \frac{F \times V_R}{V_A \times D}$$

Slagindex



$$P_i = \frac{P_p}{V_A} \times \left(\frac{D}{100}\right)^{1,5}$$



$$\Gamma_{\text{easy}} = \Gamma_v \times \Gamma_f$$

$$\Gamma_v = \frac{V_A}{V_R \times D} \quad \Gamma_f = \left(\frac{F}{C_R/D} \right)$$

$$\Gamma_{\text{hard}} = -1/\Gamma_{\text{easy}}$$

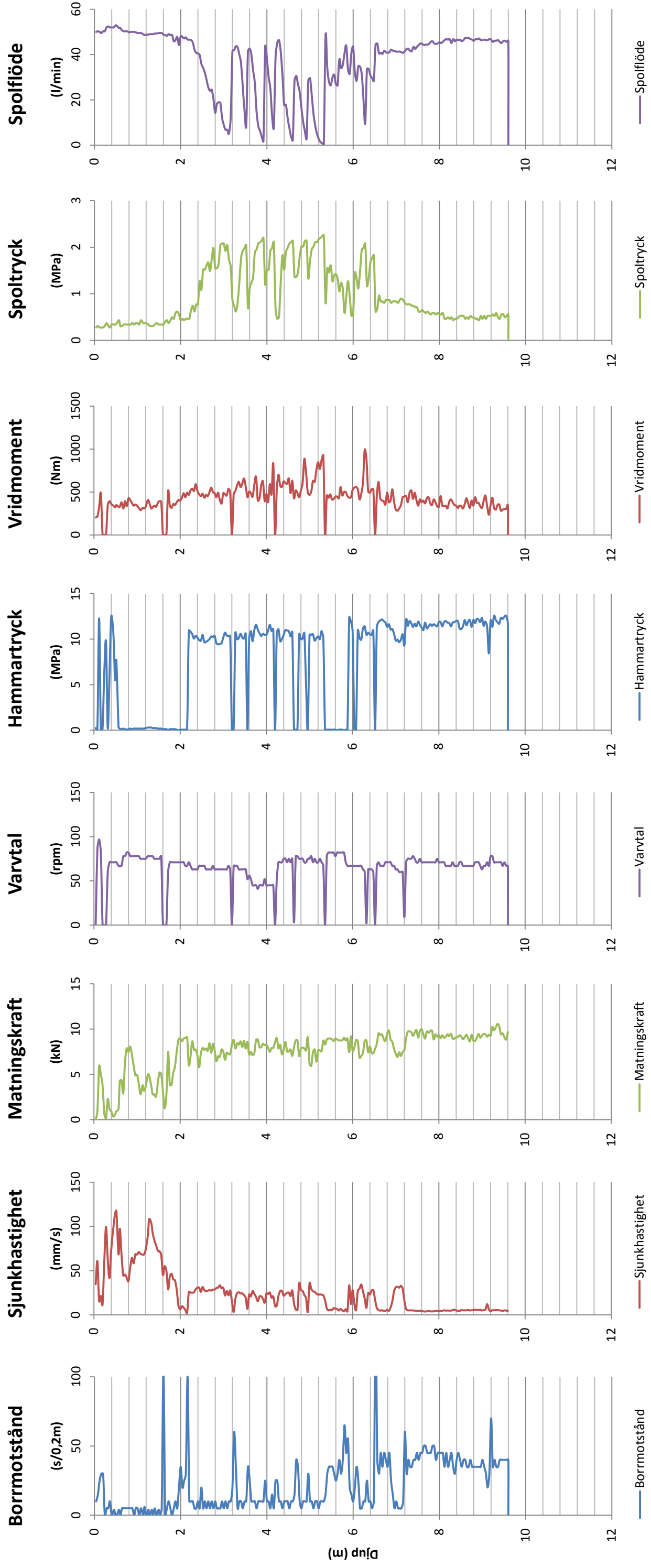
$$R_f = k_0 \times \frac{\alpha FVA + \beta 2\pi CRVR + \gamma EPn}{V_A}$$

$$E_p = E_{\text{max}} \times \frac{H_A}{H_{A_{\text{max}}}}$$

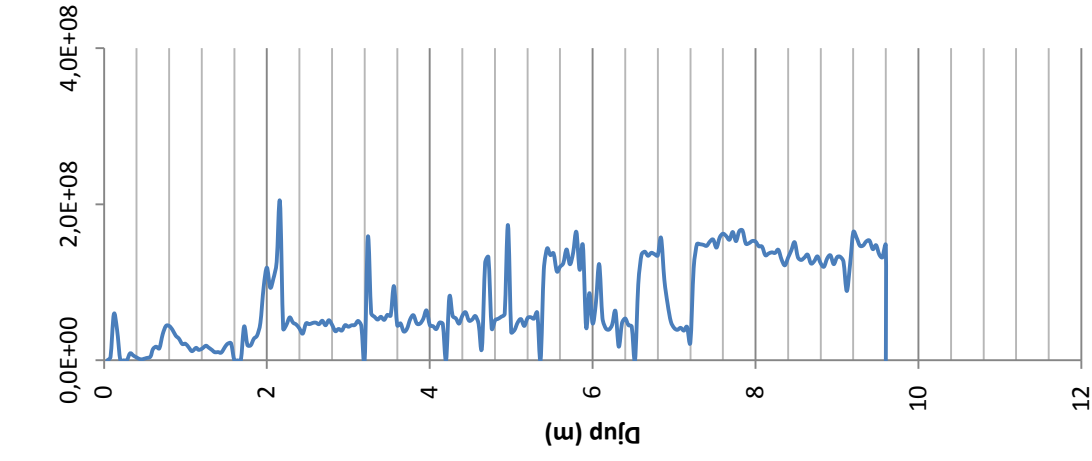
$$SE = \frac{T_R \times P_0}{A \times VA}$$

$$P_0 = E_{\text{max}} \times n \times \frac{H_A}{H_{A_{\text{max}}}}$$

$$1 = \alpha \times \frac{V_A}{F}$$

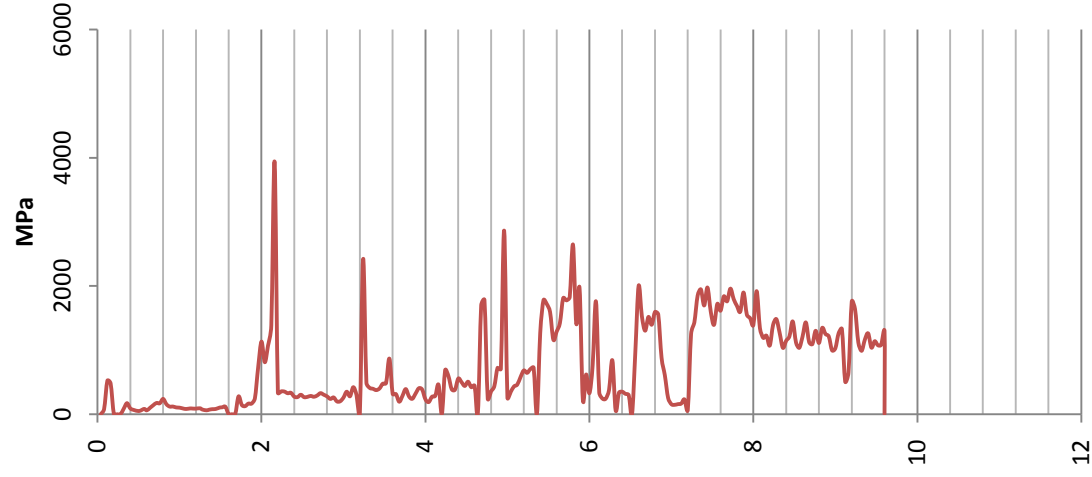


Somertons Index



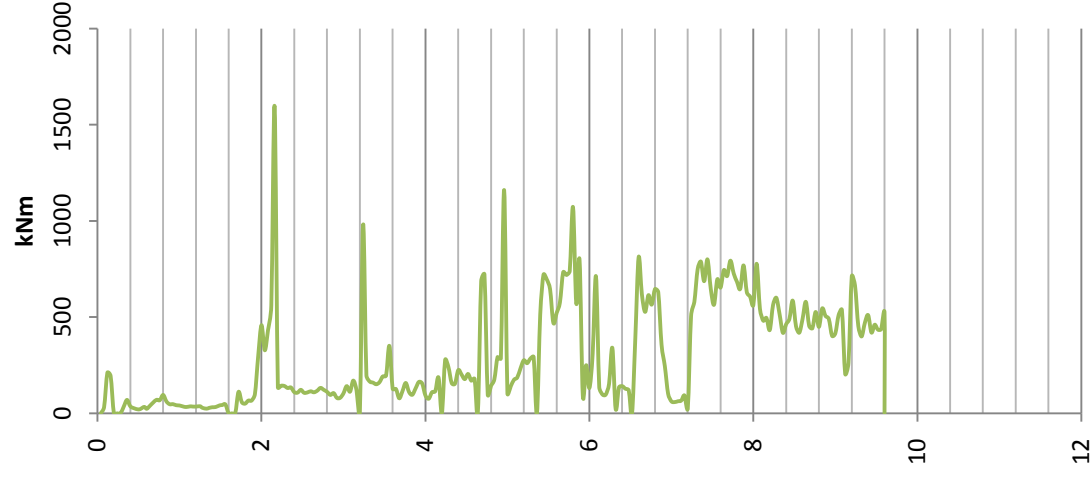
$$S_d = k_s \times P_E \sqrt{\frac{V_R}{V_A}}$$

Specifik energi



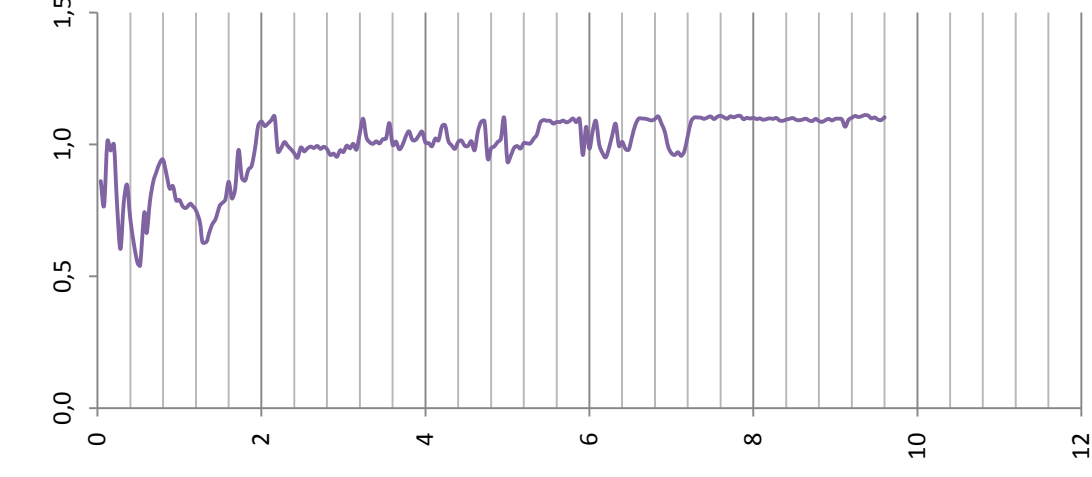
$$e = \left(\frac{F}{A}\right) + \left(\frac{2\pi}{A}\right) \left(\frac{V_R \times C_R}{V_A}\right)$$

Borrenergi



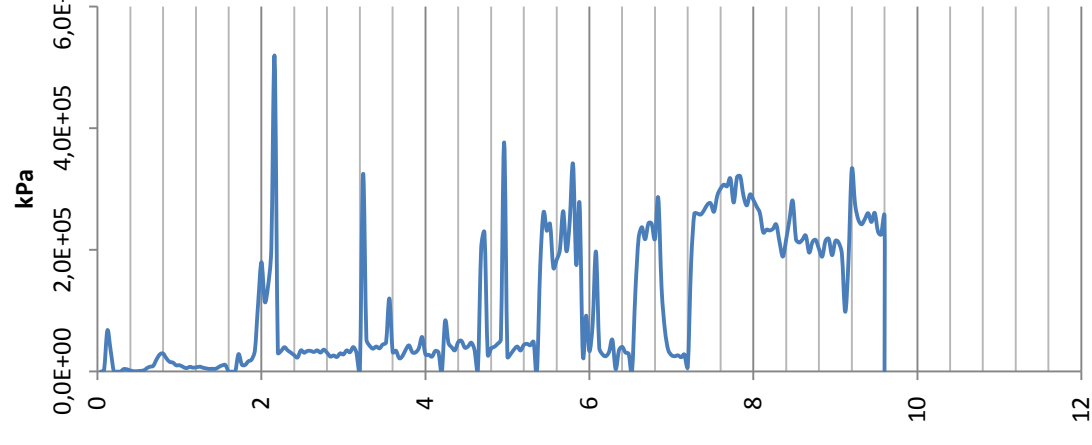
$$E = \frac{C_R \times V_R}{V_A}$$

Förändringsindex



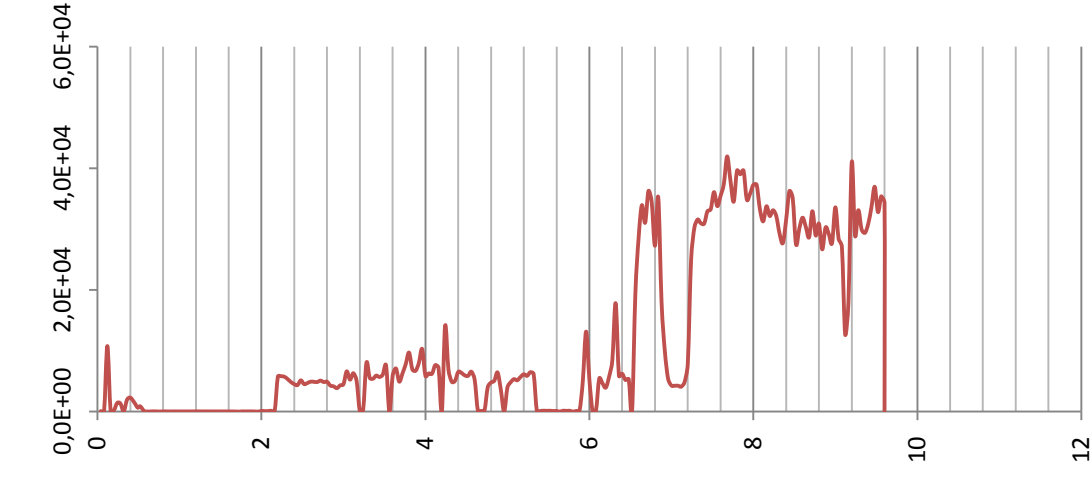
$$A_1 = 1 + \left(\frac{P_E}{P_{max}}\right) - \left(\frac{V_A}{V_{max}}\right)$$

Borrningsmotstånd

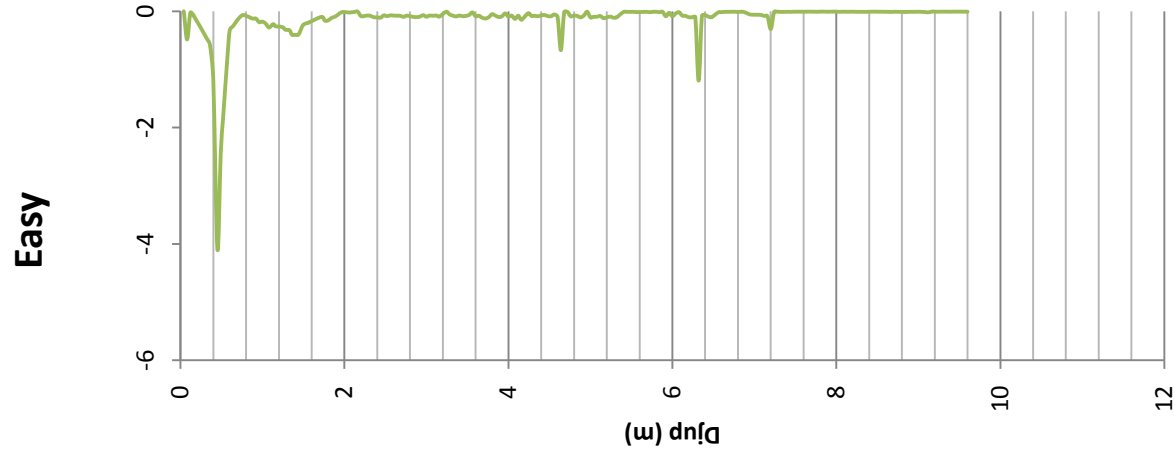


$$R_f = k \times \frac{F \times V_R}{V_A \times D}$$

Slagindex

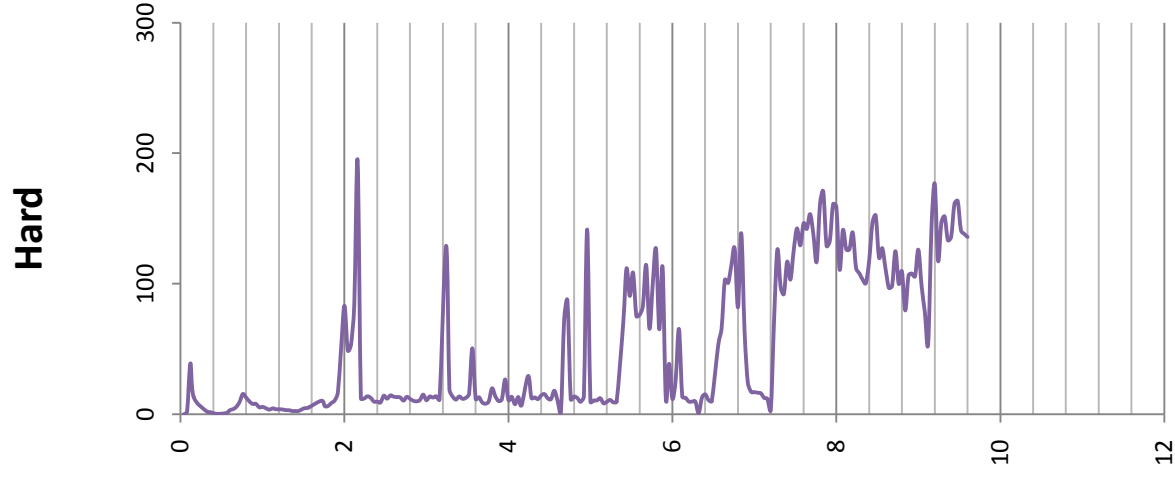


$$P_i = \frac{P_p}{V_A} \times \left(\frac{D}{100}\right)^{1,5}$$

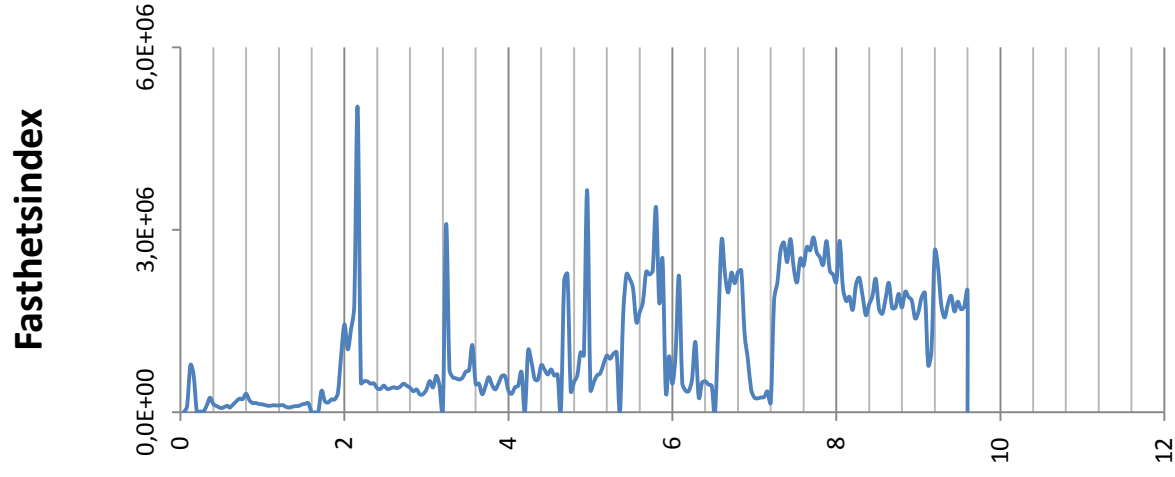


$$\Gamma_{\text{easy}} = \Gamma_v \times \Gamma_f$$

$$\Gamma_v = \frac{V_A}{V_R \times D} \quad \Gamma_f = \left(\frac{F}{C_R/D} \right)$$

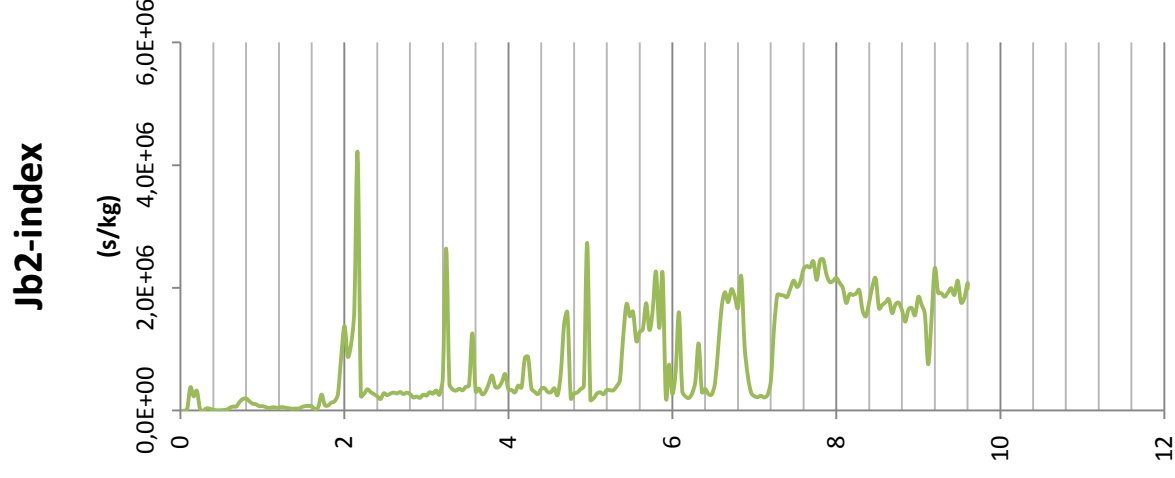
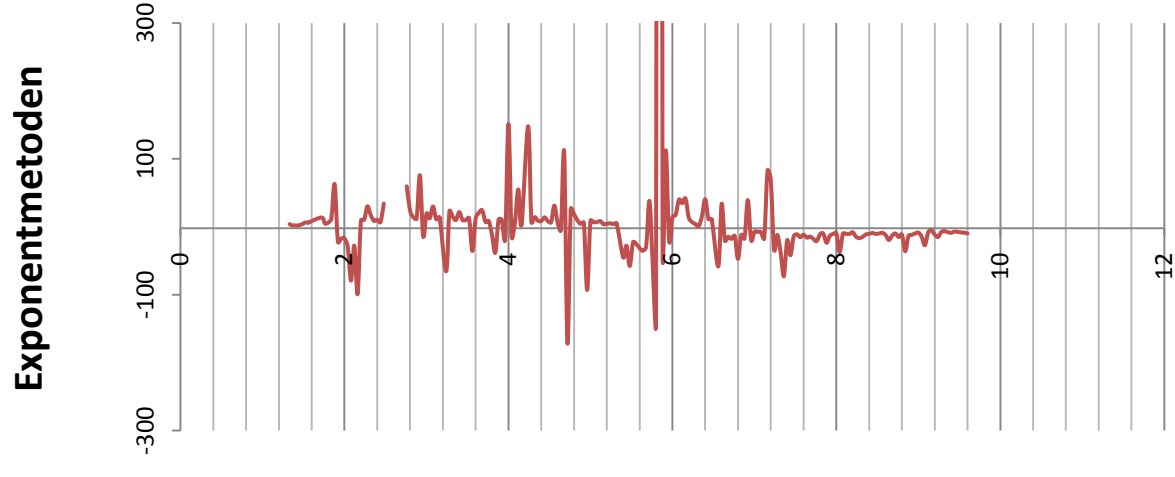


$$\Gamma_{\text{hard}} = -1/\Gamma_{\text{easy}}$$

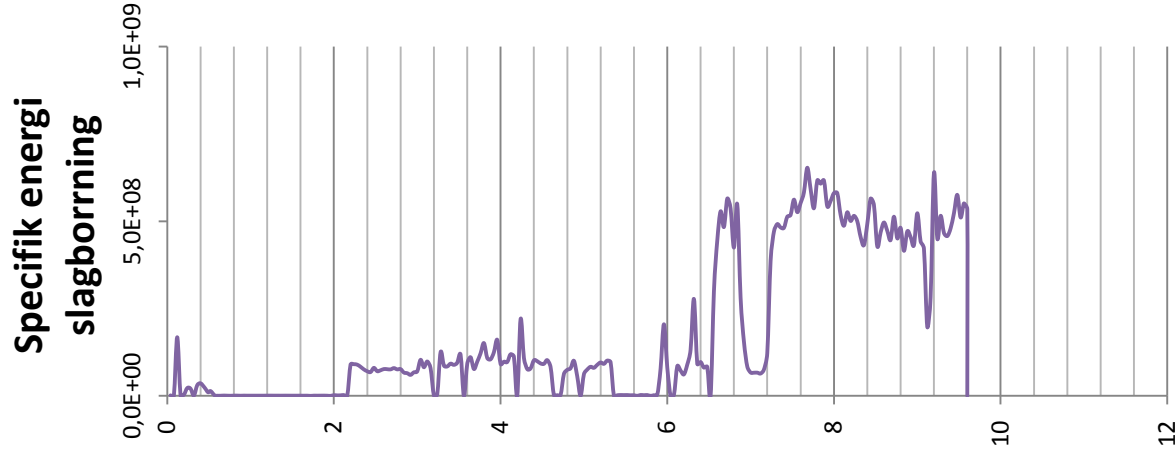


$$R_f = k_0 \times \frac{\alpha FVA + \beta 2\pi CRVR + \gamma EPn}{V_A}$$

$$E_p = E_{\text{max}} \times \frac{H_A}{H_{A_{\text{max}}}}$$

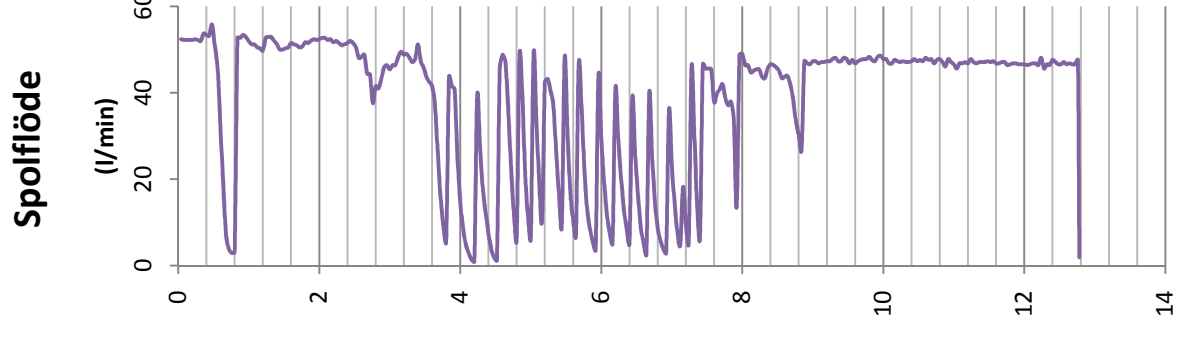
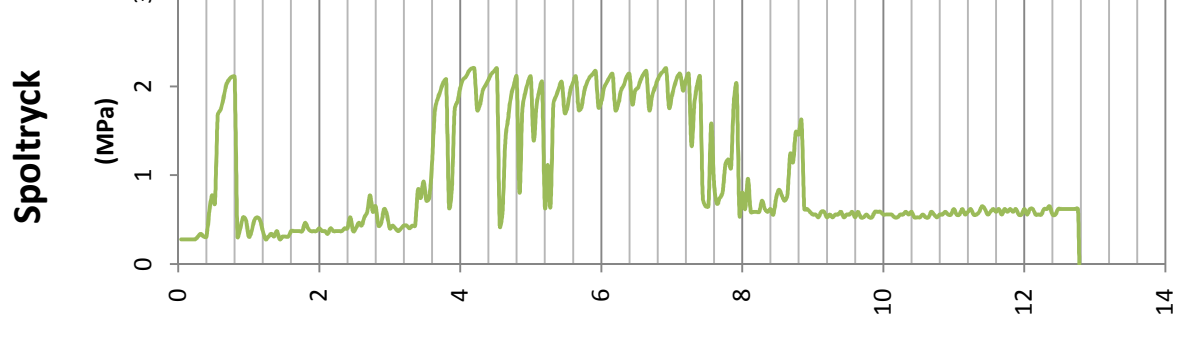
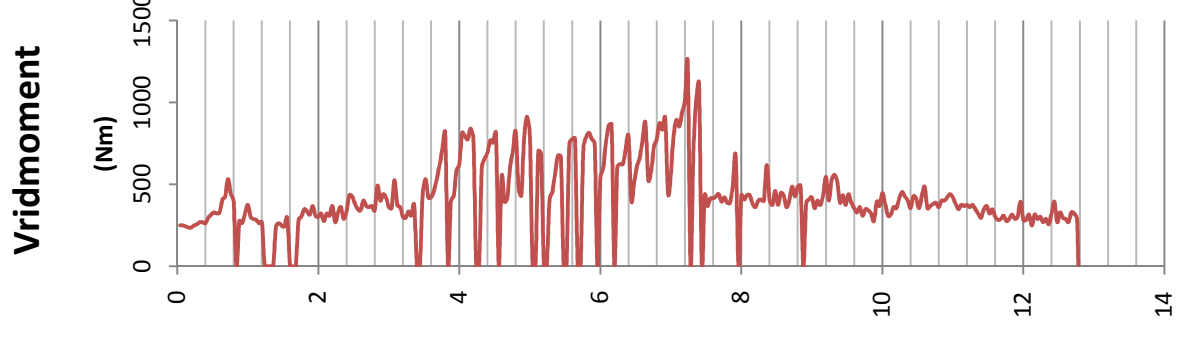
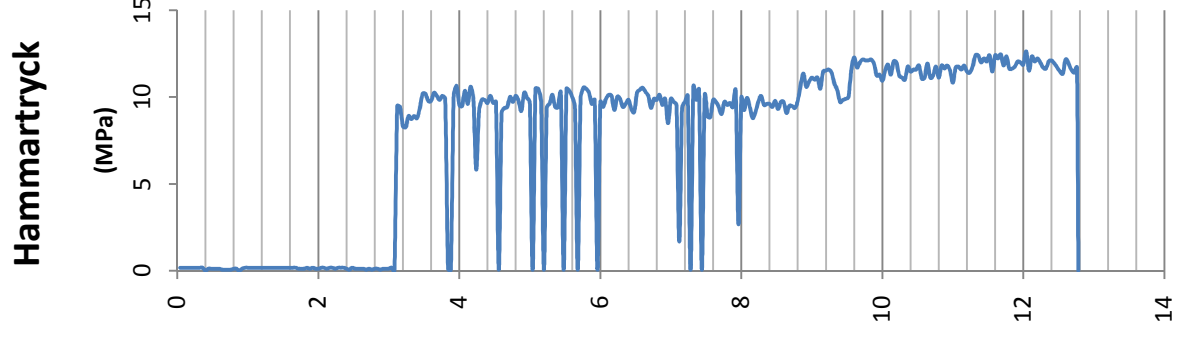
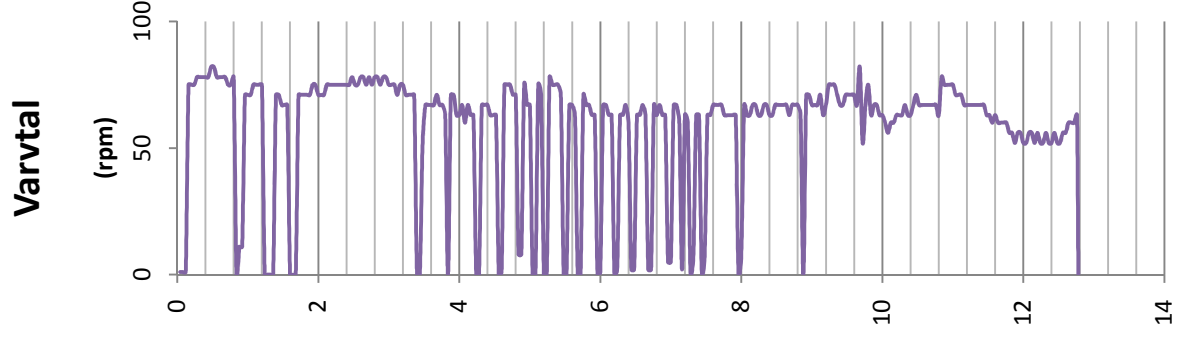
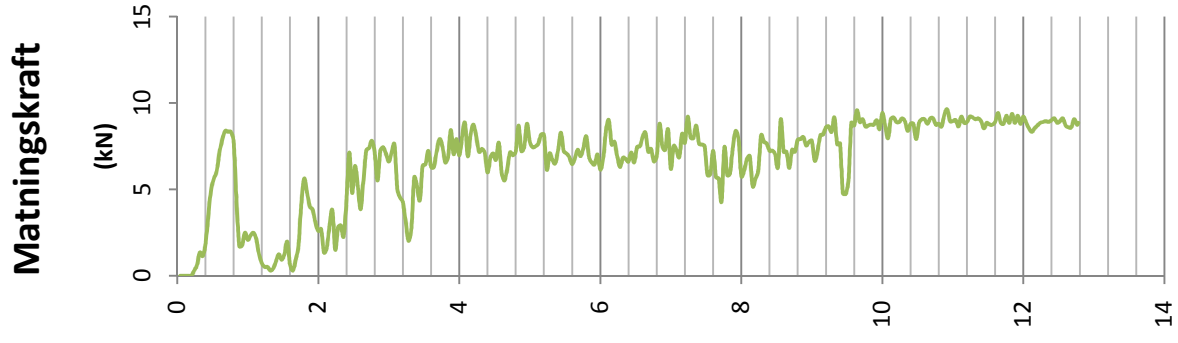
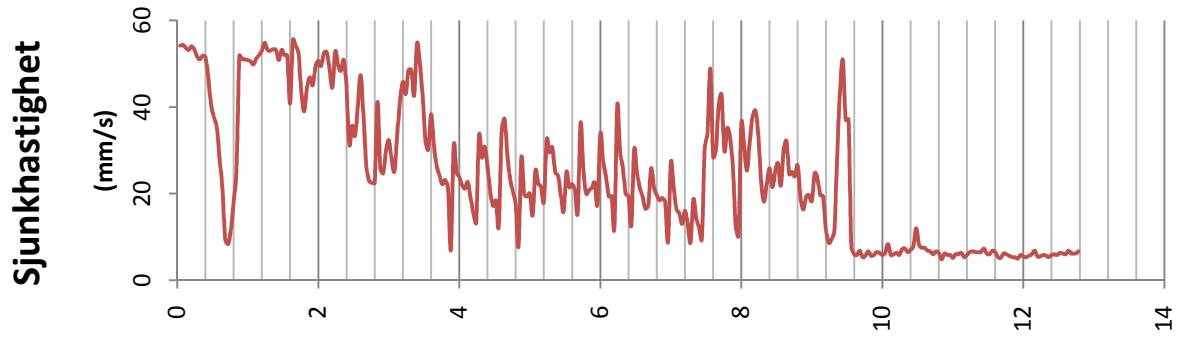
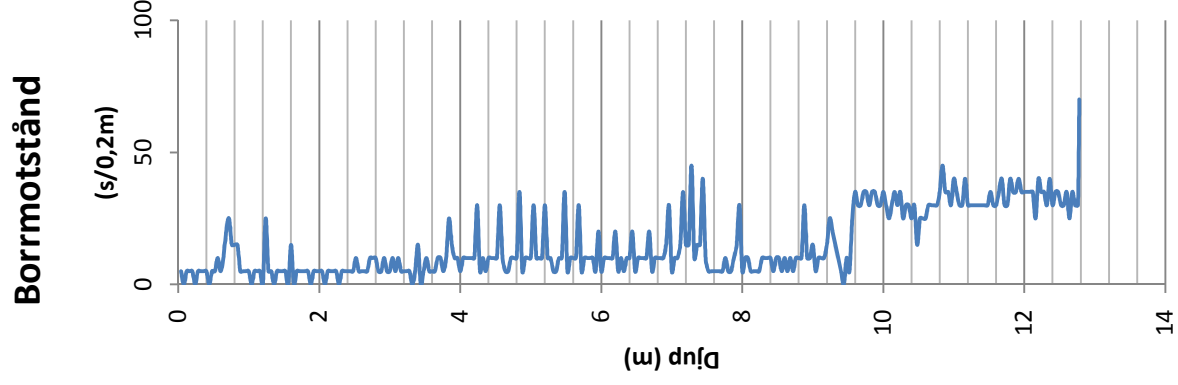


$$1 = \alpha \times \frac{V_A}{F}$$

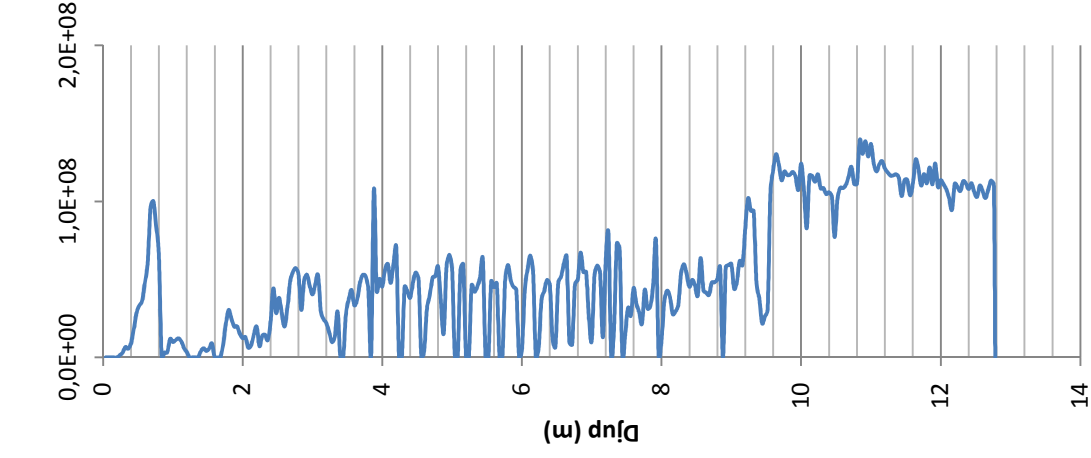


$$SE = \frac{T_R \times P_0}{A \times VA}$$

$$P_0 = E_{\text{max}} \times n \times \frac{H_A}{H_{A_{\text{max}}}}$$

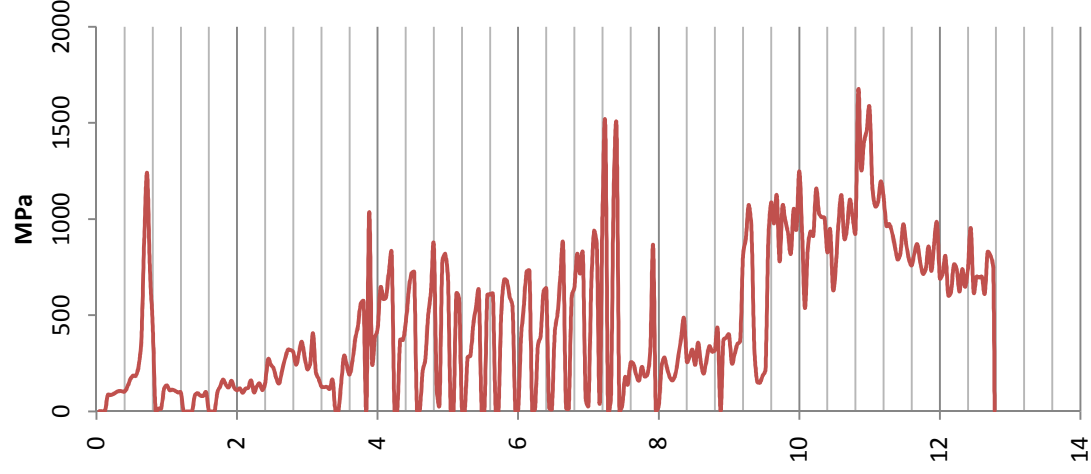


Somertons Index



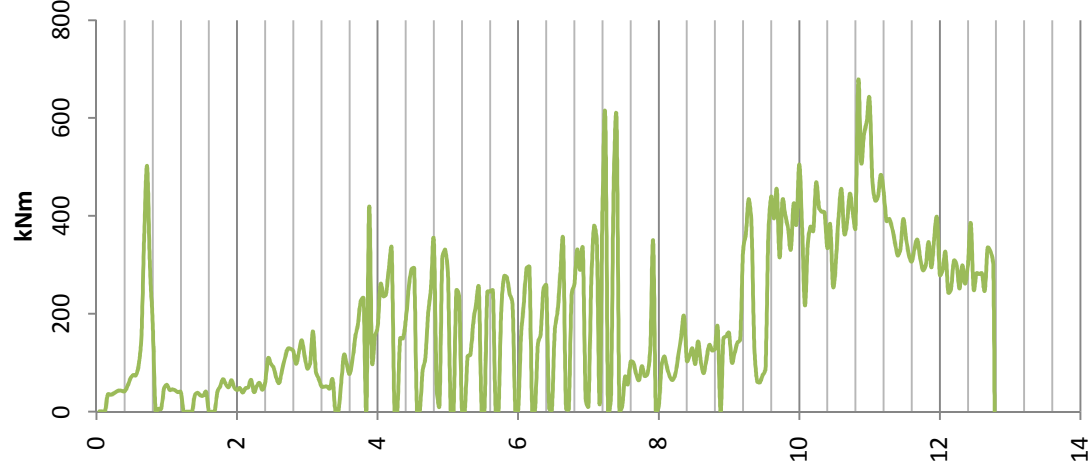
$$S_d = k_s \times P_E \sqrt{\frac{V_R}{V_A}}$$

Specifik energi



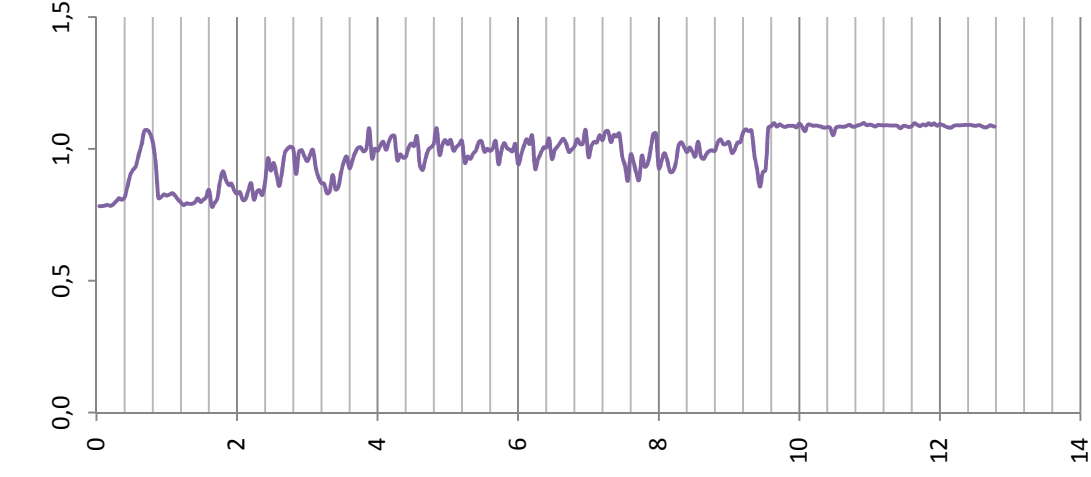
$$e = \left(\frac{F}{A}\right) + \left(\frac{2\pi}{A}\right) \left(\frac{V_R \times C_R}{V_A}\right)$$

Borrenergi



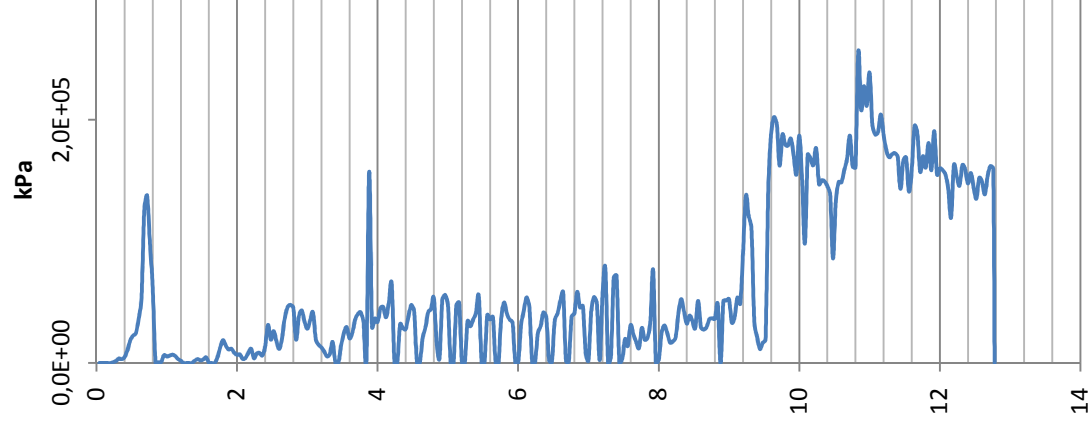
$$E = \frac{C_R \times V_R}{V_A}$$

Förändringsindex



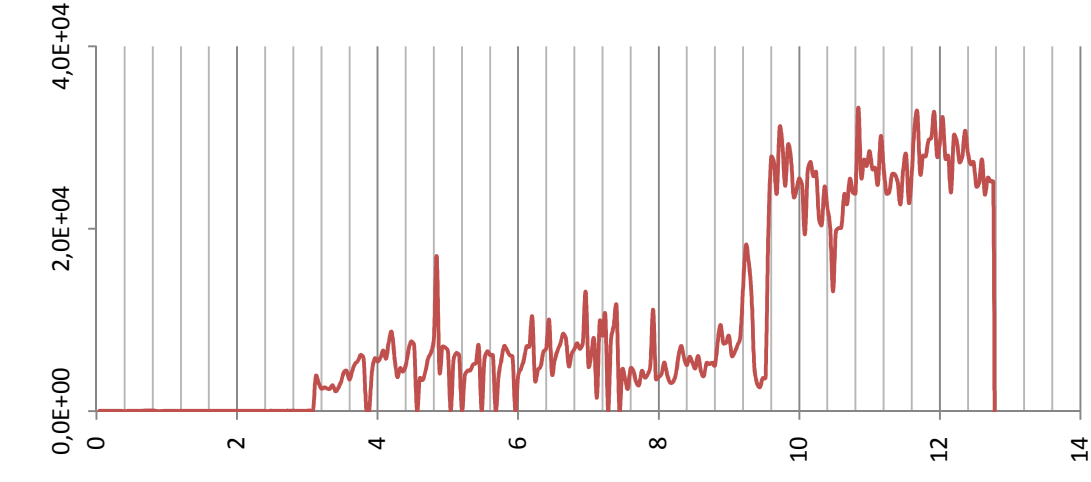
$$A_I = 1 + \left(\frac{P_E}{P_{max}}\right) - \left(\frac{V_A}{V_{max}}\right)$$

Borrningsmotstånd

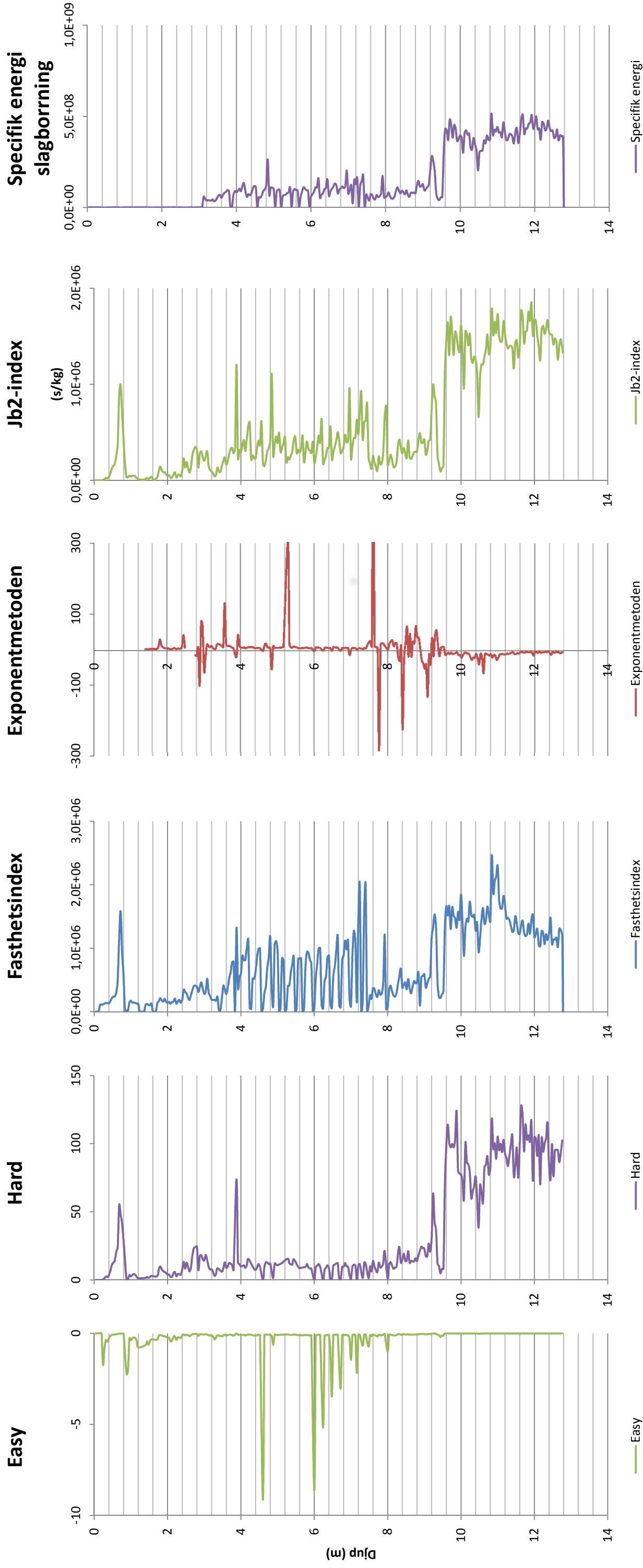


$$R_f = k \times \frac{F \times V_R}{V_A \times D}$$

Slagindex



$$P_i = \frac{P_p}{V_A} \times \left(\frac{D}{100}\right)^{1,5}$$



$$\Gamma_{\text{easy}} = \Gamma_v \times \Gamma_f$$

$$\Gamma_v = \frac{V_A}{V_R \times D} \quad \Gamma_f = \left(\frac{F}{C_R/D} \right)$$

$$\Gamma_{\text{hard}} = -1/\Gamma_{\text{easy}}$$

$$R_f = k_0 \times \frac{\alpha FVA + \beta 2\pi CRVR + \gamma EPn}{V_A}$$

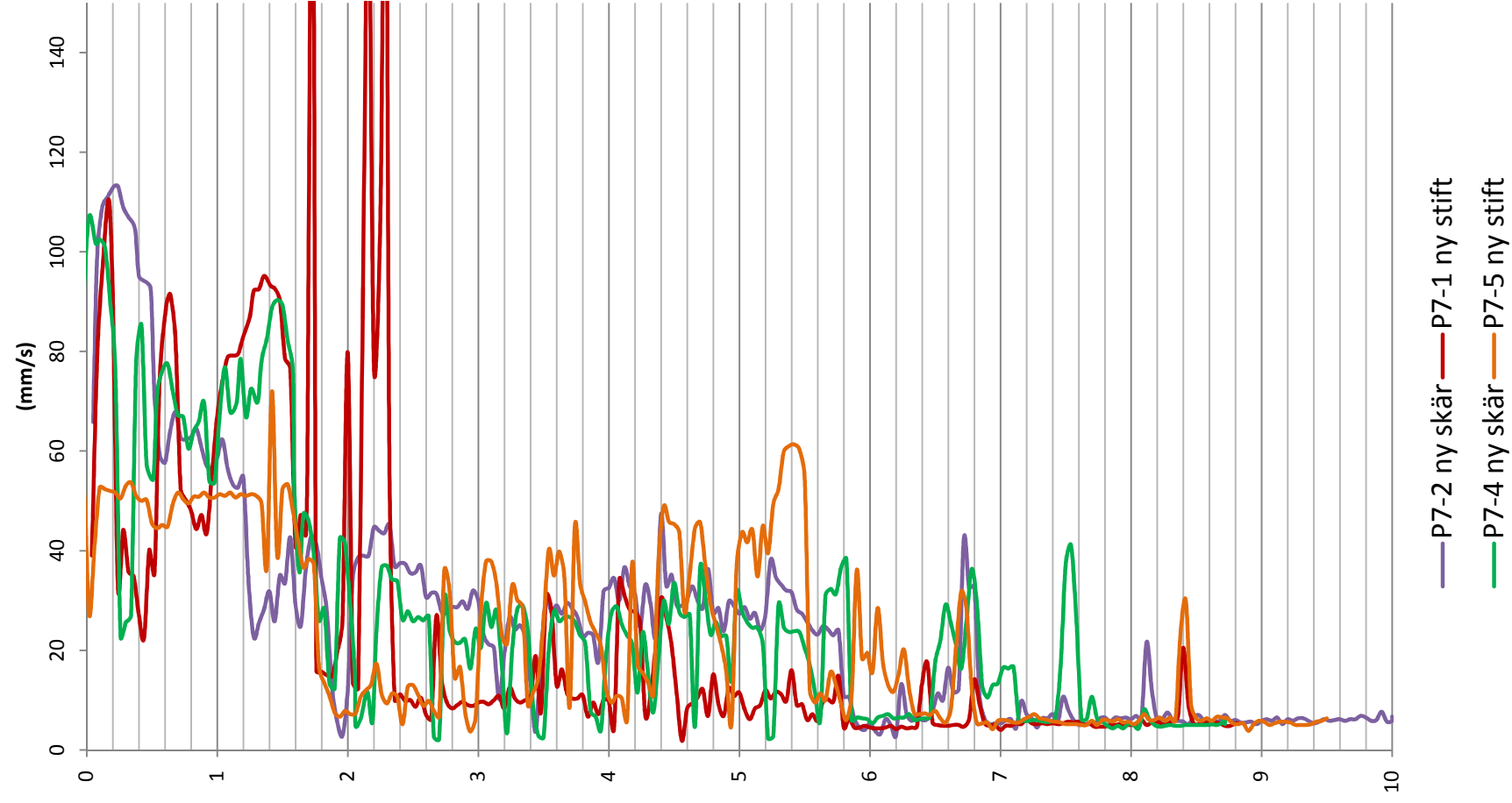
$$E_p = E_{\text{max}} \times \frac{H_A}{H_{A_{\text{max}}}}$$

$$SE = \frac{T_R \times P_0}{A \times VA}$$

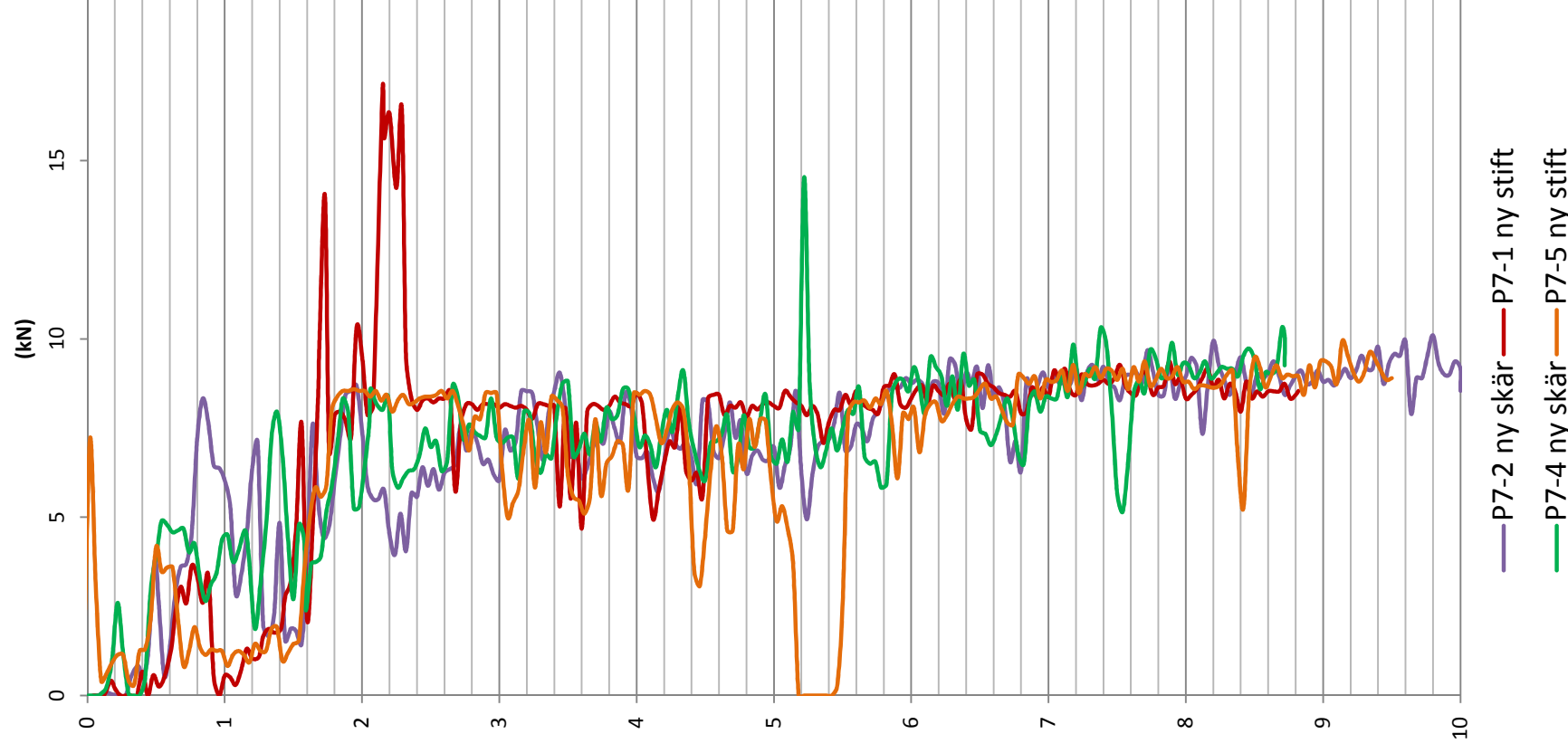
$$P_0 = E_{\text{max}} \times n \times \frac{H_A}{H_{A_{\text{max}}}}$$

$$1 = \alpha \times \frac{V_A}{F}$$

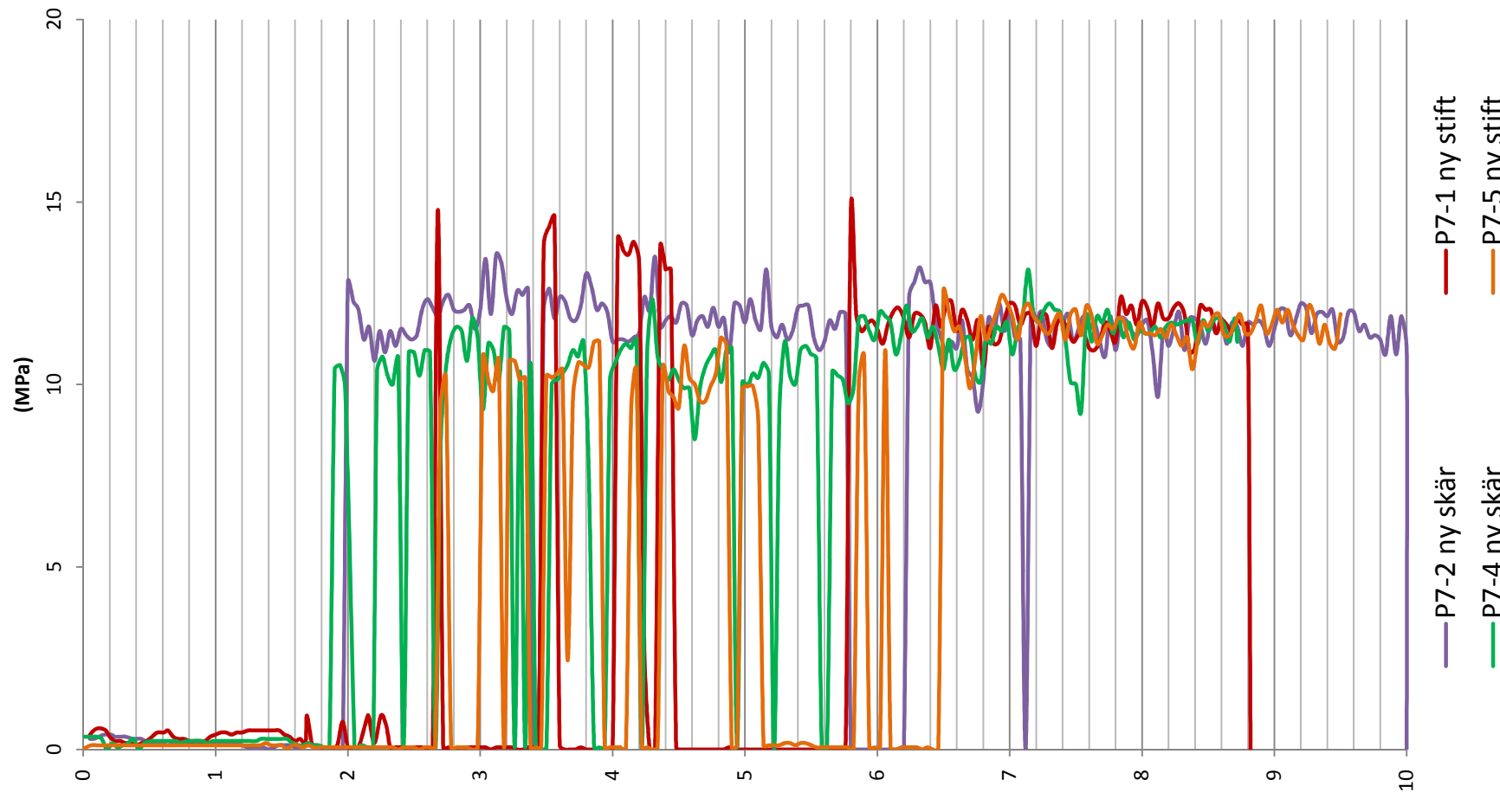
Sjunkhastighet



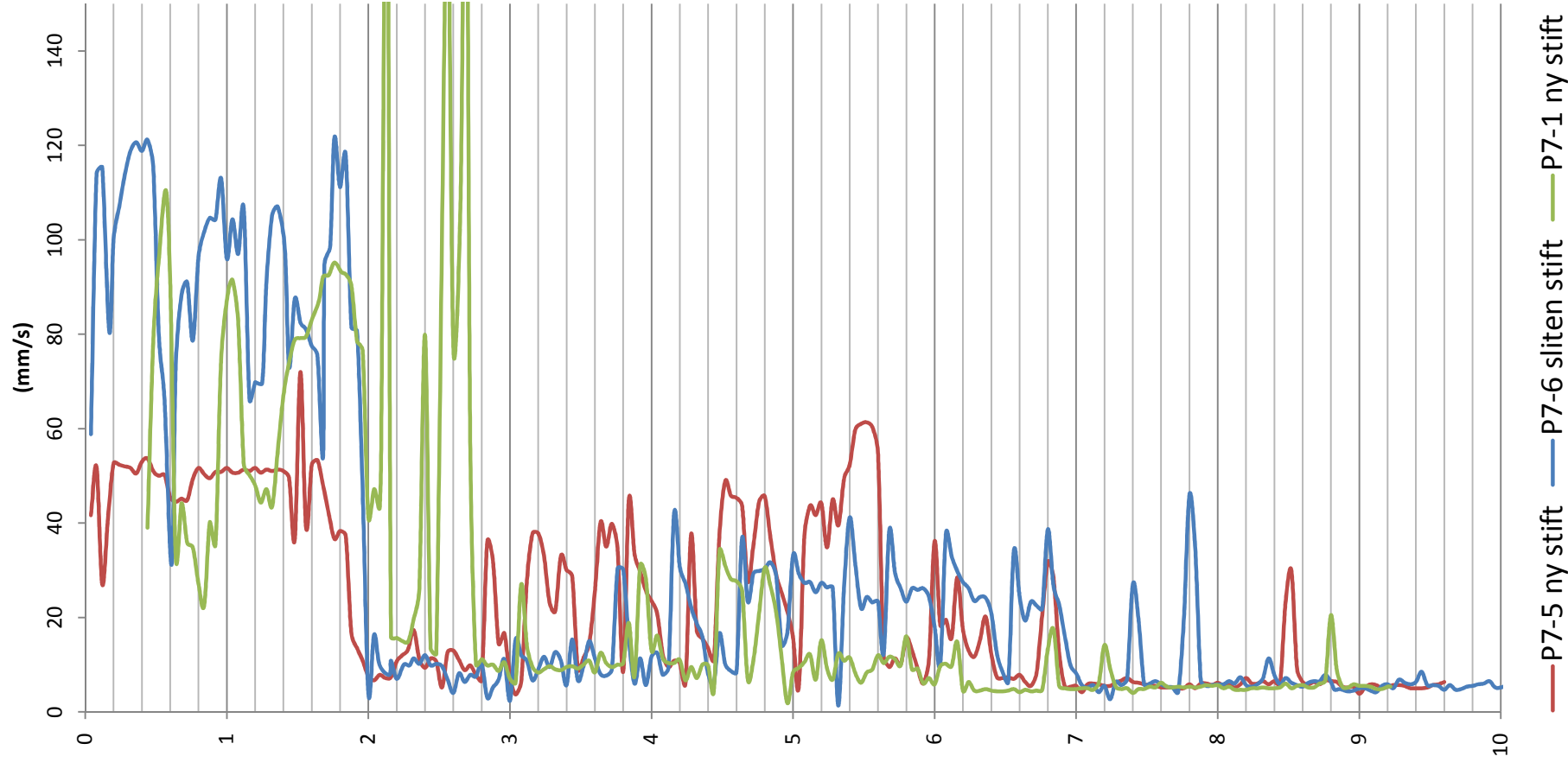
Matningskraft



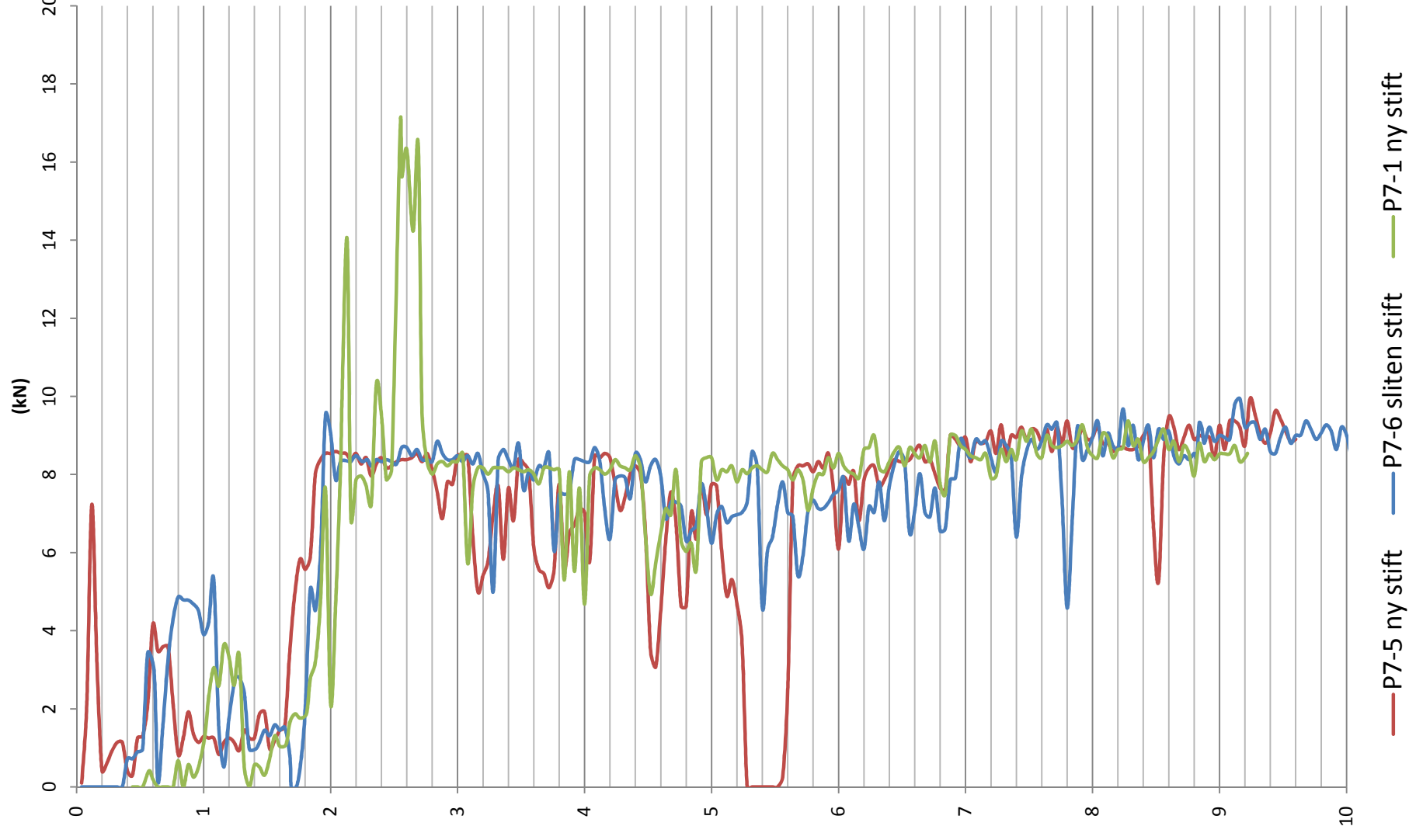
Hammartryck



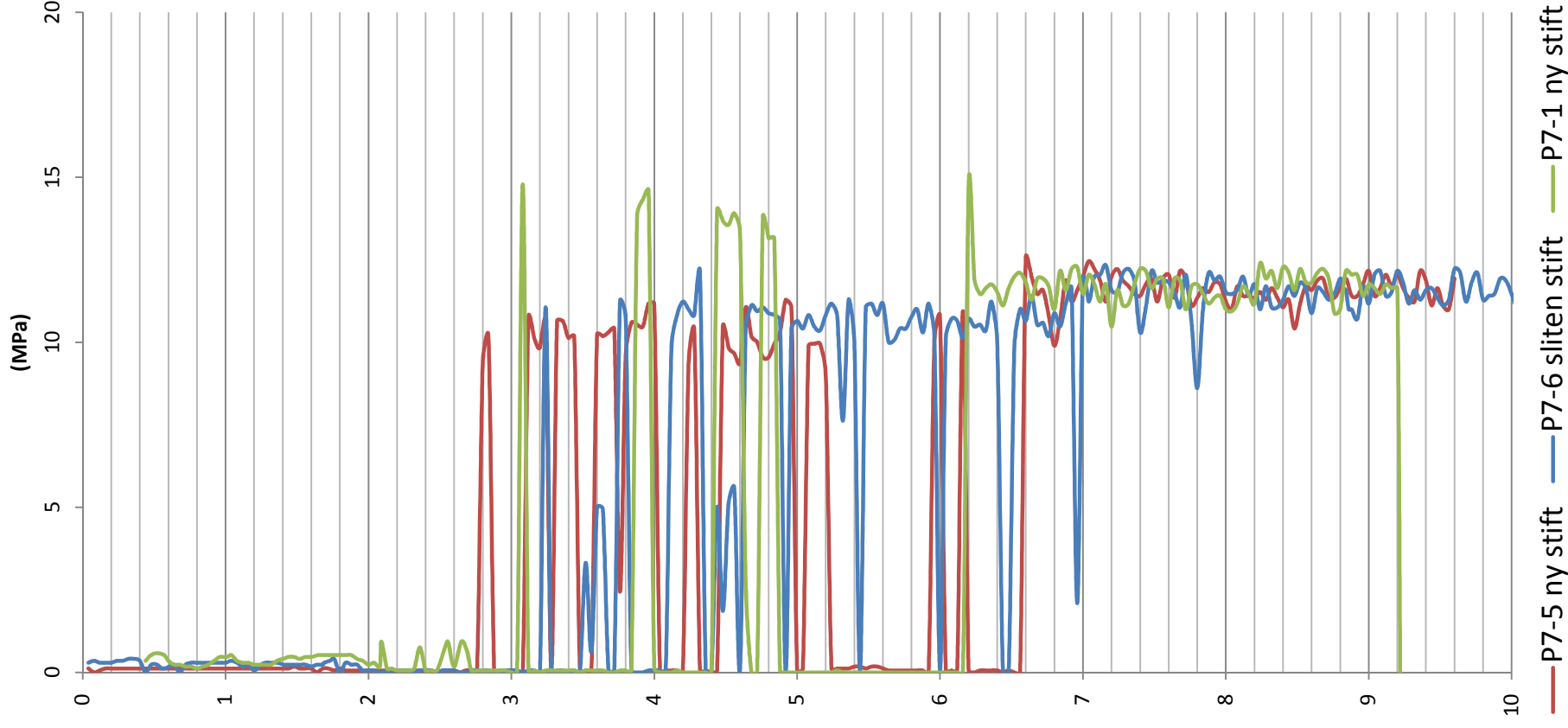
Sjunkhastighet



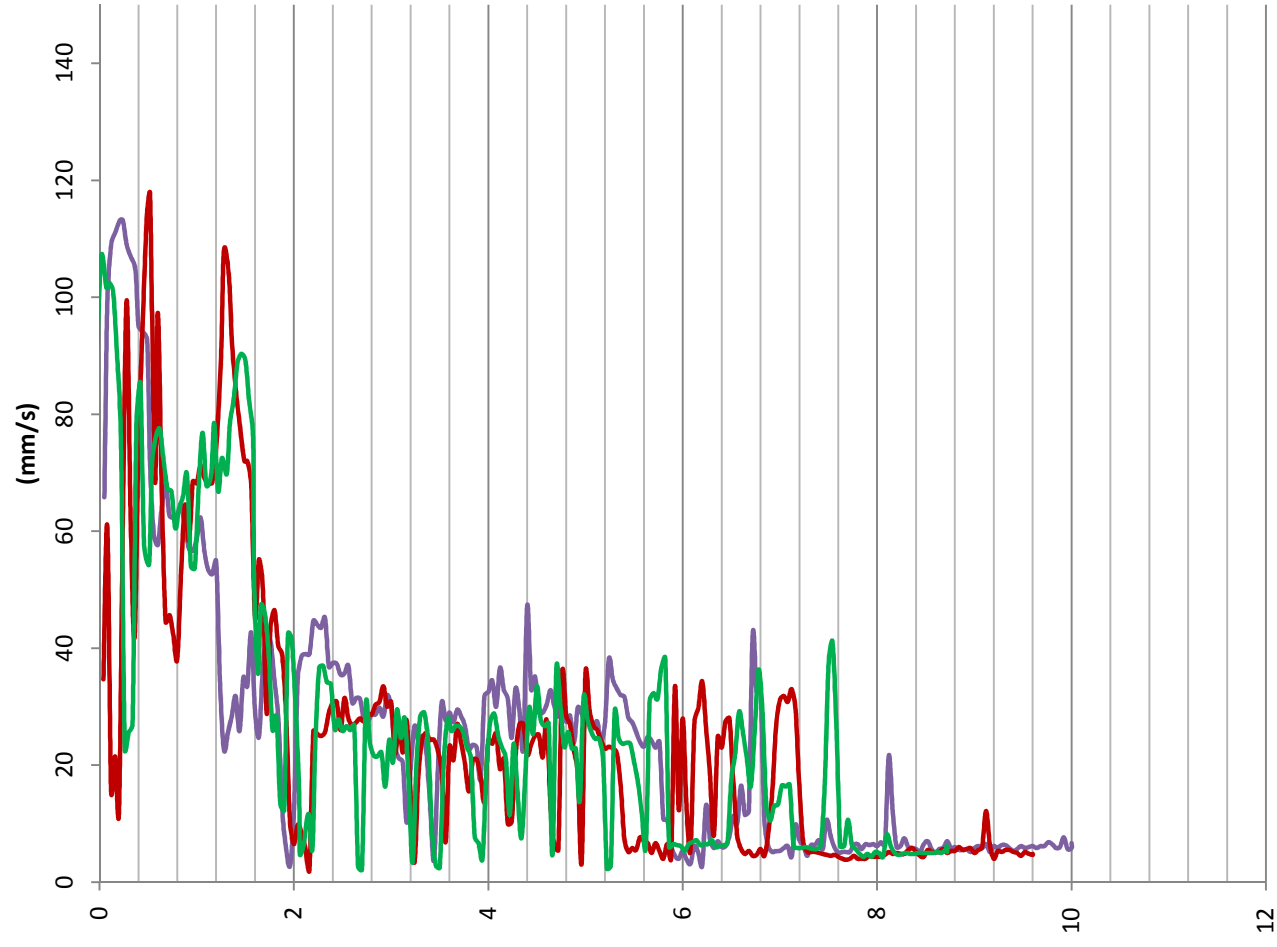
Matningskraft



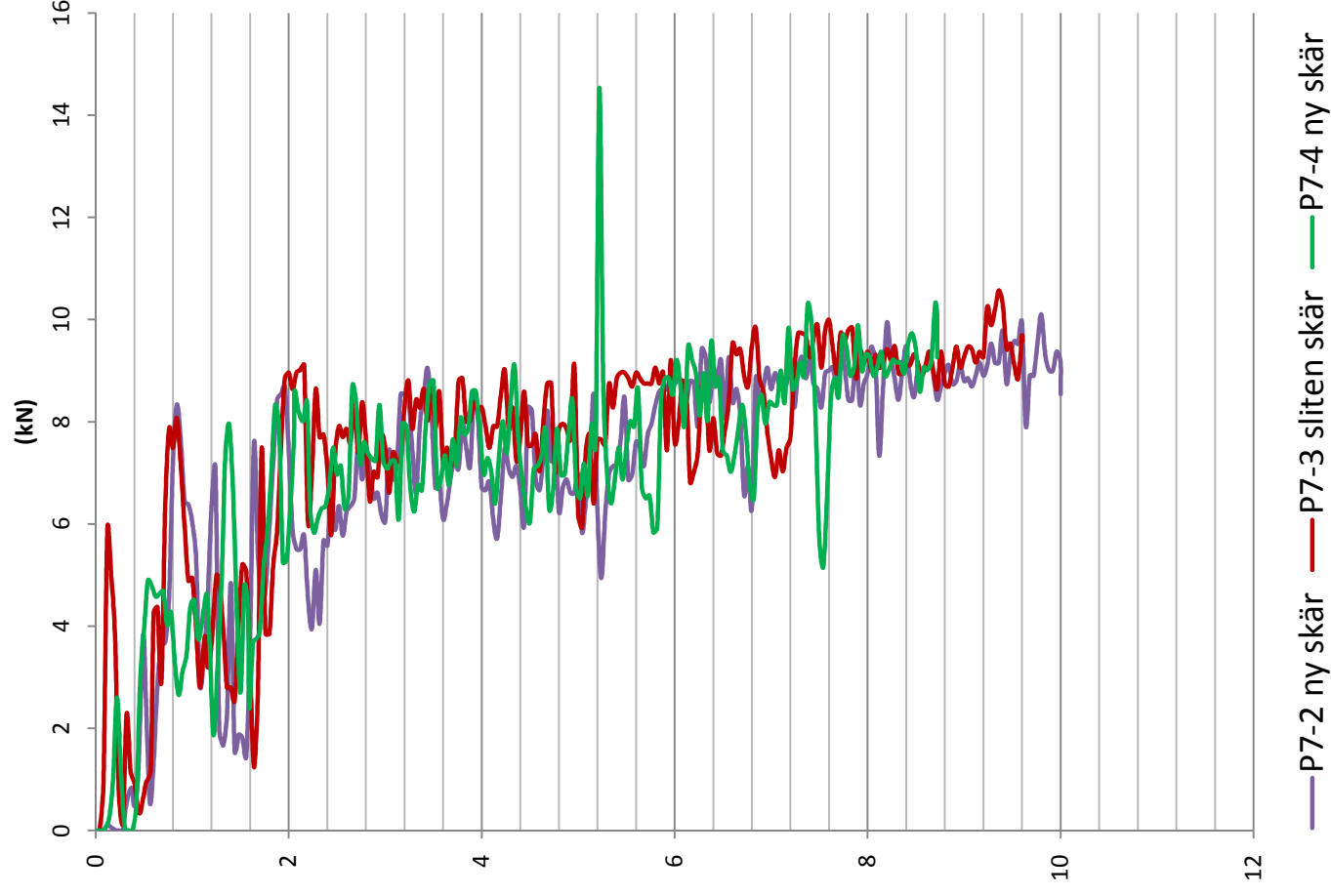
Hammartryck



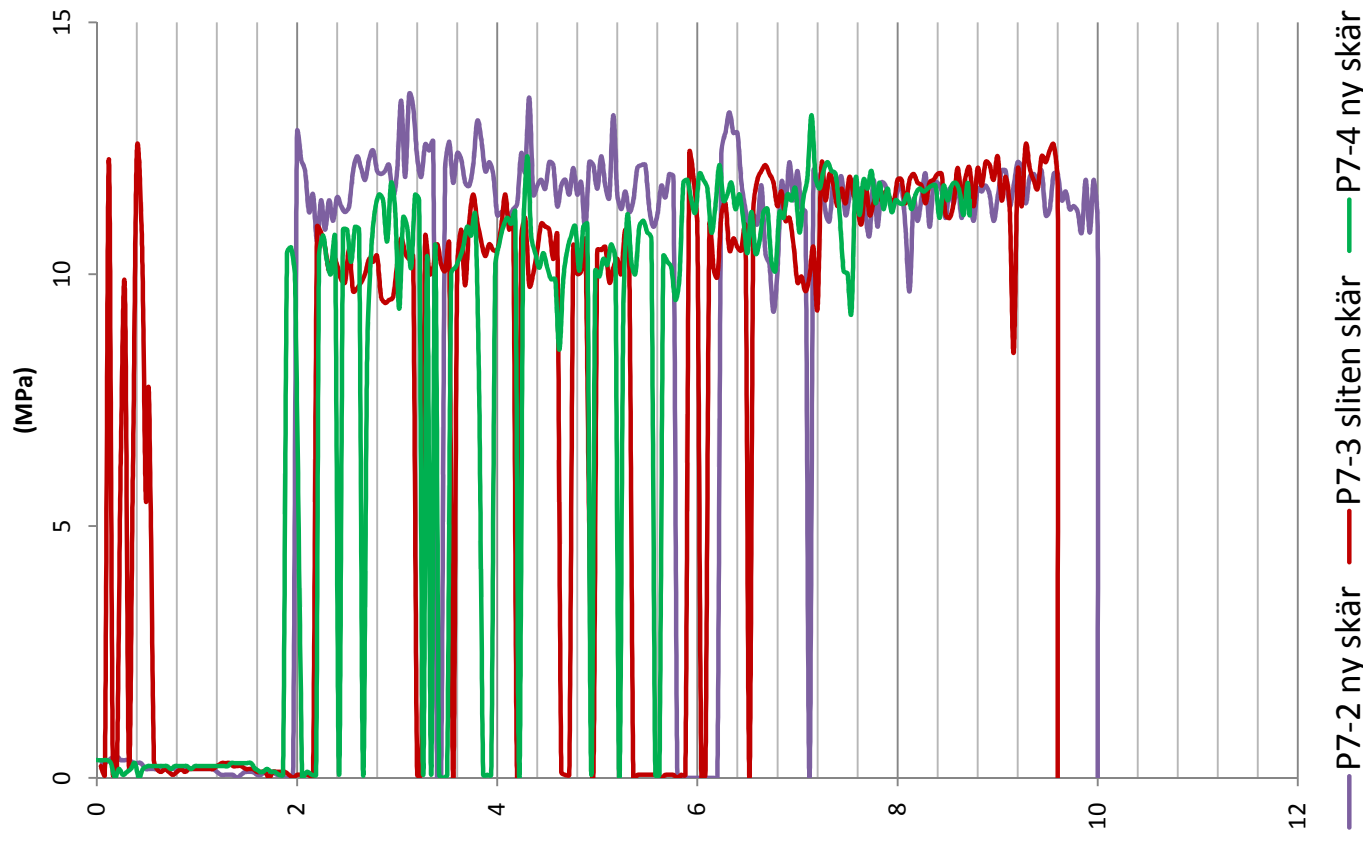
Sjunkhastighet



Matningskraft

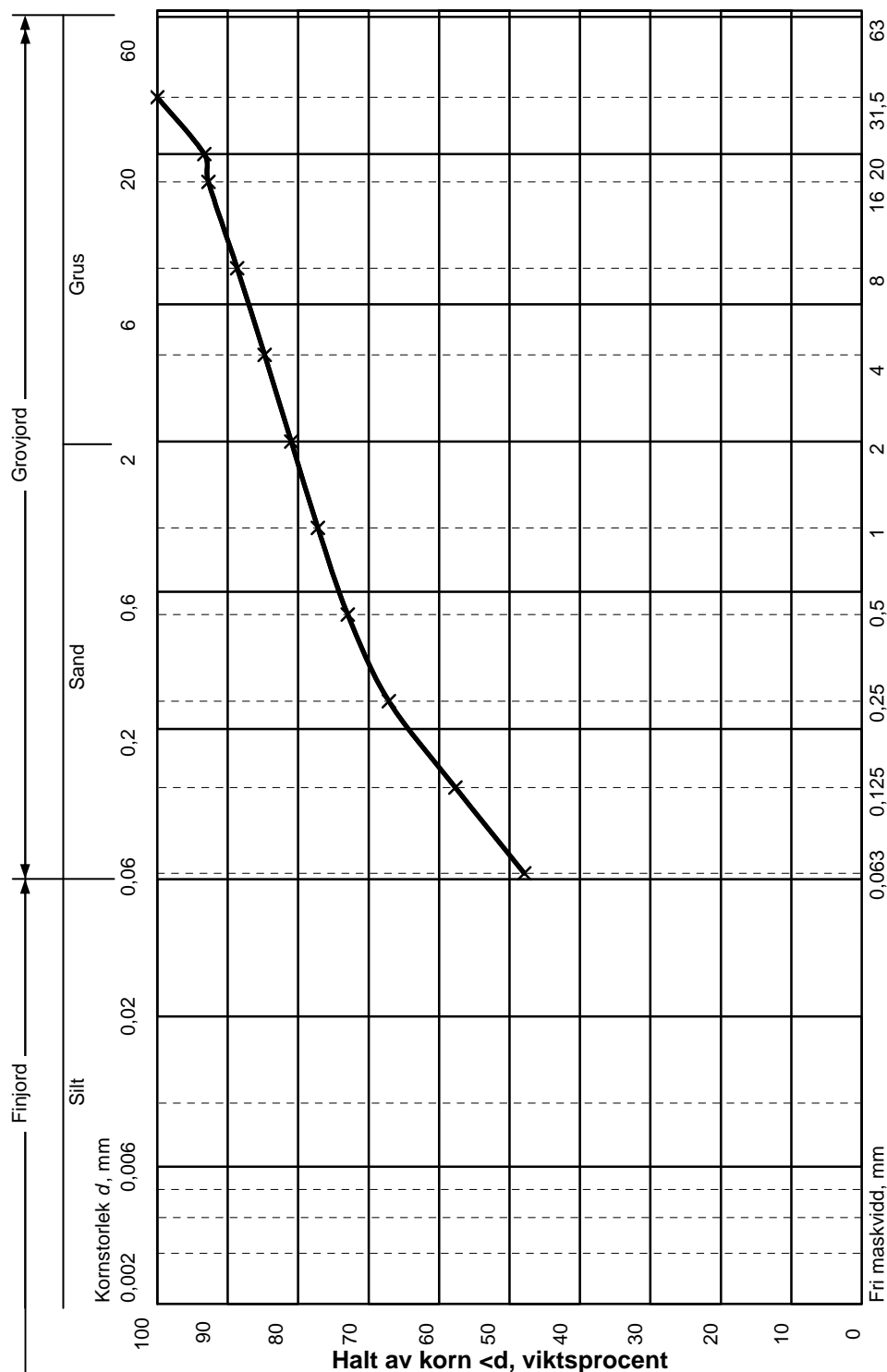


Hammartryck



KORNFÖRDELNING FRAKTIONSINDELNING 1981

Beställare: Hjördis Löfroth, SGI			Diagram	1(1)
Uppdrag: Utvärdering av Jb-sondering			Dnr	1.1-1110-0698
Ankomstdatum	Provtagningsredskap	Laboratorieundersökning	Datum	121122
120704	Geobor S	Datum Utförd av	121022--1024	OA
			Teknisk ledare	

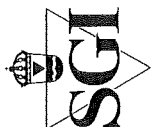


PROV NR 5	BH/SEKT	P7-7	DIUP	3,75 - 3,85 m	PROVET ÄR TVÄTTSIKTAT
	SIKTNING SS 027123 UTGÅVA 2*				
TOTAL PROV-MÄNGD g	SIKTAD PROV-MÄNGD g	STÖRSTA KORNSTORLEK mm	HALT AV MTRL. % > 63 mm	PROVMÄNGD g	LERHALT % AV MTRL < 0,06 mm
1979,3	< 63 mm		0,0		
	> 20 mm				
	1979,3				
BENÄMNING AV MTRL < 63 mm	MATERIALTYP ENL. ATB VÄG	TJÄLFÄRLIGHETS KLASS ENL. ATB VÄG	GRADERINGSTAL $C_u = d_{60}/d_{10}$	ANMÄRKNING	
sa le SiMn				Lerhalt ej bestämd. Bedöms okulärt vara 10-20% av finjorden.	

*Standarden upphävd 2005-06-07.

Mätosäkerhet siktning (0,063-63 mm): ± 2,9 %. Mätosäkerhet sedimentationsanalys (0,002-0,06 mm): ± 0,6 %.

Programversion 1.2



Stegvis ödometerförsök

Redovisning av kompression efter 24 timmar/laststeg i linjär skala

Uppdrag: Utvärdering JB-sondering

Provpunkt: P7-7

Djup: 3,95 m

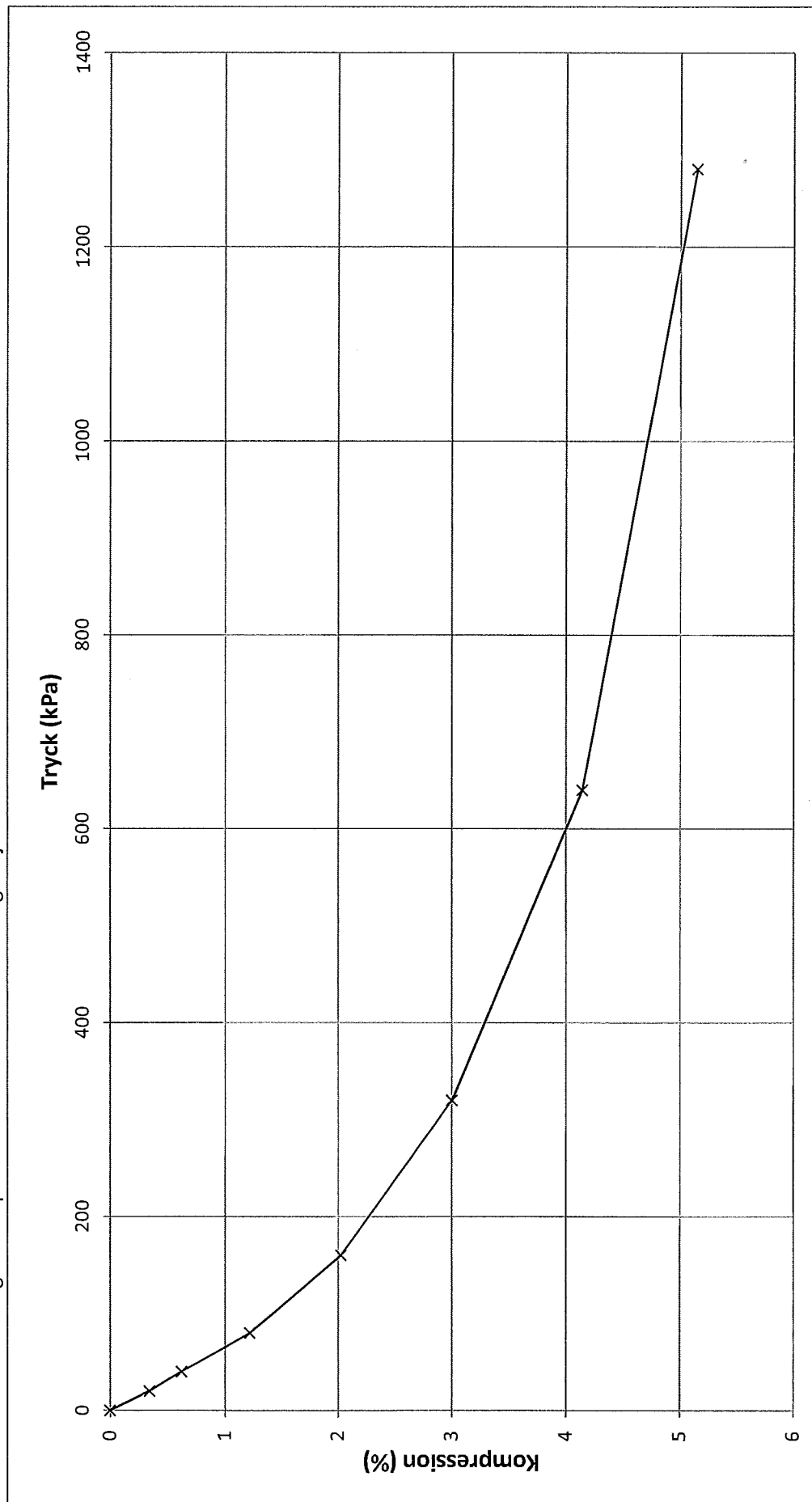
Beställare: H. Löfroth, SGI

Dnr.: 1.1-1110-0698

Datum: 17/128

Diagram: 1(2)

Signatur: *FS*



Sammanfattning av jämförelse mellan utvärderingsmetoder

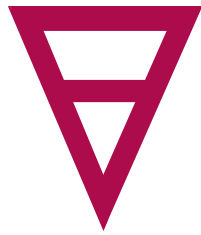
Tidigare Jb-sonderingar	Utvärdering	Somertons index	Specifik energi	Borr-energi	Förändring s index	Borringsm otstånd	Slag index	Easy/Hard param	Fasthets index	Exponent	Jb2 index	Specifik energi slagb	Borrmot- stånd från Jb
4160 (4/800VM, i läge PG6)	Gräns lös/fast morän	ja	(ja)	(ja)	ja+	ja	(ja)	ja+	(ja)	nej	ja	(ja)	(ja)
	Gräns berg	ja	ja+	ja+	ja	ja	ja	ja	ja	nej	ja	ja	ja
4159 (4/800 V20)	Gräns lös/fast morän	nej	nej	nej	nej	nej	nej	nej	nej	nej	nej	nej	nej
	Gräns berg	(ja)	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nej	(ja)	ja	ja
4161 (4/800 H20)	Gräns lös/fast morän	ja 2m	ja 3,2m	ja 3,2m	ja 2m	ja 2m	ja 3,2m	ja 2m	(ja) 3,2m	nej	ja 2m	ja 3,2m	ja 3,2m
	Gräns berg	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nej	ja	ja	ja
4167 (4/900VM, i läge PG7)	Gräns lös/fast morän	nej	(ja)	(ja)	(ja)	nej	(ja)	(ja-)	(ja)	nej	nej	(ja)	(ja)
	Gräns berg	ja	ja	ja	(ja)	ja	ja	ja	ja	nej	ja	ja	ja
I uppdraget utförda Jb													
P6-1	Gräns lös/fast morän	ja+	ja+	ja+	ja	ja+	nej*	ja+	ja+	nej	ja+	nej*	ja+
(inte slagning i fast morän)	Gräns berg	ja+	ja+	ja+	ja+	ja+	ja+	ja+	ja+	nej	ja+	ja+	ja+
P6-2	Gräns lös/fast morän	ja	ja	ja	ja	ja	ja	(ja)	ja	nej	ja	ja	(ja)
(slag av djup 5,4-5,8m)	Gräns berg	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nej	ja	ja	ja
P6-6 (djup 4-8m rotation på/av med ca0,2m intervall)	Gräns lös/fast morän	nej**	nej**	nej**	nej**	nej**	nej**	nej**	nej**	nej	nej**	nej**	nej**
	Gräns berg	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nej	ja	ja	ja
P7-1 (ny stift)	Gräns lös/fast morän	ja 5,8m	(ja) 5,4m	(ja) 5,4m	nej	ja 5,8m	ja 5,8m	ja 5,8m	(ja) 5,4m	nej	ja 5,8m	ja 5,8m	ja 5,8m
	Gräns berg	(ja)	nej	nej	nej	nej	(ja)***	nej	nej	nej	nej	(ja)***	nej
P7-2 (ny skär)	Gräns lös/fast morän	ja	ja	ja	(ja)	ja	ja	ja	ja	nej	ja	ja	ja
	Gräns berg	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nej	ja	ja	ja
P7-4 (ny skär)	Gräns lös/fast morän	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nej	ja	ja	ja
	Gräns berg (spricka?)	(ja)	(ja)	(ja)	(ja)	(ja)	(ja)	(ja)	(ja)	nej	(ja)	(ja)	(ja)
P7-5 (ny stift)	Gräns lös/fast morän	ja	ja	ja	ja	ja	nej	ja	ja	nej	ja	nej	ja
	Gräns berg	(ja) 6,4m	(ja) 6,4m	(ja) 6,4m	(ja) 5,6m	(ja) 6,8m	(ja) 6,6m	(ja) 6,8m	(ja) 6,8m	nej	(ja) 6,8m	(ja) 6,6m	(ja) 6,8m

* gränsen till den fasta moränen syns pss att slagning har satts på, men sedan har den stoppats

** pga att man låtit rotationen gå mellan noll och max med korta intervall (2dm) så ser det ut som detta parti är ett fastare lager

*** hammaren har slagits på

Förklaring:	
ja	urskiljs tydligt
ja+	urskiljs särskilt tydlig
(ja)	urskiljs inte så tydligt
nej	kan inte urskiljas



Svenska Geotekniska Föreningen
Swedish Geotechnical Society

Förstudie

Uppdatering och revidering av SGF:s metodbeskrivning för Jb-sondering, förslag på åtgärder

SGF:s Fältkommitté

Malmö, Linköping och Stockholm november 2010

Innehållsförteckning

Text

1	BAKGRUND	3
2	UPPDRAGET	3
3	GENOMGÅNG AV BEFINTLIG METODBESKRIVNING OCH INHÄMTADE AV SYNPKUNKTER	4
3.1	SAMMANFATTNING AV ENKÄTSVAR	4
3.1.1	<i>Allmänt</i>	4
3.1.2	<i>Användning</i>	4
3.1.3	<i>Utrustning</i>	5
3.1.4	<i>Redovisning och utvärdering</i>	5
3.1.5	<i>Övrigt</i>	5
3.2	GENOMGÅNG AV BEFINTLIG METODBESKRIVNING	5
4	GENOMGÅNG AV DE METODER SOM KAN BLI AKTUELLA FÖR INARBETNING I METODBESKRIVNINGEN	6
5	DISKUTERA OCH FORMULERA MÖJLIGHETERNA ATT FÖRBÄTTRA UTVÄRDERINGEN AV RESULTAT FRÅN JB-METODEN	7
5.1	TILLGÄNGLIG LITTERATUR.....	7
5.2	SUMMERING AV INNEHÅLLET MED AVSEENDE PÅ UTVÄRDERING UTIFRÅN BORRPARAMETRAR.....	7
6	FÖLJA UPP OCH GE INPUT TILL ARBETET INOM CEN AVSEENDE STANDARDISERING AV BORRPARAMETRAR	9
7	FÖRSLAG PÅ FORTSATT ARBETE	9
7.1	ALLMÄNT.....	9
7.2	UPPDATERING AV METODBESKRIVNING.	9
7.3	FÖRBÄTTRAD UTVÄRDERING AV RESULTAT FRÅN JB-SONDERING/MWD.....	10
7.4	FÖLJA UPP OCH GE INPUT TILL ARBETET INOM CEN AVSEENDE STANDARDISERING AV BORRPARAMETRAR.....	11
8	SAMMANFATTNING	11
9	LITTERATUR	11

Bilagor

Bilaga	Dokument
A	Sammanställning Enkät

Uppdatering och revidering av SGF:s metodbeskrivning för jord-bergsondering, förstudie, förslag på åtgärder

1 BAKGRUND

Med Jord-bergsondering (Jb-sondering) avses normalt sondering i jord och berg med trycklufts- eller hydrauldrivna borrar maskiner med borrarstänger och bergborrkrona. Metoden har vidareutvecklats i samband med att datoriserad registreringsutrustning blivit allmänt tillgänglig för montage på borrarbandvagnar. Genom detta har det blivit möjligt att registrera andra borrarparametrar än enbart borrar motstånd. Syftet med metoden är att klargöra djup till berg, samt bergets sprickighet. Andra resultat från sonderingen är information om jorden eller bergets relativa fasthet samt sten och blockinnehåll i jord.

I slutet av 1990-talet tog SGF:s fältkommitté fram en metodbeskrivning för jord-bergsondering, se SGF-rapport 2:99 som nu är i behov av uppdatering. Andra jb-metoder har utvecklats och för att kunna bearbeta och tolka resultaten bättre krävs en högre noggrannhet på parametervärdena.

En metod inom Jb-familjen som utvecklats och bör ingå i metodbeskrivningen är Jord-berg totalsondering som är en anpassning av den norska metoden Totalsondering till svenska förhållanden. En separat metodbeskrivning för denna metod togs fram 2006. Möjligheterna att införliva sänkhamborring i en metodbeskrivning för jord-bergsondering har också diskuterats.

Jb-sondering som separat metod är inte och kommer sannolikt inte att bli någon europastandard och därför är det viktigt att det finns svenska uppdaterade metodbeskrivningar för metoderna eftersom sådana krävs vid internationella upphandlingar.

Internationellt har nyligen påbörjats ett arbete med standardisering av registrering av borrarparametrar (CEN/TC341/WG1, svensk representant H. Löfroth). En omarbetning av metodbeskrivningen för jord-bergsondering måste även ta hänsyn till detta arbete.

2 UPPDRAGET

Syftet med denna förstudie är att ta fram en projektbeskrivning för komplettering och uppdatering av metodbeskrivningen för Jb-sondering. I förstudien skall klarläggas vilka tillkommande metoder som bör ingå i en metodbeskrivning och hur samordning med pågående arbete inom CEN/TC341/WG1 avseende registrering av borrarparametrar kan ske.

Dessutom skall möjligheterna att skapa verktyg för en förbättrad utvärdering av Jb-metoderna diskuteras och undersökas. Det finns undersökningar som tyder på att det är möjligt genom att skapa olika index från flera borrarparametrar.

Delmål i projektet är:

- Genomgång av befintlig metodbeskrivning och inhämtning av synpunkter.

- Diskutera och formulera möjligheterna att förbättra utvärderingen av resultat från Jb-metoden.
- Genomgång av de metoder som kan bli aktuella för inarbetning i metodbeskrivningen.
- Följa upp och ge input till arbetet inom CEN avseende standardisering av borrhparametrar.
- Framtagande av projektbeskrivning för huvudprojektet.

3 GENOMGÅNG AV BEFINTLIG METODBESKRIVNING OCH INHÄMTADE AV SYNKUNKTER.

3.1 Sammanfattning av enkätsvar

3.1.1 Allmänt

En enkät togs fram och skickades ut till 32 utvalda som antogs på något sätt ha något att tillföra ämnet. De tillfrågade var en blandning av handläggande geotekniker, beställare och fältgeotekniker samt tillverkare och leverantörer av utrustning för Jb-sondering. Endast 6 fullständiga enkätsvar och 3 delsvvar erhöles vilket ger en svarsfrekvens på knappt 28 %. Medräknas endast de fullständiga svaren blir motsvarande siffra endast 19 %.

I detta avsnitt lämnas en sammanfattning av erhållna svar och i Bilaga A finns såväl enkät som de fullständiga svaren.

3.1.2 Användning

Övervägande del av de som svarade ansåg att metoderna som finns idag skall inrymmas i metodbeskrivningen, dvs Jb1-Jb3 och Jb-tot. Av de svar som inkom bedömdes att Jb1 hade sin plats men då som manuell metod vid borrning med produktions- eller brunnsborrningsmaskiner. En annan användning är vid manuell klockning för backup om givare eller dator skulle gå sönder.

Vad som avgör vilken Jb-metod som föreskrivs är naturligtvis ofta geologin. Hälften av fältgeoteknikerna svarade att de brukar föreslå handläggaren Jb2 istället för Jb1. Det kan tolkas att det ofta är handläggarslenrian att Jb1 fortfarande nyttjas till så pass stor del trots att borrhbandvagnar har komplett registreringsutrustning.

På frågan om man skulle införa klasser som berodde på syftet var det delade meningar. Hälften var jakande medan den andra hälften var tveksamma eller direkt emot detta.

Få hade synpunkter på kalibrering och kontroll som föreskrivs i nuvarande metodbeskrivning. Av de som hade synpunkter tyckte samtliga att metodbeskrivningens krav var tillräckliga.

Det var klenl med förslag till förändringar/förbättringar av Jb-metoderna. Jämförande studier med andra metoder för att få tag på egenskaper i jord och berg, var ett förslag (det enda).

Jb3 användes sällan eller aldrig, med undantag av en fältgeotekniker som använde metoden 10-20 ggr per år. Denna fältgeotekniker arbetar ofta i skånsk geologi och metoden kommer framförallt till sin rätt vid undersökning av sedimentärt berg.

3.1.3 Utrustning

Noggrannheten på utrustningen bedömdes tillräcklig för dagens användningsområde och tolkningar eller så visste man för lite om detta. En uttömmande synpunkt var att uppge tillåtet fel i % var olyckligt, utan borde anges i fasta intervall t ex för matningskraft +/-50 kg.

Samtliga svarande angav att man använde sig av geostänger 44 mm och 57 mm stiftborrkrona. Någon använde sig av 64 mm krona för att klara speciella uppgifter. Skärborrkrona användes sällan och då i specialfall (t ex borring i kalkrik morän med luftspolning)

Borrbandvagnens vikt bedömdes till övervägande del ha mindre betydelse för metoden. Någon menade att Geotech 604 eller motsvarande var ett minimum.

3.1.4 Redovisning och utvärdering

Av ytterligare parametrar som var intressant att mäta nämndes vridmomentet direkt och inte som nu trycket på vridmotorn. Någon tyckte att det var olyckligt att Jb2 redovisas som Jb1 på ritningar. En fältgeotekniker poängterade vikten av att fältgeoteknikerna redigerar och lägger in fälttolkningar.

3.1.5 Övrigt

En synpunkt var att borring från flotte skulle särbehandlas i nya metodbeskrivningen. Synpunkt framfördes att kompletterande metoder till Jb sondering borde beskrivas samt att kunskapsluckan fanns i att värdera resultatet. MWD borring inom bergteknik kunde nyttjas.

En synpunkt var att vattenspolning borde användas samt att det fanns ett behov av ”marknadsföring” för Jb2 och Jb3.

3.2 Genomgång av befintlig metodbeskrivning

Den befintliga metodbeskrivningen, se SGF-rapport 2:99, togs fram i slutet av 1990-talet och sedan dess har det varit en stor utveckling av borrarutrustning och bandvagnar samt registreringsutrustning. Därför är det angeläget att uppdatera beskrivningen till dagens tekniska nivå.

Klon i metodbeskrivningen är att utföra en kalibreringsborring i kristallint, homogent berg och ställa in borrarparametrar och välja borrkrona så att sjunkningen hålls inom angivna värden. Denna inställning av maskinen skall sedan hållas vid efterföljande sonderingar. På så sätt kan sonderingar som utförs av olika maskiner och företag jämföras. Detta förfarande skall också fortsättningsvis ingå i metodbeskrivningen men eftersom maskinerna blivit effektivare och registreringsutrustningen snabbare kan förmodligen tillåtet sjunkintervall ändras.

Kapitel 1 i rapport 2:99 som behandlar försöksprincip och syfte med metoderna skall uppdateras med bl.a. användningsområde för Jb-tot och antal parametrar. Här bör införas de olika borrarzonerna jord, transitzon samt berg.

Kapitel 3 som behandlar sonderingsklasser uppdateras med de nya Jb-metoderna och omfattningen av parametrar ses över. Vidare skall de olika klassernas användningsområde beskrivas.

Kapitel 4, definitioner bör ses över både med hänsyn till de nya metoderna men också kompletteras med de engelska benämningarna.

Kapitel 5 som behandlar kraven på utrustning bör anpassas till såväl de nya metoderna men också till modernare bandvagnar och registreringsutrustning. I detta avsnitt bör kanske också en "Jb-maskin" definieras bättre.

Kapitel 6 som behandlar försöksutförande bör kompletteras med de nya metoderna men också förtydliga borring från vatten samt sättning av foderrör. Det bör betonas att vid borring på vatten är ofta dubbla foderrör nödvändiga, ett för att klara strömtrycket och ett för att klara utknäckning. Ev. införs regler för strömrörets dimension beroende av vattenhastighet och djup.

Mätnoggrannheter som anges i kapitel 7 måste revideras till dagens teknik som nu är betydligt noggrannare än förr. Här skall också beaktas att det inte bara är procentsatser som skall gälla utan också absolut noggrannhet uttryckt i tekniska enheter.

Kapitel 8 behandlar kalibrering och fältkontroll av sensorer för mätning av borrhparametrar. Detta avsnitt skall ses över bl.a. med tanke på att metoder för kalibrering och fältkontroll. Avsnittet om kalibreringsborring bör fördjupas så att större förståelse erhålls för syftet och processen.

Kapitel 9, redovisning skall uppdateras med redovisningssätt för de nya metoderna samt en uppdatering av övriga metoder. I dag redovisas endast borrhmotstånd eller sjunkningshastighet på sektionsritningarna. Detta bör utökas eftersom tolkningen av jord och berg kräver flera parametrar. Man kan överväga att införa ett borrhindex, t.ex. Matningskraft/Sjunkhastighet vilket har visat sig ge bättre tolkningsunderlag.

4 GENOMGÅNG AV DE METODER SOM KAN BLI AKTUELLA FÖR INARBETNING I METODBESKRIVNINGEN.

I nuvarande metodbeskrivning, SGF Rapport 2:99 finns 3 metoder angivna, Jb-1, Jb-2 och Jb-3. Jb-1 är den metod som kan utföras utan med manuell registrering medan Jb-2 och Jb-3 kräver automatisk datainsamling. Den huvudsakliga skillnaden mellan de dessa två metoder är att i Jb-3 skall spolmediet vara flytande medan i Jb-2 kan luft användas. Där finns också en skillnad i antal parametrar som skall registreras.

En samlad bedömning av erhållna enkätsvar och diskussioner i arbetsgruppen ger att de metoder som finns i nuvarande metodbeskrivning också skall ingå i en uppdatering. En översyn av mätnoggrannheter, redovisning, utförande mm behöver emellertid göras.

Jb-tot som idag har en egen metodbeskrivning (SGF-rapport 1:2006) bör ingå i en uppdaterad standard.

Gruppen har också diskuterat att skapa en variant av Jb-3 för ren bergundersökning. Då skall man använda foderrör genom jordlagern ned till bergets överyta. Denna metod kan förslagsvis kallas Jb-4.

Ibland vill man utföra mätningar av en eller flera borrhparametrar i samband med t.ex. drivning av stag eller vid kärnborrning utan att använda en standardiserad borrhmetod. Detta kan fångas upp i en ny metodbeskrivning där det t.ex. ställs krav på noggrannhet och redovisning av mätta parametrar. Förslagsvis kan en sådan metod benämnas MWD-metoden. Denna metod ansluter också till den europastandard som är under framtagande.

Gruppen har också diskuterat huruvida Sänkhammarborrning skall ingå i metodbeskrivningen. Det är idag ingen enhetlig metod och kunskapen inom geoteknikleden är ringa. Förslagsvis kan denna metod utföras som en MWD-metod.

5 DISKUTERA OCH FORMULERA MÖJLIGHETERNA ATT FÖRBÄTTRA UTVÄRDERINGEN AV RESULTAT FRÅN Jb-METODEN.

5.1 Tillgänglig litteratur

I avsnitt 11 redovisas den litteratur som ligger till grund för den mini litteraturstudie som gjort i denna förstudie. Syfte med detta var att utröna möjligheterna att genom en fördjupad studie kunna komma fram till förslag på lämpliga index för att förbättra utvärderingen av Jb-sondering.

5.2 Summering av innehållet med avseende på utvärdering utifrån borrparametrar

En översiktlig genomgång av skrifterna angivna i avsnitt 11 visar att majoriteten av dessa behandlar utvärdering i berg med användning av MWD-teknik, vilket inte behöver vara synonymt med Jb-sondering, men kan vara det. Jord-berg totalsondering har studerats i tre fall. I två av dessa har endast vrid-tryckskedet, dvs. den del av sonderingen då hammare och spolning inte är påslaget, analyserats för bedömning av egenskaper hos jordlagren. Jämförelser för bestämning av jords egenskaper med Jb-sondering med MWD-teknik har endast gjorts i två av skrifterna.

En kortfattad summering av respektive skrift med avseende på utvärdering av borrhparametrar följer nedan:

I (3) jämförs resultaten från Jord-berg totalsondering med resultat från Hejarsondering HfA i morän. Utifrån jämförelsen och förekommande relationer för utvärdering av friktionsvinkel och E-modul från hejarsonderingsresultat föreslås ny relationer för bestämning av friktionsvinkel och E-modul. Dessa relationer baseras på parametrarna matningskraft och hammartryck uppmätta vid Jord-berg totalsonderingen. De parallellborrningar som gjorts visar på varierande korrelation. Korrelationen försämrats då hammaren används i Jb-totalsonderingen.

I (1) undersöker författaren möjligheterna till bättre utvärdering av bergytans läge, bergkvalité och förekomst av block/sten med ett s.k. Jb2-index eller ett integrerat Jb2-index: $(V/P) \cdot \alpha$ där V =Sjunkningshastighet (mm/s), P =matningskraft (kN) och α är en konstant för kalibrering. Jämförelser har också gjorts mot hejarsonderings- och viktsonderingsresultat. Enligt författaren fanns tydliga tecken på att indexet skulle kunna användas för att förbättra utvärderingen av bergytans läge och för bedömning av bergkvalitén i ett specifikt borrhål i jämförelse med andra. Resultatet från de integrerade värdena indikerade möjligheten att även olika jordlager skulle kunna avläsas.

I (6) jämförs vrid-tryckskedet vid Jord-berg totalsondering (dvs. innan hammaren slås på) med resultat från CPT och hejarsondering i sand. God överensstämmelse erhålls mellan spetstryck från CPT och framräknat spetstryck från Jb-totalsondering multiplicerat med en konstant.

Även i (5) jämförs framräknat spetstryck vid Jord-berg totalsondering med spetstryck från CPT. Endast vrid-tryckskedet vid Jb-totalsonderingen analyseras. Utifrån relationer för bestämning av friktionsvinkel från CPT tas på detta sätt en friktionsvinkel fram utifrån Jb-totalsondering. Denna jämförs sedan även med friktionsvinkel framtagen utifrån hejarsondering och viktsondering. Även E-modul jämförs på detta sätt.

I (7) användes bormotståndet (tiden för 0,2 m sjunkning; $s/0,2m$) och bormotståndet kombinerat med matningskraft (? bit force) för att bedöma olika lösa (indurated?) lager och sprickzoner i kalkberg.

I (8) studerades ett antal parametrar som jämfördes mot bergets egenskaper uppmätta i kärnborrhål bl.a. matningskraft, hydraultryck i matningscylindern, rotationstryck, rotationshastighet, borrhålsjunkning, vattenflöde och vattentryck. Skillnaden i vattenflöde och vattentryck gav indikationer om var i borrhålet de vattenförande sektionerna befann sig. Inga konkreta samband kunde fastställas mellan de andra parametrarnas reaktioner och typhändelserna i geologin.

I (9) har 240 m bergtunnel i Norra länken analyserats med MWD genom användning av Rockmas program GPM-2 för val av storlek på injekteringskämen. Analysen visar att det enbart med användning av MWD-data är möjligt att bestämma storlekarna på injekteringskärmarna. Det har alltså varit möjligt att identifiera de mer vattenförande partierna i bergmassan. Författarna konstaterar dock att villkoren som måste ställas upp för att kunna använda GPM-2 är känsliga och kräver lång kalibreringstid, vilket gör metoden mer lämplig för stora projekt.

Även i (10) har MWD-tekniken för optimering av antalet injekteringshål analyserats vid bergtunnlarna i Norra Länken. En jämförelsestudie mellan MWD-datan och injekteringsmängden för respektive borrhål har genomförts. I detta fall har programmet Tunnel Manager MWD från Atlas Copco använts. Man konstaterar ett tydligt samband mellan sprickfrekvens enligt MWD och karterad sprickfrekvens. Dock föreligger stor spridning, och studien visar att det inte går att se något klart samband mellan optimeringen av antalet borrhål och den loggade MWD-datan.

Också i (11) studeras bl.a. injektering av bergtunnlarna i Norra Länken projektet. En del av denna studie avser utvärdering av MWD-tekniken för bedömning av tilläggsinjektering. Rockmas program användes för utvärderingen. Resultaten visar att det generellt finns en god överensstämmelse mellan MWD-prognosen och data från injektering.

I Europastandarden (4) anges ett antal möjliga Index för utvärdering. Bakgrund till angivna relationer anges f.n. endast som litteraturhänvisning.

6 FÖLJA UPP OCH GE INPUT TILL ARBETET INOM CEN AVSEENDE STANDARDISERING AV BORRPARAMETRAR.

Inom det standardiseringsarbete som pågår inom CEN finns en grupp under TC341: TC341/WG1 där man bl.a. håller på att ta fram en standard avseende "Drilling Parameters Recording". En Svensk representant finns i denna grupp som även ingår i denna projektgrupp. Eftersom arbetet i TC341/WG1 har bäring på denna förstudie och efterföljande huvudstudie är det av stor vikt att kontinuerligt inhämta erfarenheter och kunskap från denna grupp men också att påverka deras arbete så att det inte blir några framtida hinder för att använda Jb-sondering i Sverige.

7 FÖRSLAG PÅ FORTSATT ARBETE

7.1 Allmänt

I avsnitten nedan redovisas förslag på fortsatta arbeten dels med att uppdatera och revidera metodstandarderna för Jb-sondering och dels för att öka kunskap om utvärdering av olika typer av Jb-sonderingar. Dessutom ges synpunkter på hur arbetet inom TC341/WG1 skall integreras i föreslagna fortsättningsprojekt.

7.2 Uppdatering av metodbeskrivning.

I avsnitt 3 och 5 i denna rapport har synpunkter insamlats på vilka uppdateringar och revideringar som bör genomföras för att få en modern metodbeskrivning med de krav man idag kan ställa på modern borrhutrustning och datainsamlingssystem för utförande av Jb-sondering.

Förutom de metoder som idag ingår i metodbeskrivningen, se SGF-rapport 2:99, (Jb-1, Jb-2 och Jb-3) skall Jb-tot som idag är beskriven i SGF-rapport 1:2006 införlivas i metodbeskrivningen. Dessutom skall Jb-3 delas upp i två metoder, en där sondering också sker genom jord och en där sondering görs först efter att foderrör har installerats genom jordlagern.

Eftersom tekniken att mäta borrhparametrar i samband med andra typer av borrhningsarbeten än Jb-sondering är möjlig och kvalitetshöjande bör denna typ av mätning också regleras i en reviderad metodbeskrivning. Kraven skall främst ställas på mätnoggrannheter och redovisning av sådan registrering eftersom borrhmetoderna som är aktuella är många. T.ex. kan registrering av borrhparametrar ske vid kärnborrhning, entreprenadborrhning så som t.ex. installation av stag och pålar, foderrörsdrivning, sänkhammarborrhning och brunnsborrhning.

Förutom införande av metoder enligt ovan är det viktigt att revidering omfattar det som nämns i avsnitt 3.1 och 3.2 i tillämpliga delar. Sammanfattningsvis är det att se över kraven på:

- utrustning
- sondering från plattform
- mätnoggrannheter
- kalibrering, fältkontroll samt kalibreringsborrhning
- redovisning

I övrigt skall ett avsnitt införas om de olika metodernas användningsområde.

Dessutom skall projektet inhämta erfarenheter och kunskap från det arbete som pågår inom TC341/WG1 där man bl.a. håller på att ta fram en europastandard för ”Drilling Parameters Recording”. Detta görs bland annat i syfte att det inte blir några framtida hinder för att använda Jb-sondering i Sverige.

Slutligen skall rapporten översättas till Engelska när metodbeskrivningen är reviderad och uppdaterad.

7.3 Förbättrad utvärdering av resultat från Jb-sondering/MWD.

Den genomgång av litteratur som gjorts, se avsnitt 4, visar att det i Sverige endast finns ringa dokumenterad kunskap och erfarenhet om tolkning och utvärdering av egenskaper hos jord och berg vid Jb-sondering/MWD. Den kunskap som finns om utvärdering i jord avser framför allt vrid/tryckskedet vid Jb-totalsondering. Avseende Jb-sondering/MWD med spolning och slagning finns det betydligt mer dokumenterad erfarenhet beträffande utvärdering av berg än av jord. Utvärdering av bergets egenskaper utgörs till största delen av resultat från MWD generellt. Det finns förmodligen en hel del kunskap om utvärdering från MWD utanför Sverige, som vi borde ta del av och nyttja. Därför föreslås att ett projekt startas för att samla ihop den dokumenterade erfarenhet som finns och bygga upp kunskapen inom detta område. Projektet delas in i tre delar.

Projektets första del innehåller en insamling av bakgrundsdata omfattande huvudsakligen användbara utvärderingsmetoder både inom och utanför Sverige. Utvärderingsmetoderna delas upp i utvärdering i jord, i transit zon och i berg.

Projektets andra del bör innehålla en applicering av funna utvärderingsmetoder på äldre borrhdata från projekt där Jb-sondering/MWD använts tillsammans med andra sonderingsmetoder och provtagning med bestämning av egenskaper på laboratoriet. Baserat på ett antal listade förutsättningar önskvärda för ett sådant projekt tas ett antal förslag på projekt fram. Förslagen går igenom och någon/några väljs ut för jämförande studier. Syftet med del 1 och 2 av projektet är att dokumentera olika utvärderingsmetoder och applicera dessa på några utvalda genomförda projekt. På basis av detta ska om möjligt rekommendationer ges om vilka metoder som kan ha mest relevans i jord, i transit zon respektive i berg. Fokus ska vara användning av Jb-sondering för projektering/utförande av byggnader och vägar/järnvägar men även litteratur om MWD för tunnelborrning dokumenteras. Insamlingen av bakgrundsdata avseende utvärderingsmetoder och appliceringen på genomförda projekt ska ligga till grund för projektets tredje del.

Denna del avser ett fältprojekt omfattande jämförande studier med såväl andra sonderingsmetoder som framför allt bestämning av jordens/bergets egenskaper på laboratoriet. Omfattningen av denna del beror på resultaten av projektets del 1 och 2.

För att genomföra projektet i sin helhet, omfattande del 1-3, avses finansiering sökas från flera finansiärer. Även kopplingar till angränsande projekt kommer att undersökas, för att om möjligt hitta synergieffekter.

Projektets första del däremot och applicering på något projekt i den andra delen bör kunna inrymmas i en finansiering från SGF.

7.4 Följa upp och ge input till arbetet inom CEN avseende standardisering av borrhparametrar.

Den svenska representanten som finns i TC341/WG1 skall hålla övriga medlemmar i Fältkommittén och projektgruppen för framtagande av en uppdaterad metodbeskrivning och även projektgruppen för förbättrad utvärdering informerad om arbetets framåtskridande avseende "Drilling Parameters Recording". Projektgruppen för framtagande av den nya metodbeskrivningen skall å andra sidan ge synpunkter på de arbetsdokument som underhandtas fram av TC341/WG1. Även övriga medlemmar i Fältkommittén bör om möjligt ge synpunkter på arbetsdokumenten. Gruppen "synkar" den nya metodbeskrivningen med relevanta delar i Europastandarden.

8 SAMMANFATTNING

Föreliggande studie visar att det både är angeläget att revidera och uppdatera befintlig metodbeskrivning och att också skaffa fler instrument och verktyg för utvärdering och tolkning. Idag finns all information tillgänglig för att revidera och datera upp befintlig metodbeskrivning men för utvärdering och tolkning krävs mer arbete med litteraturstudie, provning på befintliga sonderingsresultat men också nya fältförsök. Därför föreslås att fortsatta arbeten delas upp i två huvudprojekt. Ett som kan genomföras direkt och avslutas inom 6 månader och ett som kräver mer grundläggande arbete och längre tid för genomförande.

9 LITTERATUR

1. Nilsson, J. (2001). Utvärdering av jord-bergsonderingsresultat, Examensarbete, Luleå, 2001:322 CIV. (1)
2. (PEAB:s (Ulf Ekdahls) försök vid Knutpunkten i Helsingborg) – *inte tillgänglig*
3. Olsson, J. (2008). Utvärdering av Moräns hållfastegenskaper med jord-berg-totalsondering, Ex-jobb Luleå, 2008:211 CIV (3)
4. Påbörjad Europastandard, Drilling Parameters Recording. (4)
5. Wister, S. (2010). Jb-totalsondering – jämförande sonderingar och utvärdering av egenskaper i isälvsavlagringar kring Igelstaviken. Kungliga tekniska högskolan. Examensarbete. (5)
6. SGF notat 1:2009. Nilsson, G, och Löfroth, H. (2009) JÄMFÖRANDE SONDERINGAR - Jb-totalsondering, CPT och Hejarsondering. (6)
7. Möller, B, Bergdahl, U, Elmgren, K. 2004. Soil-rock sounding with MWD - a modern technique to investigate hard soils and rocks. Geotechnical and geophysical site

characterization. International conference on site characterization, 2, ISC 2, Porto, Portugal, 19-22 September, 2004. Proceedings, vol 1, pp 731-740. (7)

8. Andersson, C, Johansson, Å. 1998. Measurement While Drilling, MWD. Borrparametrar kontra bergets egenskaper uppmätta i kärnborrhål. Luleå tekniska universitet. Väg- och vattenbyggnad. Bergteknik / Luleå. Examensarbete 1998:342 CIV (8)
9. Carlswärd, C, Ekstam Wallgren, E. 2009. Utvärdering av MWD-teknikens möjligheter att identifiera vattenförande zoner vid Norra Länkenprojektet i Stockholm. Kungliga tekniska högskolan. Jord- och bergmekanik. Examensarbete / Master thesis 09/01. Stockholm. (9)
10. Apelqvist, C, Wengelin, A. 2008. Measurement While Drilling - hjälpmedel vid injekteringsborrning. en studie utförd på entreprenad NL 304 inom Norra Länken. Kungliga tekniska högskolan. Jord- och bergmekanik / Royal Institute of Technology. Soil and Rock Mechanics / Examensarbete / Master thesis 08/02. Stockholm. (10)
11. Bruno, A. 2009. Grouting operation monitoring and analysis of theRoyal Institute of Technology. Department of Civil and Architectural Engineering. Division of Soil and Rock Mechanics. Master thesis 09/04. Stockholm. (11)

SAMMANSTÄLLNING AV ENKÄTSVAR

Frågor:	Hanläggande geotekniker	Fältgeotekniker	Beställare	Fältgeotekniker	Fältgeotekniker	Fältgeotekniker
Användning						
Vilka metoder bör ingå i en ny metodskrivning?	-	Som den gamla, men även Jb-totalsondering	Jb1, Jb2, Jb3 samt Jb-tot. Fundera på om även sänkhammare kan komma ifråga.	JB1 JB2 JB-TOT	JB1,2,3 och tot	Jb1-3
Varför ska vi ha kvar Jb-1 som metod i metodbeskrivningen?	Förmodligen för att den användas som en manuell metod, dvs det behövs ingen datalogg för att dokumentera Jb-1.	Det finns alltid några i organisationerna som vill använda sig utav den ibland, och det beror säkert på vad människor är vana att jobba med. Tycker inte att den ska tas bort.	Om vi bara är ute efter att fastställa berytans nivå så kan denna metod vara tillfyllest. Kan utföras av ex Brunnborrare eller annan typ av utövare där man inte behöver ställa några särskilda krav.	JB1 ANVÄNDS BARA SOM SÅKERHET IFALL GIVARE ELLER DATOR GÅR SÖNDER. HALET SKRIVS OCH KLOCKAS FÖR HAND	Bra metod när man bara är intresserad av att veta djupet till berg. Dessutom är den upprättad i sektorn lättöverskådlig= lätt för beställaren att förstå sig på.	Vet ej.
Vad avgör idag om du föreskriver/använder Jb1, Jb2, Jb3 eller Jb-tot?	En bra och viktig fråga. Svaren borde vara kopplade till syftet med undersökningarna. Här finns det plats för guidning med exempel. T ex Jb 1 för bestämning av bergprofil i vägskärrning. Jb 2 för djupgrundläggning på berg (där bergets hållfasthet för grundläggning måste värdetas) och Jb 3 för noggrannare djupgrundläggning och/eller för ett hydrogeologiskt bedömningsunderlag. Enligt min bedömning består kompetensluckan idag av bristen på värdering av sonderingsresultaten i berg. Det är ytterst sällsynt att detta sker vilket är synd och detta skapar merarbete i form av extra kontroller i byggskedet. Vårt svenska berg har i normalfallet en överkapacitet när det gäller hållfasthet och detta kan verifieras normalt verifieras med Jb 2.	Geoteknikern som skriver berörplanen, men ibland påverkar jag som fältgeotekniker även för att de ska få det bästa resultatet att analysera.	Berörande på frågeställning. Berytans nivå, Jordlagerdelen, Bergdelen.	JB2 GER TILLRÄCKLIG INFO OCH ÄR ENKEL ATT UTFÖRA	Jag följer de anvisningar jag fått av respektive geohandläggare, men brukar föreslå JB2 istället för 1. Har bara utfört JB-tot i studesyfte.	Berörprogrammet.
Ska vi införa klasser, som beror av syftet med undersökningen?	Det kanske är en väg att gå.	Kan ibland vara till hjälp för geoteknikern, aldrig fel med lite hjälp om vilken metod som passar bäst för att få ut de data man vill ha.	Tycker jag inte eftersom detta kan skifta över tiden. Det är bättre att vi anger klasser som följer toleranser, krav etc sedan får "vi" själva avgöra vilken tillämpning dessa ska användas för.	NEJ	Det är ingen dum idé. T ex att ha en enhetlig klass för tunnlar eller andra undergrundskonstruktioner i berg.	Ja
Dina synpunkter på kalibrering och fältkontroll som krävs i dagens metodbeskrivningen?	-	Inga synpunkter, företaget har även egen policy för hur ofta det ska genomföras.	Inga synpunkter (kan detta för dåligt).	SAMMA DIM PÅ STÅL OCH KRONOR OAVSETT BORRIGGSMODEL SAMTEN BRÅ KRONA.MÅX 30-40M I BERG DÄRFÖRTER NYSLIPNING.SJUNKHASTIGH ETEN BÖR LIGGA PÅ 30-50 SEK/OCM FÖR ATT KUNNA JÄMFÖRA BH MELLAN OLIKA PROJEKT OCH	Tycker nog att det är bra som det är idag, men jag kan tänka mig att efterlevnaden skiljer sig mellan olika fältingenjörer. Jag tror att kalibrering och fältkontroll är något man ska trycka lite extra på under huvudkursen.	OK.

Frågor:	Hanläggande geotekniker	Fältgeotekniker	Beställare	Fältgeotekniker	Fältgeotekniker	Fältgeotekniker
Vad behöver förändras i metoderna för att du skall ha mer nytta av resultaten?	-	Inga kommentarer.	Jämförande studier med andra metoder för att få tag på egenskaper hos jord men även berg.	BORRIGGAR, JB3 TYCKER JAG ÄR FÖR KRÄNGLIGT.VI ANVANDER JB2 OCH KOMPLETTERAR MED DIAMANTBORRNING OM DET BEHOVS	Vet ej.	
Hur ofta använder ni JB-3 och varför?	Jag har aldrig stött på Jb 3.	Det beror på geoteknikern igen. Mina erfarenheter är att det är mer intressant när det borras för byggande av en bro.	Inre så ofta för tillfället men kan tänkas öka då det gäller grundläggning på berg (broar).	ALDRIG SE OVAN	Det är ca 4 år sedan jag använde JB-3 sist. Då var det i samband med Norra Länken projektet och för att beställaren ville ha det.	10-20 ggr/år.
Utrustning						
Är kraven på noggrannheter tillräckliga eller behöver de förändras? I så fall hur och varför?	-	Geoteknikerna har hittills varit väldigt nöjda med resultatet.	Vet för lite om detta.	TILLRÄCKLIGT	Är noggrannheterna tillräckliga för Eurokod?	Tillräckliga.
Vilka stänger använder ni vid Jb-sondering?	-	44 mm Geostänger	-	DIAMETER 44MM SECOROC-STÅL	Geostång 44mm	Geostång.
Vilken storlek på krona använder ni och varför?	-	57 mm stiftborkrona, och den fungerar bra med min borrarens möjligheter.	-	DIAMETER54MM BALLSTISKA STIFT BALLSTISKA PGA BRA BORRSJUNKNING OCH LÄTTARE ATT FÄSTA I SIÄNTBERG MINIMUM BV GEOTECH 604D	Ofast 57 och 64mm för att få upp ett tillräckligt grovt hål. Detta för att undvika spölstopp vid luftspolning under borrning i den slitiga morän som ofta förekommer i den region jag arbetar i.	57 mm av gammal vana.
Hur skall vi definiera en Jb-maskin?, vikt, effekt och mm?	-	Inga kommentarer, dock kan sägas att bara borrhödan och kallberingen efterlevs kan den vara vilken typ som helst.	Spontan känns det som om effekt och diameter, krona, borrhödan, spölmedla etc ska vara det som definierar Jb men detta får man väl titta på.	ENBART TILL SLAGBORRNING MED IGENSVEITSADE SPOLHÅL	Jag tycker att det räcker med slageffekt från hammaren samt rotationskraft och malmningskraft.	?
Hur ofta använder ni skärborkrona?	-	Har inte hänt ännu under mina 2,5 år.	Tror att detta används när man ska borkskaprovtagning.		Jag använder den ganska ofta eftersom jag har upptäckt att den fungerar bättre i kalkrik, slitig morän när man använder luftspolning.	Nästan aldrig.
Redovisning och utvärdering						
Finns ytterligare parametrar som är intressanta/möjliga att mäta?	-		Titta på Rockmas redovisning av sprickretkvens och hårdhet. Sedan kan det finnas annat som är av intresse också.	JORDLAGREN NER TILL BERG	Att få ett dragkt värde på vrtdmometer.	Nej.
Vad använder du resultaten från Jb-sondering till?	-		I normalfaller till att bestämma bergnivån men även för att bedöma bergets ytvittrings djup och motstånd. Även "jämnheten" i bortsjunkningen är intressant då detta säger något om bergets homogenitet.		Jag använder resultaten när jag ska välja andra metoder i fält samt när jag ska sätta gv-rör.	Levereras till handläggare.

Frågor:	Hanläggande geotekniker	Fältgeotekniker	Beställare	Fältgeotekniker	Fältgeotekniker	Fältgeotekniker
Hur kan redovisning av Jb sondering förbättras?	Jag vänder mig mot att man ofta ser att Jb2 redovisas som Jb 1 på ritning vilket är olyckligt.		Har inte funderat på detta, men kan återkomma om detta....		Genom att varje enskild fältingenjör redigerat sina borrhälsresultat och lägger in sin tolkning av genomborrad jordart i AG.	?
Gör du en vidare bearbetning av resultaten före utvärdering?	Jag känner inte till att det görs någon utvärdering. I gamla bronnteman finns tre bergklasser med direkt koppling till bergets hållfasthet. Det vore nog uppskattat av marknaden med en enkel guidning mellan bergklasser och sonderingsresultat.		Ine fn, men hoppas att konsulterna är sugna på detta!	JA-EFTER UTSKRIFT PÅ PAPPER LÄGGER VI IN NOTERINGAR:SPRICKOR,SPRIKZONER SAMT EV,HÖGT VATTENTRYCK,KAX-FÄRG,LER OCH SAND-LAGER M.M	Jag kontrollerar alltid mina resultat och gör en utskrift för att kolla att jag har fått med rätt jordartsbedömning och stoppkoder mm.	Nej.
Gör du någon jämförelse av resultaten mot andra metoder? I så fall på vilket sätt?	-		Jb vs HfA, SIBT, refraktionssesimik, reflektionssesimik, resistivitet men även georadar.		Jag jämför med andra metoder som utförts i närheten. Mest ett slags riktighetsbedömning mot CPT, skruv,Hfa mm	Nej.
Jämförande försök har gjorts med CPT,HfA, Jb-tot i isälvmaterial (SGF notat 1:2009). Bedömer ni att det finns potential i andra jordart för utvärdering av jordparametrar med hjälp av Jb-totalsondering eller kombination CPT/Jb-tot? Och i så fall vilka?	-		Morfänelera borde det fungera bra. Packade fyllning mot rörborrar men även andra moityllningar mot bro kanske man kan fundera på...		Det borde gå att göra i sand, fasta leror, torv och morän.	Nej.
Övrigt						
Övriga synpunkter på nu gällande metodbeskrivning? Vad är bra och vad bör förändras? Hur är efterlevnaden?	-		Beskrivningen bör vara väl definierad i olika klasser där det klart framgår vilka krav och toleranser som ska/kan uppnås. Efterlevnaden idag känns som att man följer den metodbeskrivning som finns – har inte haft anledning att misstänka något annat.		Skulle vilja få med att vid bormning från flöte el. likn. så ska man vara försiktig med matningskraften när man påbörjar sonderingen. Detta för att försäkra sig om att man inte får uböjning av stängerna. En bild skulle underlätta när det gäller toleranser för förslutning av borrhöronen.	?
Får vi tillräckligt bra kvalitativ information om berget vid Jb-sondering? Om inte vad kan förbättras?	Jag anser att man får tillräckligt bra information från fältet i och med klassindelningen Jb 1-3. Även om så består kunskapsluckan av att kunna värdera resultaten.		Trotz att här finns det något att utveckla (jfr Rockna ex).	HELT OK	Jag tycker det. Det finns kompletterande metoder om man vill ha mer info. T ex filmning av borrhål, hydrauliska metoder och kärnbormning	?

Frågor:	Hanläggande geotekniker	Fältgeotekniker	Beställare	Fältgeotekniker	Fältgeotekniker	Fältgeotekniker
Övriga kommentarer?	Det behövs marknadsföring av metoderna Jb 2 och 3 i grundläggingsbranschen. Allt för många känner inte till metoderna Jb2 och Jb 3. Jb 1 är väl känd som en mycket grov undersökningsmetod och den har inte särskilt gott rykte i grundläggingsbranschen.	Har försökt besvara de frågeställningar som jag har kunnat med min erfarenhet. Geoteknikerna har inte haft tid att sitta ner med mig så därför är vissa frågeställningar obesvarade.		VATTENSPOLNING BÖR ANVÄNDAS	Jag tycker att koden för organisk jord (34) bör kunna användas i sektionsritningar i AG.	

Svar från Övriga

Forskande geotekniker: Det här har jag ingen uppfattning om eftersom jag just inte använt metoden sedan övningarna i Tornhill för länge sedan. Det skulle i så fall vara att på frågan om den grövsta varianten fortfarande skulle vara kvar så tycker jag inte det.

Fd Fältansvarig: Tillåten mät-o-noggrannhet : det är ju så att i gamla standarden en tillåtet fel på 10% av fs på matningskraften och brukligt är att man vid Jb – sondering använder ca 750 kg matning när man använder 64 mm borrkrona och har man tex: en registreringsutrustning vars fs = 10 ton så kommer man inte upp till tillåtet fel när man sonderar.

Man borde ange tillåten felmarginal när det gäller matningstryck tex. +/- 50 kg i stället.

Man borde ange i tabellform dom olika rotationshastigheterna för dom vanligaste borrkronorna. (skall vara lätt för killarna att förstå och även använda)

Jb-3 skall inte ändras då det gäller reg. av spolvattentryck eller flöde. (Har vid tolkning av borresultat haft nytta av dessa parametrar huruvida det har varit det varit genomborrade block eller det har var tex. spolstopp som reg. i form av större borrmotstånd.)

Leverantör: Jag har inga betänkligheter när det gäller någon metod. Vare sig det gäller noggrannhet eller upplösning.

Dom flesta moderna mätsystem har nog inga problem att nå dom upplösningar som standarden säger idag.

Men jag kan ju bara redovisa för vårt system, i det kan ha minst 35 olika givare på CAN bus kabeln, med andra ord så spelar det ingen större roll vilka parametrar som sätts in i standarden.

Ofta är det dessutom givarna som är monterade på rigger som sätter gränserna.

Likadant är det med dom hydrauliska systemen, dom har en egenröghet som sätter gränser på vad som är möjligt att registrera eller inte.

Enda frågetecknet som jag delar med Thomas Andréén. Vartför mäts både tryck och flöde? Om man inte har något tryck så finns det väl inte något flöde, eller?

SGF Rapport/Report

- 1:93 Rekommenderad standard för CPT-sondering.
- 1:93E Recommended Standard for Cone Penetration Tests.
- 2:93 Rekommenderad standard för vingförsök i fält.
- 2:93E Recommended Standard for Field Vane Shear Test.
- 1:95 Rekommenderad standard för dilatometerförsök.
- 1:95E Recommended Standard for Dilatometer Tests.
- 2:95 Några pionjärprofiler i svensk geoteknik. SJ Geotekniska Kommission 1914–1922.
- 3:95 Proceedings of the International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT'95.
- 4:95 Kalk- och kalkcementpelare. Vägledning för projektering, utförande och kontroll.
- 4:95E Lime and Lime Cement Columns. Guide for Project Planning, Construction and Inspection.
- 1:96 Geoteknisk fälthandbok. Allmänna råd och metodbeskrivningar.
- 1:99 Tätskikt i mark. Vägledning för beställare, projektörer och entreprenörer.
- 2:99 Metodbeskrivning för Jord-bergsondering.
- 3:99 Metodbeskrivning för Viktsondering.
- 1:2000 Geotekniken i Sverige 1920–1945.
- 2:2000 Kalk- och kalkcementpelare. Vägledning för projektering, utförande och kontroll.
- 1:2001 Fälthandbok – Miljötekniska markundersökningar (ersätts av 1:2004).
- 1:2003 Att bygga med avfall. Miljörättsliga möjligheter och begränsningar för återvinning av avfall i anläggningsändamål
- 1:2004 Fälthandbok – Miljötekniska markundersökningar.
- 2:2004 Armerad jord och fyllning – Nordisk vägledning.
- 3:2004 NGM 2004 – XIV Nordic Geotechnical Meeting. May 19th – 21th 2004.
- 1:2006 Metodbeskrivning för Jb-totalsondering
- 2:2006 Metodbeskrivning för installation av inklinometerrör
- 1:2008 Användning av restprodukter inom EU
- 1:2009 Metodbeskrivning för provtagare med standardkolvprovtagare. - Ostörd provtagning i finkornig jord
- 2:2009 Åtgärds mål vid in-situsanering. Formulering och kontroll av åtgärds mål.
- 1:2010 Förorenade byggnader. Provtagning och riskbedömning.
- 1:2011 Stimulerad reduktiv deklorering. En praktisk handledning
- 2:2011 Klorerade lösningsmedel i mark och grundvatten – Att tänka på inför provtagning och upphandling
- 3:2011 Hantering och analys av prover från förorenade områden - Osäkerheter och felkällor
- 1:2012 EYGEC 2012 - Setting the scene for future European geotechnical research
- 2:2012 Triaxialförsök – en vägledning
- 3:2012 SGF:s dataformat
- 4:2012 Metodbeskrivning för jord- bergsondering
- 1:2013 Fälthandbok – Geoteknik
- 2:2013 Fälthandbok – undersökningar av förorenade områden
- 1:2014 Hantering av geotekniska risker i projekt – krav. Metodbeskrivning
- 2:2014 Riskidentifiering - Metoder för att hitta hot och möjligheter. Metodbeskrivning
- 1:2015 Förbättrad utvärdering av resultat från jord-bergsondering/MWD

Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) bildades 1950 och består av drygt 1200 enskilda medlemmar, med minst två års praktisk erfarenhet av geoteknik. Dessutom ingår ca 30 korporativa medlemmar i form av institutioner, högskolor, myndigheter, konsult- och entreprenadföretag samt tillverkare inom det geotekniska området.

SGF har till ändamål att främja utvecklingen inom geoteknik med grundläggning och miljöteknik i ett nationellt och internationellt perspektiv.

Föreningen företräder i Sverige den internationella föreningen, the International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE).

I SGF:s Rapport- och Notatserie utges föreningens metodbeskrivningar, monografier och dokumentation från konferenser, temadagar m.m.



Svenska Geotekniska Föreningen
Swedish Geotechnical Society

c/o Arokad, 417 57 Göteborg Tel: 031-773 47 03
Internet: www.sgf.net E-post: info@sgf.net