

CHALMERS



Sprängskadezonsutbredning och teoretisk sprängskadezon

En studie av fem bergtäkter i Västra Götalands län

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och Vattenbyggnad

JOSEFINE RUBINSSON

JOHANNA RÖNNER

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik
Forskargruppen Teknisk Geologi
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2007
Examensarbete 2007:61

EXAMENSARBETE 2007:61

Sprängskadezonsutbredning och teoretisk sprängskadezon

En studie av fem bergtäkter i Västra Götalands län

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och Vattenbyggnad

JOSEFINE RUBINSSON & JOHANNA RÖNNER

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik
Forskargruppen Teknisk Geologi
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2007

Sprängskadezonsutbredning och teoretisk sprängskadezon
En studie av fem bergtäkter i Västra Götalands län
Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och Vattenbyggnad
JOSEFINE RUBINSSON & JOHANNA RÖNNER

© Svenska Väg- och Vattenbyggares riksförbund (SVR), 2007

Examensarbete 2007:61
Institutionen för bygg och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik
Forskargruppen Teknisk Geologi
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Bilder till vänster: Sprängning i Karlshaga bergtäkt, 2006-10-19 (övre), Sprängning i
Terås bergtäkt, 2006-11-06 (undre). Bilder till höger: Sprängning i Gategård bergtäkt,
2006-10-31 (övre), Sprängning i Järpås bergtäkt, 2006-10-25 (undre).

Chalmers Reproservice/ Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2007

Establishment of the damaged zone in rock after blasting
- A study of five gravel pits in Västra Götaland, Sweden
Master's Thesis in Civil and Environmental Engineering
JOSEFINE RUBINSSON & JOHANNA RÖNNER
Department of Civil and Environmental Engineering
Division of GeoEngineering
Engineering of Geology Research Group
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Today the damaged zone from blasting in rocks is determined by using a table in *Anläggnings AMA 98*. One of the problems of establishing the damaged zone is while *Anläggnings AMA 98* mentions that geological differences should be taken into account, it does not provide any input on how to do so. The purpose of our work is to examine common Swedish types of bedrock to establish how the geological parameter affects the damaged zone. The project consists of the examination of five gravel pits. After blasting, a core drill was used to extract rock cores from the presumed marks of the borrrpipe against the wall 10 meters into the rock. The following tests have been made on the rock cores: ultrasonic measuring, point load test, brasilien tensile strength test, density qualifier, porosity qualifier and thin section analysis. The tests were used to establish the amount of micro fractures the various samples contained. Porosity and ultrasonic has been used to establish the damaged zone with a micro crack theory. This has been made through the assumption that porosity and ultrasonic values correlate. A comparison has been made between macro crack theories (Sjöberg's, Ouchterlony's and vibration) and the micro crack theory. Sjöberg's theory is improved with empirical results. It is the one today used in *Anläggnings AMA 98* for cautious blasting. No correlation was found between Sjöberg's theory and the vibrations theory compared to the micro crack theory. Only a poor comparison could be made between Ouchterlony's theory and the micro damaged zones established by our tests. The amount of energy contributing to the damaged zone is unknown to us today, as established methods of measurement for this do not exist. Regardless, being knowledgeable about what you are blasting is of equal importance to being knowledgeable about the explosives you are using. The results from the five gravel pits are a testament to this as the damaged zone in the pits have notable range with Gabbro showing a damaged zone of 0,46 m, much smaller than the Granites that have a damaged zone of 1,35-3,34 m.

Key words: damaged zone, geological parameters, blasting, rock, micro crack theory, macro crack theory, vibration theory, gravel pits

Sprängskadezonsutbredning och teoretisk sprängskadezon
En studie av fem bergtäkter i Västra Götalands län
Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och Vattenbyggnad
JOSEFINE RUBINSSON
JOHANNA RÖNNER
Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik
Forskargruppen Teknisk Geologi
Chalmers Tekniska Högskola

SAMMANFATTNING

Idag fastställs sprängskadezonen genom bestämning av den ”teoretiska sprängskadezonen”. Detta innebär att man i en tabell kopplar typ och mängd sprängmedel till den skada som bör ha uppstått. Det finns dock problem vid fastställandet av den teoretiska sprängskadezonen. Ingen hänsyn tas till det geologiska material sprängningen utförs i. I *Anläggnings AMA 98* står det förvisso att hänsyn ska tas till bergets egenskaper, dock inte hur.

Detta examensarbete är ett första i en serie av arbeten för att klarlägga hur de geologiska parametrarna påverkar en bergarts sprängskadebenägenhet. Projektet innefattar undersökningar i fem bergtäkter. Efter sprängning i dessa utfördes en horisontell kärnbörning från kvarstående borrhypa 10 meter in i bergmassan. På borrhyporna har sedan en rad olika försök gjorts såsom ultrasoniska mätningar, punktlasttest, brasilien dragtest, densitetsbestämning, porositetsbestämning och tunnslipsanalys. Alla dessa försök tar hänsyn till mikrosprickor.

Till hjälp vid fastställandet av sprängskadezonen i de fem bergtäkterna användes en mikrospricksteori [8]. Denna tillsammans med resultaten från de utförda försöken har legat till grund för den framtagna sprängskadan i Tabell 1.

Tabell 1. *Sprängskada uppmätt med hjälp av mikrospricksteori, ultrasoniska mätningar och porositetsbestämning.*

Täkt	Bergart	q [kg/m]	R _c [m]
Karlshaga	Storkornig granit med inslag av grönsten	6,44	3,34
Gategård	Fin till medelkornig granodiorit med pegmatitgångar	3,03	0,76
Terås	Medelkornig alkaligranit, delvis metamorf	5,26	1,35
Gillstad	Medel- till grovkornig gabbro med inslag av granofyr och basalt	3,45	0,46
Äskekärr	Medelkornig granit med viss antydning till förskiffning	3,45	2,43

Sprängskadan har jämförts mot två makrospricksteorier (Sjöbergs och Ouchterlony) och en vibrationsteori. Sjöbergs teori tillsammans med empiriska försök är det som

idag finns sammanställt i en tabell i *Anläggnings AMA 98*. Vid jämförandet hittades ingen korrelation. Det är dock tveksamt om Ouchterlonys teori överhuvudtaget kan jämföras mot vår framtagna sprängskada. De två makrospricksteorierna är båda framtagna för slätsprängning medan de utförda försöken gjorts vid ballastproduktion. Sambandet mellan makrosprickor och mikrosprickor i olika bergarter skiljer sig också åt. Detta kan vara anledningar till att de inte korrelerar med varandra.

Andra problem vid jämförelse mot Sjöbergs teori är att denna inte tar hänsyn till någon geologisk faktor och försöken som teorin baseras på är utförda med betydligt lägre laddningskoncentrationer än vad som använts vid "våra" sprängningar. Vid jämförelse mot Ouchterlonys teori kan bergparametern, K_{ic} , ifrågasättas då värdena vi använt är tagna ur en tabell [16] och därför inte helt stämmer överens med bergarterna i täkterna. För att Ouchterlonys teori ska ge rättvisande värden behöver borrhålen vara frikopplade, vilket endast stämmer in på två av täkterna. När det gäller vibrationsteorin är det svårt att ta fram vibrationer för enskilda detonationer då en hel salva sprängts som i vårt fall.

Slutsatser om de geologiska och mekaniska parametrarna som undersökts i arbetet följer nedan.

- Det finns ett visst samband mellan porositet och ultrasonik, där låg porositet medför hög ultrasonik. Dessa parametrar har visat sig kunna fastställa en sprängskada.
- En sprängskada och mikrosprickor uppvisas inte bara vid bergväggen utan även långt in i bergets svaghetszoner. Detta är anledningen till att en och samma bergart ibland kan ha större variationer på sina mätbara parametrar än olika bergarter.
- Sega bergarterna har ofta högre värden på sina hållfasthetsparametrar och på sin p-vågshastighet jämfört med sprödare bergarter. Med detta som grund kan sprängskadan antas bli mindre i sega bergarter.
- Varje bergart har sin egna kritiska svängningshastighet. Detta har bland annat vibrationsmätningarna visat på. Bergarterna har olika porositet och p-vågshastighet vilket styrker detta påstående.

Nyckelord: sprängskadезон, geologiska parametrar, bergsprängning, sprickor, mikrospricksteori, makrospricksteori, vibrationsmätning

Innehåll

ABSTRACT	I
SAMMANFATTNING	II
INNEHÅLL	V
HANDLEDARNAS FÖRORD	IX
FÖRORD	XI
BETECKNINGAR	XII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och avgränsningar	1
2 FÖRUTSÄTTNINGAR	2
2.1 Geologisk beskrivning ur ett regionalt perspektiv	2
2.2 Geologisk beskrivning ur ett lokalt perspektiv	5
2.2.1 Karlshaga	5
2.2.2 Gategård	7
2.2.3 Terås	8
2.2.4 Gillstad	9
2.2.5 Äskekärr	10
3 LITTERATURSTUDIE	12
3.1 Energi	12
3.1.1 Sprängningsförloppet	13
3.1.2 Jämförelse mellan olika sprängmedel	13
3.1.3 Jämförelse mellan olika berggrundsgeologiska förutsättningar	15
3.2 Sprickor	16
3.2.1 Sprickinitiering	17
3.2.2 Sprickpropagering	17
3.3 Teorier om sprängskadezon	18
3.3.1 Makrospricksteori 1	18
3.3.2 Makrospricksteori 2	20
3.3.3 Mikrospricksteori	21
3.3.4 Modell för vibrationsmätningarna	21
4 METODBESKRIVNING	24
4.1 Sprängningsutförande	24
4.1.1 Karlshaga	24
4.1.2 Gategård	25
4.1.3 Terås	25
4.1.4 Gillstad	25
4.1.5 Äskekärr	25

4.2	Vibrationsmätning	27
4.3	VOD-mätning	29
4.4	Kärnbörning	29
4.5	Kärnkartering	31
4.6	Ultrasoniska mätningar	31
4.7	Hållfasthetstester	31
4.7.1	Punktlasttest	32
4.7.2	Brasilien dragtest	33
4.8	Densitetsbestämning	33
4.9	Porositetsbestämning	33
4.10	Tunnslipsanalys	34
5	RESULTAT	35
5.1	Karlshaga	35
5.1.1	Kärnkartering	35
5.1.2	Bergartstester	35
5.2	Gategård	37
5.2.1	Kärnkartering	37
5.2.2	Bergartstester	38
5.3	Terås	40
5.3.1	Kärnkartering	40
5.3.2	Bergartstester	41
5.4	Gillstad	42
5.4.1	Kärnkartering	42
5.4.2	Bergartstester	42
5.5	Äskekärr	44
5.5.1	Kärnkartering	44
5.5.2	Bergartstester	44
5.6	Tunnslipsanalys	46
5.7	Teorier	48
5.7.1	Makrospricksteori 1	48
5.7.2	Makrospricksteori 2	49
5.7.3	Mikrospricksteori	50
5.7.4	Vibrationsmätningarna	52
5.8	VOD-mätning	52
6	DISKUSSION	53
6.1	Mikrospricksteori	53
6.2	Hur hänger de geologiska parametrarna ihop?	56
6.3	Jämförelse mellan teorierna	61

7	SLUTSATS	64
8	FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE/ STUDIER	65
9	REFERENSER	66
9.1	Litteratur	66
9.2	Internetkällor	68
9.3	Muntliga källor	69
10	BILAGOR	

Handledarnas förord

Föreliggande examensarbete av Josefine Rubinsson och Johanna Rönner är det första i en serie av examensarbeten vid *Avdelningen för Geologi och Geoteknik, Institutionen för Bygg och miljö, Chalmers Tekniska Högskola*, som behandlar geologins inverkan på skadezonsutbredning i bergmassan vid fragmentering genom sprängning. Geologins betydelse vid sprängning i berg är generellt dåligt utredd, här finns ett betydande kunskapsglapp och ett stort behov att kartlägga de styrande parametrarna.

Avsikten med föreliggande arbete har varit att utgående från några vanliga bergarter använda i bergtäktssammanhang bestämma skadezonsutbredningen kring de kvarstående salvhålen med olika metoder bl.a. ultrasonik, densitet och hållfasthetsparametrar. Valet av bergarter i denna första ansättning har varit att prova ett antal bergarter med en mineralogi varierande från sur till basisk eller om man så vill från spröd till seg. Bergarterna har även valts ut så att de varit kornstorleksmässigt och bergväxtmässigt så lika som möjligt. Geologiskt kan antalet påverkande parametrar antas vara mycket stort och huvudsakligen indelas i tre större grupper: A) mineralogi, B) kornstorlek/ bergväxt samt C) tektonisk påverkan.

Genom att provmaterialet uttas med kärnbörning med långa borrhävar från salvhålen erhålls säkra värden på oskadat bergs p-vågshastighet som sedan kan jämföras med hastigheterna i skadezonen. I detta sammanhang erhålles även data på p-vågshastigheterna kring naturliga krosszoner och sprickor i berggrunden. Omfattning av dessa låghastighetszoner ger en uppfattning om hur ”krossningsbenägen” en bergart är.

Att studera geologiska orsaker är på många sätt ett besvärligt arbete. Den naturliga variationen i det geologiska materialet gör att det kan vara svårt att bestämma vad som är orsakat av sprängning och vad som är naturlig variation. Följden blir att det krävs mycket arbete och stora mätserier för att kunna avgöra vad som kan betecknas som sprängskada.

Rubinsson och Rönner har haft den ofta otacksamma uppgiften att med hjälp av borrhävar från fem olika bergtäkter testa ett flertal olika metoder för att mäta sprängskada. Författarna har genomfört detta väl och utan att övertolka materialet kunnat påvisa stora variationer i sprängskada mellan de fem platserna, variationer som i stor omfattning kan härledas till geologiska parametrar. Rubinsson och Rönner har genomfört undersökningar i fält och laboratoriet samt bearbetat och redovisat erhållna mätdata på ett förtjänstfullt sätt.

Resultaten av Rubinssons och Rönners examensarbete visar på att man bör hålla geologin konstant och variera sprängämnet / sprängningsförfarandet på olika sätt i nästa examensarbete i serien. Detta innebär att två täkter av de fem undersökta kommer att väljas ut med sprängning i enhålsrader med varierande laddningar och frikopplingsgrad. I dessa försök kommer en basisk/seg och en sur/spröd bergart att användas.

Bo Ronge

Mathias Jern

Migmatit AB

Nitro Consult AB

Förord

Detta examensarbete har utförts vid institutionen för geologi och geoteknik, Chalmers Tekniska Högskola, på uppdrag av SVR, Svenska Väg- och Vattenbyggares riksförbund. Initiativtagaren till examensarbetet är Bo Ronge, Migmatit AB och arbetet är en vidareutveckling av Mathias Jerns doktorsavhandling, "The Geological Conditions for Aggregate production, with special focus on blasting and fines production" (2004).

I och med avslutandet av denna rapport vill vi framföra ett stort tack till följande företag och personer, som stöttat oss i vårt arbete:

- **Mathias Jern** (handledare, Nitro Consult AB) för utförda vibrationsmätningar och sammanställning av dessa samt för litteraturhänvisning och kunskap.
- **Bo Ronge** (handledare samt initiativtagare till examensarbetet, Migmatit AB) för stort engagemang och kunskap och för att ha gjort arbetet möjligt.
- **Gunnar Gustafsson** (examinator) för att ha åtagit sig detta examensarbete.
- Våra sponsorer som gjort detta examensarbete möjligt: **SBUF**, Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, **Banverket Region Väst, Vägverket Region Väst, NCC Roads AB** och **Skanska Sverige AB**.
- **Ingemar Moström** (SVR representant) som funnits som stöd vid våra möten och för att ha läst igenom arbetet och kommit med konstruktiv kritik.
- **Kurt Fröberg** (SVR representant) som funnits som stöd vid våra möten samt för alla frågande kommentarer.
- **Jan-Olov Bergling** (Nitro Consult AB) för hjälpen med vibrationsmätningarna och svaren på frågor vi haft.
- **Lars Granlund** och **Patrik Norén** (Orica Mining Services) för utförda VOD-mätningar samt svaren på alla frågor vi haft under tiden.
- **Bo Bergman** (BorrBolaget) för ett väl utfört arbete.
- **Kjell Helge** (Mino prep) för utformning av tunnslip.
- **Peter Sutherland** för hjälp med sågning och närvarande av ditt glada sinne.
- **Peter Hedborg, Aaro Pirhonen** och **Marek Machowski** (Chalmers Tekniska Högskola) som har ställt upp och hjälpt oss med laborationsutrustning och dylikt under arbetets gång.
- Alla som har deltagit på våra möten och varit engagerade ute i tåkterna: **Ove Ahlberg** (Skanska Sverige AB), **Bo-Gunnar Andersson** (Voglers Sverige AB), **Sixten Andersson** (Utlastare, Karlshaga), **S-O Båvik** (Vägverket), **Jerker Carlström** (Skanska Sverige AB), **Bert Emanuelsson** (Voglers Sverige AB), **Magnus Ericsson** (Swerock), **Anders Johansson** (Skanska Sverige AB), **Jan Johansson** (Voglers Sverige AB), **Jörgen Johansson** (Skanska Sverige AB), **Pär Johnning** (NCC Roads AB), **Göran Karlsson** (NCC Roads AB), **Lennart Kron** (Skaraborgs grus AB), **Gustaf Magnusson** (NCC Roads AB), **Roland Netterlind** (Bergsprängningsentreprenörernas förening), **Hans Thorängen** (Östervallskogs allteknik), **Per-Ove Thorängen** (Östervallskogs allteknik) och **Claes Vogler** (Voglers Sverige AB).

Ett stort tack till alla er andra som har stöttat och gett oss frågande kommentarer.

Göteborg maj 2007

Josefine Rubinsson och Johanna Rönner

Beteckningar

Latinska versaler

D	sprängämnets detonationshastighet [m/s]
F	korrektionsfaktor faktor
H	laddningens längd [m]
K	konstant
K_{IC}	bergets brottseghet, det vill säga dess motståndskraft mot sprickutbredningen [$Pa\sqrt{m}$]
I_s	punktlastindex [Pa]
$I_{s(50)}$	punktlastindex för 50mm tjocka provkroppar [Pa]
P	kraft vid brott [N]
PdV	utfört eller tillfört arbete på systemet
Q	explosionsenergi (reaktionsvärme) [MJ/kg]
Q_0	referensvärde (5,00MJ/kg, värde för ANFO- sprängmedel) [MJ/kg]
R	avståndet från borrhålet [m]
R_c	sprängskadezonddjupet [m]
S_{ANFO}	viktstyrka relativt ANFO- sprängmedel
$S_{dynamex}$	viktstyrka relativt dynamex
T	temperatur [K]
V_{g0}	referensvärde (0,85m ³ /kg, värde för ANFO- sprängmedel) [m ³ /kg]
V_g	sprängämnets gasvolym [m ³ /kg]
V'_p	P-vågshastigheten [m/s]
V_p	P-vågs maxvärdet [m/s]
W	laddningvikten [kg]

Latinska gemena

c	p-våghastighet [m/s]
d	provkroppens diameter [m]
dq	ändring av tillförd eller borttagen värme
dS	entropiändring (oordning i ett system)
dU	förändring av ett system inre energi (gasernas inre energi)
e	sprängämnets relativa explosionsenergi [MJ/kg]
f	ϕ_e / ϕ_h kopplingsgraden är 1 för fulladdat hål
l	laddning per meter [kg/m]
p_h	borrhålstrycket [Pa]
$p_{h,crack}$	borrhålstrycket som krävs för att sprickor ska bildas [Pa]
q	laddningskoncentrationen [kg/m]
Q	explosionsenergi (reaktionsvärme) [MJ/kg]
r	avståndet mellan detonation och observationspunkt [m]
r_0	avstånd mellan mätpunkt och detonation [m]

t	provkroppens tjocklek [m]
t_p	tiden [s]
v_g	sprängämnets relativa gasvolym
v	svängningshastigheten [mm/s], [m/s]
W	laddningsvikt (oftast laddningen i ett borrhål) [kg]
x	borrkärnans längd [m]
x_0	nivå för mätpunkten [m]
x_s	nivån där laddningen börjar [m]

Grekiska alfabetet

α	konstant
β	konstant
γ	adiabatisk expansionsexponent för sprängämnet
σ_c	tryck hållfastheten [Pa]
σ_t	drag hållfastheten [Pa]
ϕ_e	laddnings diameter [m]
ϕ_h	borrhåls diameter [m]
ρ_e	sprängämnets densitet [Kg/m ³]
ω	Skadeparameter

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Sprängskadezon är ett begrepp som figurerar i de flesta sammanhang där sprängningsarbeten utförs. Sättet denna bestäms är via en tabell som kopplar typ och mängd sprängmedel till den skada som bör ha uppstått från den aktuella sprängningen. Detta kallas för bestämning av den ”teoretiska sprängskadezonen”

Den teoretiska sprängskadezonen används i stor omfattning i kontraktshandlingar för att styra sättet entreprenören borrar och laddar. Ursprunget till den teoretiska sprängskadezonen är testsprängningar där olika metoder har används för att mäta upp sprickbildningen kring borrhål [15, 23]. Denna tabell finns bland annat med i *Anläggnings AMA 98*.

Problemet med den teoretiska sprängskadezonen är att ingen hänsyn tas till det geologiska materialet sprängningen utförs i. I *Anläggnings AMA 98* står det visserligen att hänsyn ska tas till bergets egenskaper, dock inte hur.

Det är välkänt att geologin har en stor betydelse för hur sprängmedlet påverkar omgivningen. Viktiga parametrar i berget som påverkar sprängskadezonen är till exempel mineralogi, kornstorlek, intermineraliska bindningar, sprickor, vattenhalt etc.

Detta examensarbete utgör en första del i en serie av arbeten för att klarlägga hur de geologiska parametrarna påverkar en bergarts sprängskadebenägenhet.

1.2 Syfte och avgränsningar

Syftet är att belysa berggrundens sprängskadebenägenhet relaterat till mineralogisk sammansättning, det vill säga spröda till sega bergarter. Undersökningar av vanliga svenska bergarter ska försöka klarlägga hur de geologiska och mekaniska parametrarna såsom mineralogi, porositet, densitet och hållfasthet påverkar en bergarts sprängskadebenägenhet.

Försöken har genomförts med avsikten att kartlägga sprängskadan genom att analysera nybildandet av mikrosprickor. Idag finns ett flertal teorier som räknar fram sprängskada i form av makrosprickor. Några av dessa studeras närmare för att se om de korrelerar med resultaten från våra försök.

Fem bergtäkter i Västra Götaland län har valts ut till detta examensarbete. Variationen i bergmaterialet innefattar spröda till sega bergarter med variation i kornstorlek.

2 Förutsättningar

Till undersökningarna i detta examensarbete har fem täkter i Västra Götaland valts ut, (Karlshaga, Gategård, Terås, Gillstad och Äskekärr) se Figur 2.1. Dessa täkter har varierande geologi och kornstorlek, där Gillstad är den täkt som kan betraktas som seg, Gategård mittemellan och de andra något mer åt det spröda hållet. En närmare beskrivning av den regionala och lokala geologin följer nedan.



Figur 2.1 Geografisk placering av de undersökta täkterna.

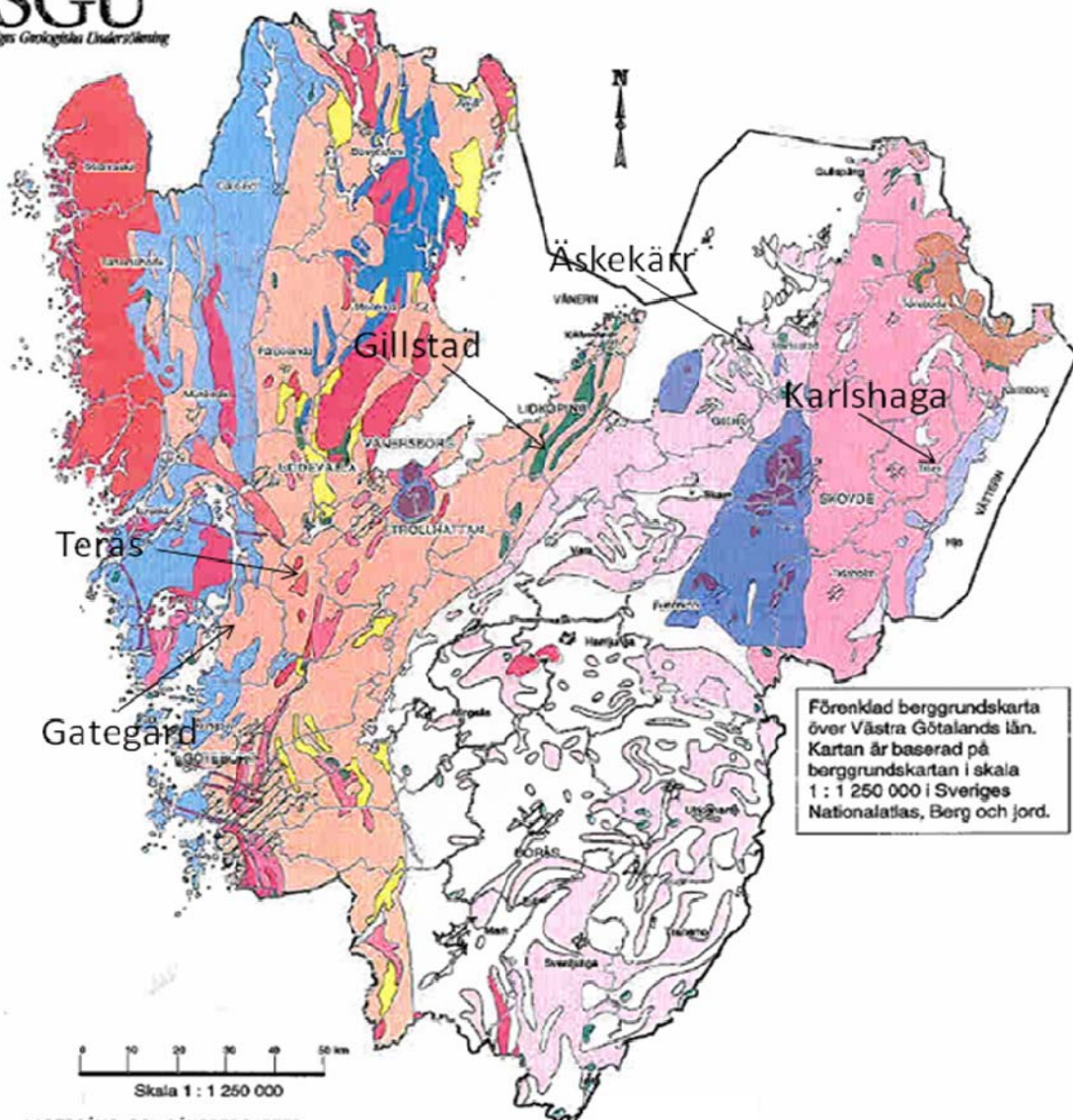
2.1 Geologisk beskrivning ur ett regionalt perspektiv

Den största delen av berggrunden i Västra Götalands län består av olika typer av gnejser. Detta är anledningen till varför urberget i sydvästra Sverige benämns ”den sydvästsvenska gnejsregionen”. Det har tagit lång tid för det kristallina urberget i Västra Götaland att utvecklas till vad det är idag, mellan 1900 och 900 miljoner år. Berggrunden utgörs huvudsakligen av metagranitoider, men även metasedimentära och metavulkaniska bergarter, vilka genomgått stark omvandling.

I den nordvästra delen av länet är den dominerade bergarten granit och i den nordöstra delen påträffas olika djupbergarter som är till största delen antingen massformiga eller forskiffrade. Dessa djupbergarter är en del av det så kallade Transskandinaviska magmatiska bältet som sträcker sig från sydöstra Sverige mot nordväst.

Längs Vätterns västra strand tar de sedimentära bergarterna över, vilka överlagrar djupbergarterna. Dessa bergarter bildades för 800-700 miljoner år sedan, så kallade Visingsögruppen. I figur 2.2 nedan visas berggrundskartan över Västra Götaland med de fem bergtäkterna utmärkta på kartan [1].

Berggrunden är sällan helt homogen. Det förekommer inhomogeniteter i form av berggrundsvariationer som till exempel gångbergarter och inneslutningar av främmande bergarter. Berggrunden i länet är även deformerad och omvandlad i varierande grad på flera ställen [1].



Lagergång- och Gångbergarter

- Urbas, porfyr
- Metadiabas (15/0 miljoner år)

Ytbergarter

- Sandsten, skiffer, kalksten (040-420 miljoner år)
- Sandsten (visningsgruppen, ca 800-700 miljoner år)
- Metasedimentär bergart, basisk metavulkanisk bergart (Dalslandsgruppen, ca 1100 miljoner år)
- Metasedimentär bergart, basisk metavulkanisk bergart (Stora Le-Marsstrandsgruppen, ca 1600 miljoner år)
- Sur metavulkanisk bergart (ca 1650 och 1610 miljoner år)
- Metasedimentär bergart (ca 1900 miljoner år)
- Basisk metavulkanisk bergart (ca 1900 miljoner år)

Djupbergarter

- Pegmatit
- Granit (Bohusgranit, ca 920 miljoner år)
- Gabbro, anortosit (ca 920 miljoner år)
- Granit, monzonit, syent, stallvis gnejsig (ca 1560-1220 miljoner år)
- Granit, ogontorande, gnejsig
- Granitoid, gnejsig, stallvis adrad (B-granitoid, ca 1590 miljoner år)
- Granitoid, gnejsig, vanligen adrad (ca 1700-1600 miljoner år)
- Granit, Gnejsig, stallvis adrad (ca 1700-1600 miljoner år)
- Granit, kvartsmonzonit, kvartssyent (Iransskandinaviska magmatiska bältet, ca 1850-1760 och ca 1700-1660 miljoner år)
- Granitoid, stallvis gnejsig (ca 1890-1880 miljoner år)
- Gabbro, diorit, amfibolit

Figur 2.2 Berggrundskarta över Västra Götaland. I figuren visas var de fem bergtäkterna är lokaliserade [1].

2.2 Geologisk beskrivning ur ett lokalt perspektiv

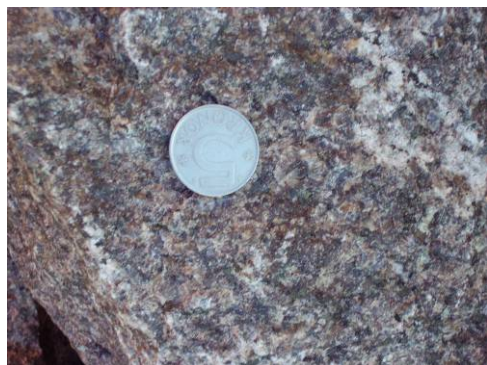
I detta kapitel följer en beskrivning av geologin i de fem bergtäkterna som studerats. En kort beskrivning av de olika bergartsbegreppen som påträffas i texten finns i ordlistan i Bilaga 1 och information om de ingående mineralernas struktur, utseende och egenskaper finns i Bilaga 2. Blockstorleken i texten har angetts som storblockig, normalblockig eller småblockig. Definitionen av dessa blockgrupper finns i Bilaga 46. Kornstorleken har tagits fram genom tunnslipsanalys.

Huvudspänningarna i Västra Götaland går i västnordvästlig riktning [43]. Denna riktning har varit dominerande under lång tid. Dock har sprickorna uppkommit under hundra miljontals år och under denna tidsperiod har även andra huvudspänningsriktningar funnits. Från huvudspänningar uppstår dragsprickor och skjvsprickor. Dragsprickor uppkommer parallellt med huvudspänningen och skjvsprickor i huvudsak 30° från den [26]. Avlastningssprickor förekommer också. Dessa har bland annat bildats då inlandsisen smälte, men också då berget avlastats i form av vittring.

De dominerande sprickriktningarna i respektive täkt har tagits fram och åskådliggörs med hjälp av sprickrosor och polplottar. Eftersom sprickrosen är tvådimensionell visar den endast de vertikala sprickorna. Sprickor som har en stupning mindre än 45° syns därför inte i sprickrosen. I polplotten däremot åskådliggörs alla uppmätta sprickor. Vid ballastproduktion bör bergväggen ligga parallellt med den dominerande sprickriktningen för att ge det bästa styckefallet och därmed minimera skut [6, 43].

2.2.1 Karlshaga

Bergtäkten i Karlshaga utanför Tibro består av alkaligranit med inslag av grönsten, där kornstorleken varierar mellan 0,1-10 mm, se Figur 2.3 och 2.4 nedan. De huvudsakliga mineralerna i alkaligranit är kvarts, fältspat och glimmer och i grönsten amfibol, klorit, epidot och albit.



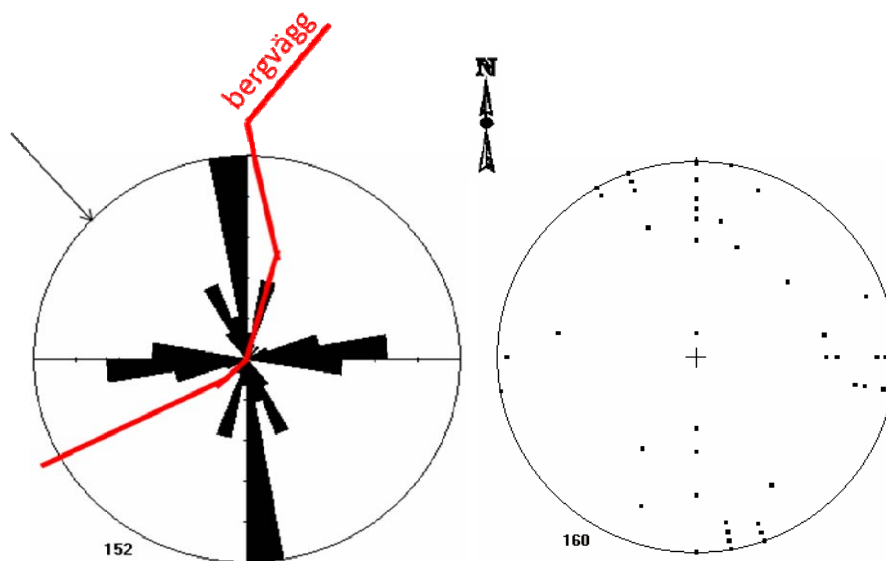
Figur 2.3 Graniten i Karlshaga bergtäkt.



Figur 2.4 I Karlshaga bergtäkt kan inslag av grönsten förekomma.

Berget i Karlshaga har en hög naturlig inspänning på grund av Vättersänkan och dess förkastningar. Detta medför att mineraler med låg hållfasthet självspricker då berget frigörs från den höga inspänningen. Vid sprängning och krossning av berget omvandlas därför kalifältspaten i täkten till ett material med en fraktion mindre än 0,002 mm, vilket motsvarar ett lermaterial [36]. Detta lermaterial är orsaken till den röda marken och det röda vattnet i täkten.

Bergtäkten i Karlshaga består av ett normalblockigt berg. De dominerande riktningarna $N180^{\circ}/60^{\circ}$ och $N80^{\circ}/90^{\circ}$ framgår i Figur 2.5 nedan.



Figur 2.5 Strykning och stupning av sprickplanen i Karlshaga. Vid skapandet av sprickrosen (till vänster) har 152 värden använts och vid skapandet av polplotten (till höger) har 160 värden använts. Bergväggen som sprängningen ägde rum i är inritad i sprickrosen. Pilen i figuren visar riktningen för kärnborrningen.

2.2.2 Gategård

Bergtäkten i Gategård ligger 1,5 km nordost om Stenungsunds centrum. Den dominerande bergarten är en granodiorit där de huvudsakliga mineralerna är fältspat, kvarts och mörka mineral såsom biotit och hornblände, se Figur 2.6 nedan. En annan viktig bergart i Gategård är ådergnejs som här är mycket biotitrik, se Figur 2.7 nedan. I ådergnejsen växlas granitiska ådror med ett mörkare gnejslikt material vars riktningar varierar. Även mindre pegmatitgångar, med mineralsammansättningen kvarts, kalifältspat, plagioklas och glimmer, återfinns i denna täkt. Kornstorleken i Gategård varierar främst mellan 0,1-2 mm.

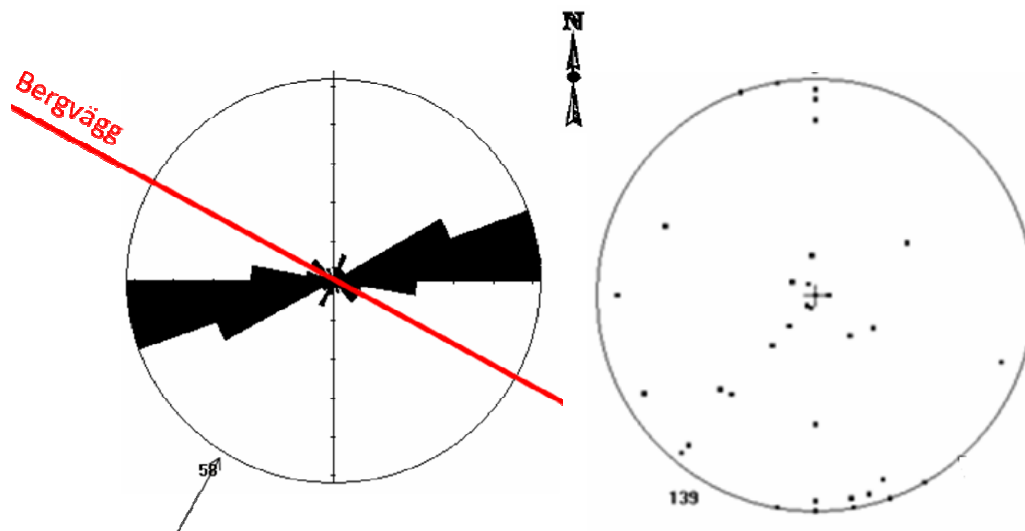


Figur 2.6 Granodioriten i Gategård bergtäkt.



Figur 2.7 Ådergnejsen i Gategård bergtäkt.

Vid sprängning i Gategård måste hänsyn tas till att det är storblockigt för att undvika skut i stor utsträckning. Huvudriktningarna i sprickplanen är enligt Figur 2.8 nedan N250-270°/80-90° och N30°/10°. Tydliga halvpipor uppträder efter sprängning i denna täkt, vilket har underlättat vid kärnboringen.



Figur 2.8 Strykning och stupning av sprickplanen i Gategård. Vid skapandet av sprickrosen (till vänster) har 58 värden använts och vid skapandet av polplotten (till höger) har 139 värden använts. Bergväggen som sprängningen ägde rum i är inritad i sprickrosen. Pilen i figuren visar riktningen för kärnborrningen.

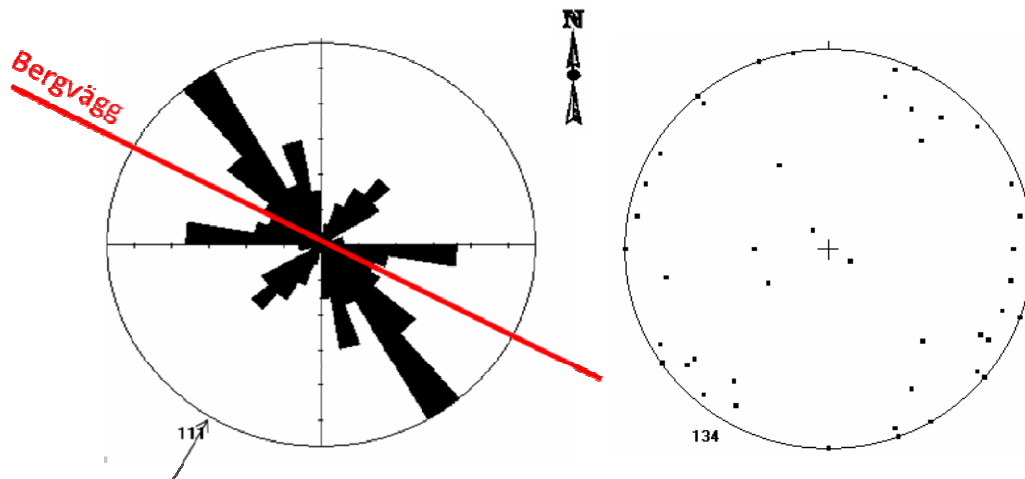
2.2.3 Terås

Denna bergtäkt är belägen mellan Ljungskile och Lilla edet. Här består berggrunden nästintill uteslutande av alkaligranit med mineralerna kvarts, fältspat och glimmer. Kornstorleken ligger mellan 0,1-2 mm, se Figur 2.9.



Figur 2.9 Den gnejsiga graniten i Terås bergtäkt.

Berget i Terås är normalblockigt och de dominerande sprickriktningarna är N300-330°/70-90° se Figur 2.10 nedan.



Figur 2.10 Strykning och stupning av sprickplanen i Terås. Vid skapandet av sprickrosen (till vänster) har 111 värden använts och vid skapandet av polplotten (till höger) har 134 värden använts. Bergväggen som sprängningen ägde rum i är inritad i sprickrosen. Pilen i figuren visar riktningen för kärnborrningen.

Den kvarvarande bergväggen efter sprängningen övergick, efter 3,5 meter, i en stor krosszon. Denna krosszon har högst sannolikt påverkat berget 30-40 m in i tåkten och därmed de uttagna borrhärdarna härifrån.

2.2.4 Gillstad

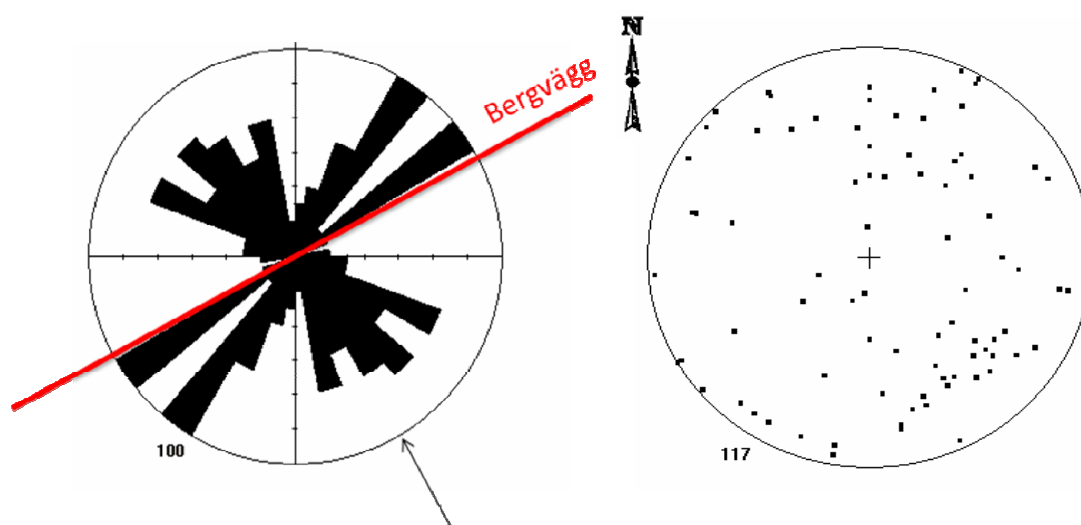
I Gillstad bergtäkt, väster om Lidköping, består berget nästan uteslutande av gabbro som innehåller kalciumrik plagioklas och pyroxen men även hornblände samt olivin. Kornstorleken i Gillstad varierar mellan 0,1-4 mm, men ibland påträffas grövre korn, se Figur 2.11 nedan.



Figur 2.11 Gabbro i Gillstad bergtäkt.

Bergtäkten består av ett segt och storblockigt berg. Dessa förutsättningar kan medföra svårigheter vid sprängning då det uppkommer stora sprickor åt olika håll i ett

oregelbundet mönster. De dominerande sprickriktningarna är N330-360°/55-75°, men även N40-60°/80-90° är framträdande (se Figur 2.12 nedan).



Figur 2.12 Strykning och stupning av sprickplanen i Gillstad. Vid skapandet av sprickrosen (till vänster) har 100 värden använts och vid skapandet av polplotten (till höger) har 117 värden använts. Bergväggen som sprängningen ägde rum i är inritad i sprickrosen. Pilen i figuren visar riktningen för kärnborrningen.

2.2.5 Äskekärr

Bergtäkten i Äskekärr, Mariestad, består huvudsakligen av granit (se Figur 2.13) som är delvis förskiffrad (se Figur 2.14). Mineralerna är kvarts, fältspat och glimmer. Berget är normalblockigt och kornstorleken varierar mellan 0,1-2 mm.

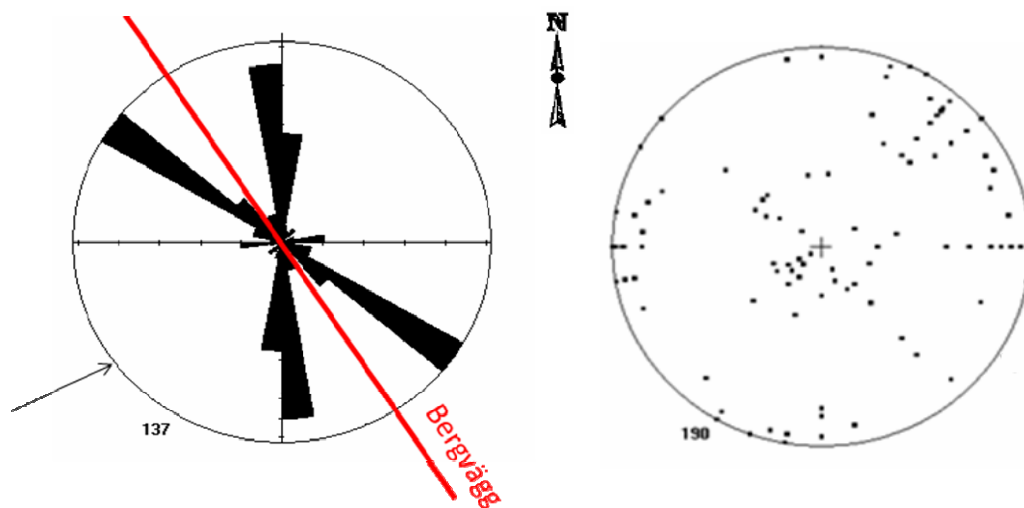


Figur 2.13 Graniten i Äskekärr bergtäkt.



Figur 2.14 Den förskiffrade graniten i Äskekärr.

Tydliga halvpipor syns i denna täkt efter sprängning då det blir en uppsprucken zon upptill 0,3 m kring borrhålet där sprängmedlet verkat. I Figur 2.15 nedan visas de dominerande sprickriktningarna, $N130^{\circ}/70-90^{\circ}$ och $N180^{\circ}/70-90^{\circ}$.



Figur 2.15 Strykning och stupning av sprickplanen i Äskekärr. Vid skapandet av sprickrosen (till vänster) har 137 värden använts och vid skapandet av polplotten (till höger) har 190 värden använts. Bergväggen som sprängningen ägde rum i är inritad i sprickrosen. Pilen i figuren visar riktningen för kärnbörningen.

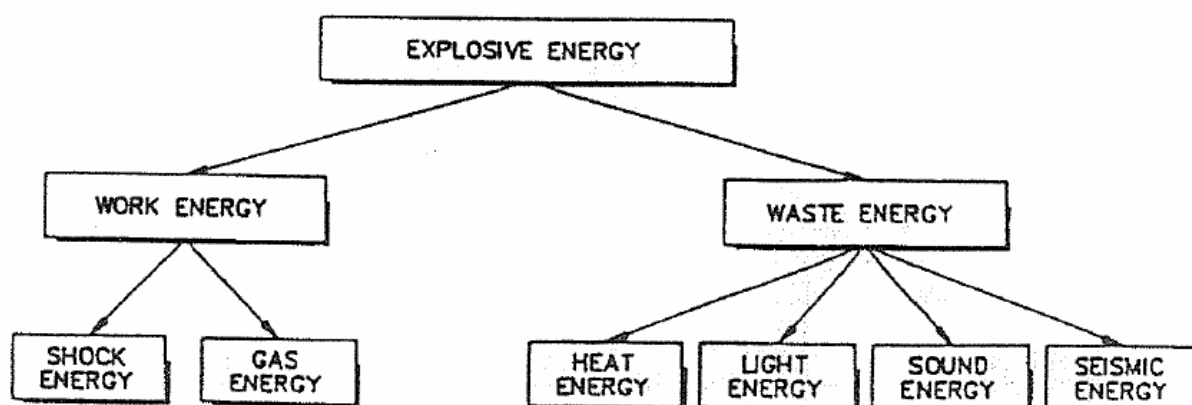
3 Litteraturstudie

I detta kapitel följer en teoretisk bakgrund till de metoder som använts för att kvantifiera sprängskadan i de fem täkterna. Litteraturstudien handlar bland annat om svårigheten att kvantifiera den mängd energi som går åt till att fragmentera berget (se kap. 3.1 Energi). Det finns problem vid beräkning av sprickbildning och sprängskada utifrån laddningskoncentration och sprängmedlens egenskaper. Detta kan läsas om under kapitlen energi och sprickor (kap. 3.1 och 3.2) . I makrospricksteori 1 och 2 (kap. 3.3.1 och 3.3.2) står det om den teoretiska bakgrunden till två av de metoder som finns idag för att kvantifiera sprängskada i form av makrosprickor. Mikrospricksteorin (kap. 3.3.3) tillsammans med rådata från utförda försök har legat till grund för de utvärderade sprängskadorna i de fem täkterna. Under samtliga sprängningar utfördes vibrationsmätningar. Den sista delen i detta kapitel (kap. 3.3.4) handlar om en modell för att ta fram sprängskadezoner med hjälp av dessa.

3.1 Energi

En viktig sak att ta hänsyn till vid jämförandet av olika bergarters skadezon är hur stor kraft som har skapat den. Sprängningarna i de fem täkterna har varit utförda med olika sprängmedel, hålavstånd, antal borrhål och med olika tändplaner. Detta gör det mycket svårt att beräkna den kraft (energi) som verkat på berget då det idag inte finns någon utarbetad metod för detta.

En explosion är en kemisk process där energi frigörs. Energin kommer att anta olika former och kan delas in i två huvudgrupper, arbetsenergi (work energy) och förlorad energi (waste energy) (se Figur 3.1). Arbetsenergin är den energi som bidrar till att berget fragmenterar och kastas ut i form av chockenergi (stötvåg) och gasenergi (gasvåg). Den förlorade energin bidrar däremot inte till denna process. Här går energin istället åt till att skapa värme, ljus, ljud och seismik.



Figur 3.1 C.J. Konya's diagram över olika energityper som ett sprängämne antar [5].

Spathis (1999) har utformat formler där en uppskattning av den nyttiga energin (arbetsenergin) kan göras. Dock krävs experimentella resultat från styckefallskurvor och höghastighetsfilm för att åstadkomma detta. Typiska medelvärden för de olika energiformerna enligt Spathis har följande procentfördelning: Fragmentering 1 %, rörelseenergi på bergsmassan 37 % och vibrationsenergi 7 % [5]. Dessa värden inkluderar alltså bara arbetsenergin (ca 45 %), inte den förlorade energin (ca 55 %).

3.1.1 Sprängningsförloppet

Det finns en allmän teori om hur berget går sönder under en sprängning. Denna innebär att när sprängämnet detonerar skapas en stötvåg orsakad av det plötsliga tryck som skapas vid sprängmedlets snabba expansion i borrhålet. Detta anses vara chockenergi som spräcker borrhållsväggarna. Därefter kan gasen vandra vidare och tränga in i sprickorna för att förlänga och utvidga dessa (gasenergi). I en annan teori från Brinkmann [17] anses istället att sprickbildningen främst beror på stötvågen medan gasvågen huvudsakligen kastar fram berget.

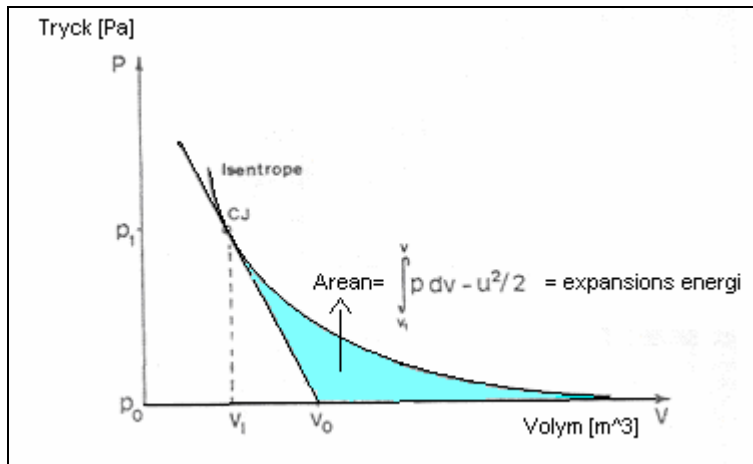
Stötvågen (kompressionsvågen) kan delas in i två olika skeden. I det första skedet ger kompressionsvågen upphov till ett antal mikrosprickor som en inledning till det kommande arbetet med sönderbrytning av berget. I det andra skedet, där kompressionsvågen genom reflektion förändras till drag och skjuvvågor, sker dels en vidgning av mikrosprickorna som uppkommit i det första skedet samt initiering av en mängd nya sprickor.

En salva med många olika laddade borrhål som detonerar vid olika tidpunkter gör sprängningsförloppet mer komplext än vid sprängning i ett borrhål. Stötvågorna som uppstår kommer sannolikt både motverka varandra och samverka med varandra.

3.1.2 Jämförelse mellan olika sprängmedel

Ett sätt att jämföra sprängmedel är genom dess viktstyrka (se Makrospricksteori 1, kap. 3.3.1). Viktstyrkan tar hänsyn till sprängämnets totala gasvolym samt explosionsenergi (reaktionsvärmets), men inte till expansionsenergiökningen eller hastigheten på gasvolymökningen. Explosionsenergin är bildningsvärmens för reaktionsprodukterna minus bildningsvärmens för ingredienserna.

Ett sprängämne har sitt egna karaktäristiska samband för tryck mot borrhållsväggen mot tiden och även ett samband för den energi som frigörs vid gasvolymens ökning. Denna energi kallas expansionsenergi. Figur 3.2 nedan visar ett tryck-volym diagram för en sprängning i stålrör, där P är tryck, V är volym och CJ är detonationspunkten. Kompressionen, v_0-v_1 , ger upphov till ett tryck som är tillräckligt stort för att utlösa en detonation. Den vita arean (v_0-v_1-CJ) motsvarar alltså den energikostnad som krävs för att starta detonationen. Linjen nedåt (isentropen) uttrycker volymökningen (gasbildningen) vid tryckminskning, vilken är ämnesspecifik. Arean mellan expansionstillståndskurvan, den räta linjen och x-axel representerar sedan expansionsenergin [5].



Figur 3.2 Beskrivning av expansionsarbetet i ett tryck-volym diagram [5].

Kurvans utseende bygger på termodynamikens första huvudsats som beskriver hur värme omvandlas till mekaniskt arbete. Se nedan:

$$dU = dq - PdV \quad (3.1)$$

där

dU = förändring av ett systems inre energi (gasernas inre energi)

dq = ändring av tillförd eller borttagen värme

PdV = utfört eller tillfört arbete på systemet

Termen dq kan skrivas som

$$dq = T * dS \quad (3.2)$$

där

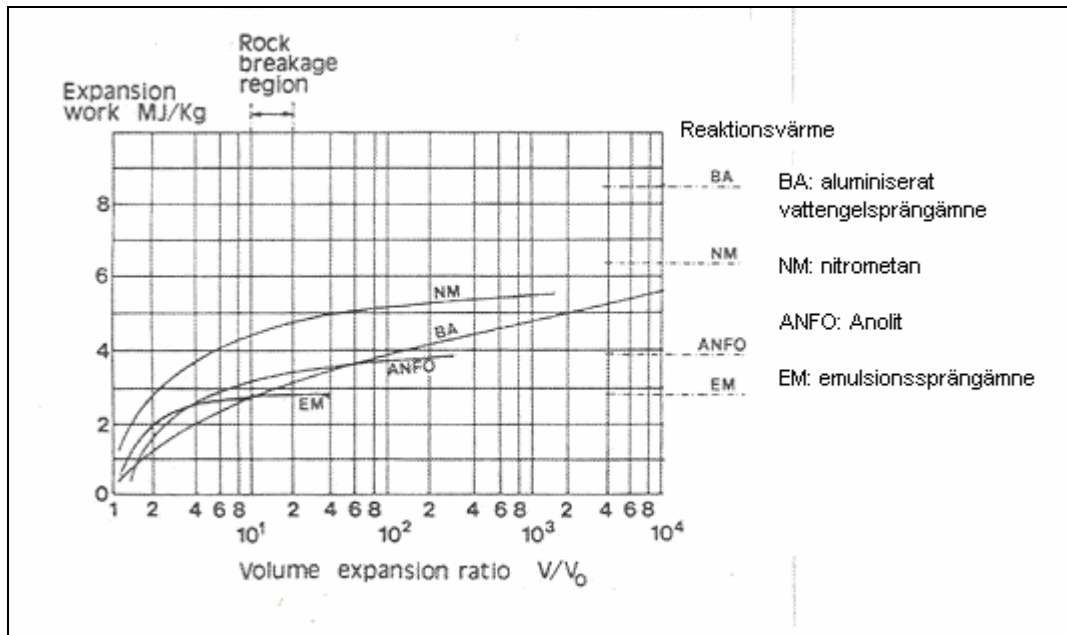
T = temperatur

dS = entropiändring (oordning i ett system)

Då energisystemet är adiabatiskt, det vill säga inget tillskott eller borttagande av energi erhålls, blir termen $dS = 0$, vilket i sin tur gör termen $dq = 0$. Energiomvandlingen ser då ut enligt Ekvation 3.3 nedan:

$$dU = -PdV \quad (3.3)$$

Detonationspunkten och expansionskurvan kommer att se olika ut beroende på vad det är för slags sprängmedel. I Figur 3.3 nedan visas expansionsenergin i förhållande till gasvolymen. Vid 10-20 gånger volymexpansionen kommer den expansionsenergi som sprängämnet har gå till uppsprickning av berget. Detta kallas "rock breakage region" [5, 17]

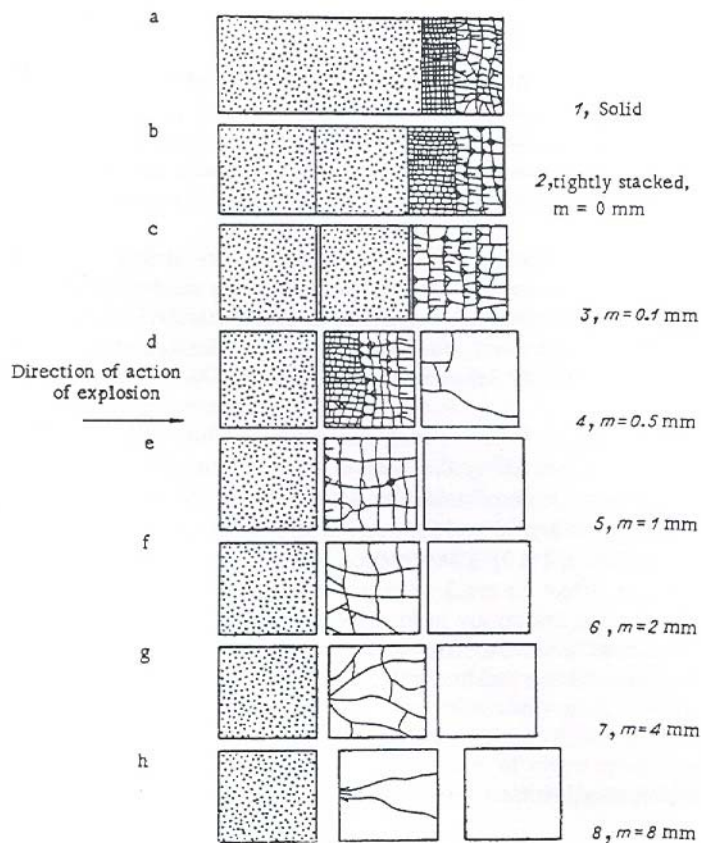


Figur 3.3 Expansionsenergin som funktion av expansionsgraden [5].

Problemet med synsättet som åskådliggörs i figur 3.2 är att experimentet är gjort i stålrör. Skillnaden mellan sprängning i berg och stålrör är bland annat att berg naturligt består av sprickor där energi från sprängningen läcker ut.

3.1.3 Jämförelse mellan olika berggrundsgeologiska förutsättningar

Andra svårigheter vid sprängningsarbeten är att bergmaterial har olika sammansättning. Stöt- och gasvågen kommer att förlora sin styrka utmed sträckan den färdas in i berget. Beroende på bergets hållfasthet och uppspruckenhet kommer vågen att avta olika snabbt samt göra olika skada. Seinkov och Chevkin (1967) har visat i ett experiment med glas i luft att stöt- och gasvågen avtar snabbare då sprickvidden ökar, se Figur 3.4 nedan [20].

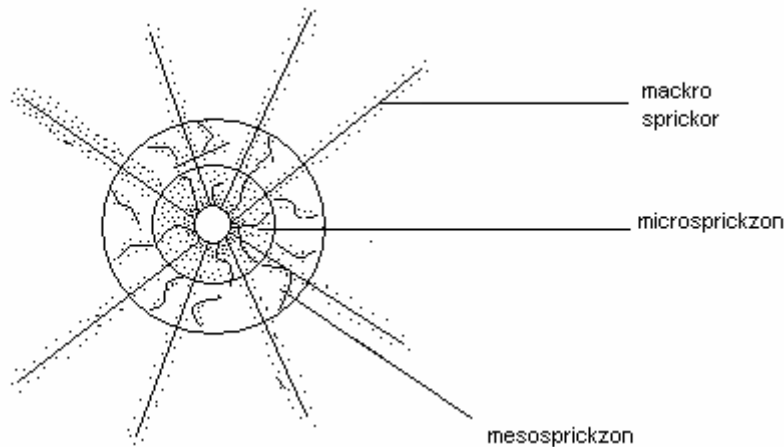


Figur 3.4 Resultat från sprängning i glasplattor ($6 \times 30 \times 30 \text{ mm}$) med varierande sprickvidd [20].

Som beskrivits ovan finns en hel del problem vid framtagande av hur stor energi som går åt till sprickbildning vid sprängningsarbeten. För att på något sätt kunna jämföra ”våra” sprängningar har en kvantitativ jämförelse gjorts mellan laddningskoncentrationerna. Hänsyn har alltså inte tagits till de olika energiformerna.

3.2 Sprickor

När en sprängning sker uppstår sprickor som får berget att falla sönder. Dessa sprickor kan delas upp i tre huvudgrupper: makrosprickor, mesosprickor och mikrosprickor. Makrosprickor är klart synliga sprickor, mesosprickor skär genom ett flertal mineralkorn och mikrosprickor är mindre eller lika stora som kornstorleken (se Figur 3.5 nedan).



Figur 3.5 I bilden illustreras utbredningen av de olika spricktyperna från ett sprängt borrhål.

Griffith (1920) påstår att en spricka uppkommer i den svagaste punkten i ett material. En makrospricka bildas oftast genom att flera mikrosprickor binds samman till en makrospricka. Dessa sprickor (makro) är beroende av materialets hållfasthetsparametrar som testas vid bergmekaniska tester [8].

3.2.1 Sprickinitiering

De termiska egenskaperna skiljer sig åt mellan sura (ex granit) och basiska (ex gabbro) bergarter. Vid så kallad jetskärning används höga temperaturer, 2500-3000°C, för att skära genom exempelvis berg. Den termiska chock som då uppstår medför att kvarts, som finns i sura bergarter, bildar finandel (blir till ett damm). Sura bergarter däremot smälter och bildar seiga trådar [43]. Mikrosprickor uppstår bland annat när en bergart bildas. Gabbro och diabas saknar ofta mikrosprickor i korngränserna medan detta är mycket skiftande i granit [24]. Orsaken är mineralernas olika termomekaniska egenskaper. Mineralerna som ingår i granit har störst skillnad gällande dessa egenskaper. Detta ger upphov till sprickor vid bildandet av berget då berget svalnar. Avlastning är en annan orsak till tidig mikrospricksinitiering [21].

Sprickor uppträder även i svaga korngränser. Mineralkornen sitter ihop med kemiska bindningar som är olika starka beroende på vad det är för mineraler. Dessa kemiska bindningars styrka påverkas av förhållandet till de omgivande bindningarna i mineralerna. Generellt verkar korngränssprickor bildas oftare då kvarts sitter ihop med något annat mineral [11].

Glimmer och i viss mån fältspater och amfiboler ger upphov till nya sprickor i spaltplan. Detta på grund av att kristallernas struktur är starkare i det ena planet och svagare i det andra [4, 10, 22].

3.2.2 Sprickpropagering

Det finns 5 faktorer som hindrar sprickutbredning, dessa faktorer är: liten kornstorlek, rund korngränsgenometri, spaltplan, sprödhet och stokastisk struktur [8].

En spricka kan stoppas av en korngräns eller av en tvärgående spricka. Den går lättare genom ett större korn än genom flera små, detta förutsatt att mineralkornens bindningar är svagare än korngränsernas. Detta innebär att bergarter med finare kornstorlek ofta har högre hållfasthet. Dock kan materialet sluta uppträda som kornigt och istället börja fungera som glas om kornstorleken blir för liten.

Spröda mineral har oftast fler mikrosprickor än sega, detta påvisas i kvarts i granitoider. I glimmer kan en spricka lätt följa i spaltplanet där hållfastheten ligger nära noll, detta hindrar sprickinitiering åt något annat håll.

Bergarter med stokastiskt (slumpmässigt) orienterade mineralkorn har ett större motstånd mot sprickor än den med en ordnad struktur. Detta på grund av att det krävs mindre energi att gå igenom en rak korngräns än genom en kurvig eller hackig [8]. Till exempel kan gnejs och granit jämföras, där gnejs har en mer ordnad struktur än granit.

3.3 Teorier om sprängskadezon

3.3.1 Makrospricksteori 1

I *Anläggnings AMA 98* finns en tabell för bedömning av sprängskadezoner. Det är denna tabell som idag använts för bestämning av sprängskada vid slätsprängning.

Ursprunget till denna tabell är en undersökning som gjordes av Sjöberg m.fl. i slutet av 1970-talet i vägtunnlar i granit och gnejsig granit i Göteborgsområdet. Genom kartering av nytillkomna sprickor i kärnborrhål mättes skadedjupet, där två nytillkomna sprickor per meter borrhål definierade en sprängskada. På denna grund bestämdes ett samband mellan skadezonsdjup och laddningskoncentration, se Ekvation 3.5 nedan.

Tabellen som nämnts ovan har kompletterats. Ouchterlony och Olsson, 2000, plottade upp de ursprungliga värdena tillsammans med de kompletterande, där de allra flesta punkterna faller med god noggrannhet längs en bruten rät linje (se Figur 3,6 nedan). Linjen ges av sambanden i Ekvation 3.5 och 3.6 [15].

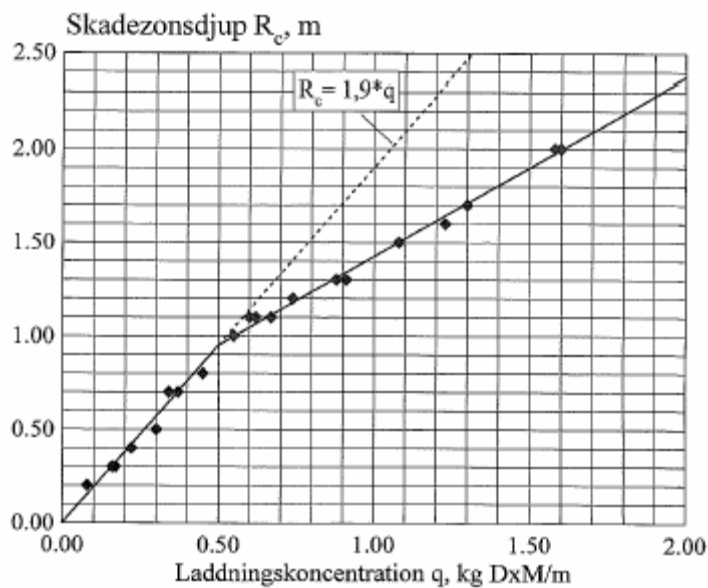
$$R_c = 1,9 * q \quad \text{där, } q < 0,5 \text{ kg / m} \quad (3.5)$$

$$R_c = 0,95 * (q + 0,5) \quad \text{där, } 0,5 \text{ kg} \leq q \leq 1,6 \text{ kg / m} \quad (3.6)$$

där

R_c = sprängskadezonsdjup [m]

q = laddningskoncentrationen [kg/m]



Figur 3.6 Skadezonsvärden som funktion av laddningskoncentration enligt Anläggnings AMA [15].

För att kunna använda tabellen i *Anläggnings AMA* krävs att man räknar om respektive laddningskoncentration till kg Dynamex-ekvivalenter. Därefter kan sprängämnenas viktstyrka jämföras, se Ekvation 3.7- 3.10 nedan.

$$e = Q / Q_0 \quad (3.7)$$

$$v_g = V_g / V_{g0} \quad (3.8)$$

$$S_{ANFO} = 1 / 0,84 (5e / 6 + v_g / 6) \quad (3.9)$$

$$S_{dynamex} = 0,91 * S_{ANFO} \quad (3.10)$$

där

e = sprängämnets relativa explosionsenergi [MJ/kg]

Q = explosionsenergi (reaktionsvärme) [MJ/kg]

Q_0 = referensvärde (5,00MJ/kg, värde för ANFO- sprängmedel) [MJ/kg]

v_g = sprängämnets relativa gasvolym

V_g = sprängämnets gasvolym [m^3/kg]

V_{g0} = referensvärde (0,85 m^3/kg , värde för ANFO- sprängmedel) [m^3/kg]

S_{ANFO} = viktstyrka relativt ANFO- sprängmedel

$S_{dynamex}$ = viktstyrka relativt dynamex

Enligt Ouchterlony och Olsson (2000) har dock några saker utlämnats i teorin. Det tas inte hänsyn till om borrhålen är fyllda med vatten. Det är dock påvisat vid ett försök i Svenneby att vattenfyllda borrhål ger 3-4 gånger längre sprickor än torra borrhål bakom ett Ø64 mm borrhål som laddats med Ø22 mm Gurit. Ingen hänsyn har heller tagits till frikopplingsgrad, tändspridning, hålsättning, bottenladdningens inverkan eller bergkvaliteten [15].

3.3.2 Makrospricksteori 2

Ouchterlony har också skapat ett samband mellan olika parametrar för att fastställa skadedjupet som bildas i bergkonturen bakom spränghål. Här har mekanikens lagar och dimensionsanalys används för att ta fram ekvationerna för längden R_c hos de radiella sprickorna som bildats. Ett antal parametrar har även tagits fram genom kurvanpassning till försöksdata vid pallsprängning i ett stenbrott i Vånga i Skåne.

Denna teori gäller för skonsam sprängning med fri botten och utan fördröjning mellan upptändningen i borrhålen. Detta innebär att hela salvan sprängs exakt samtidigt. Ekvation 3.11- 3.14 nedan visar hur sprängskadedjupet beräknas [14].

$$\gamma = \sqrt{1 + D^2 / 2Q} \quad (3.11)$$

$$p_h = \gamma^\gamma / (\gamma + 1)^{(\gamma+1)} * \rho_e * D^2 * (\phi_e / \phi_h)^{2,2} \quad (3.12)$$

$$p_{h,crack} = 3,30 * K_{IC} / \sqrt{\phi_h} \quad (3.13)$$

$$R_c = 0,5 * \phi_h * (p_h / p_{h,crack})^{2/[3(D/c)0,25-1]} \quad (3.14)$$

där

ρ_e = sprängämnets densitet [kg/m³]

D = sprängämnets detonationshastighet [m/s]

γ = adiabatisk expansionsexponent för sprängämnet

Q = sprängämnets reaktionsvärme, det vill säga dess ungefärliga explosionsenergi [MJ/kg]

ϕ_e = laddnings diameter [m]

ϕ_h = borrhåls diameter [m]

$f = \phi_e / \phi_h$ kopplingsgraden är 1 för fulladdat hål

c = p-våghastighet [m/s]

K_{IC} = bergets brottseghet, det vill säga dess motståndskraft mot sprickutbredningen
[Pa \sqrt{m}]

R_c = sprängskadezonsdjupet [m]

$p_{h,crack}$ = borrhålstrycket som krävs för att sprickor ska bildas [Pa]

p_h = borrhålstrycket [Pa]

Skillnaderna mellan Sjöbergs och Ouchterlony's teori är bland annat att för sprängämnet har Ouchterlony använt sig av egenskaperna: densitet, detonationshastighet och explosionsenergi medan Sjöberg har använt: viktstyrka och laddningskoncentration.

Tyvärr är inte heller Ouchterlony's teori helt problemfri utan det finns behov av kompletteringar. För det första kräver härledningen att berget reagerar i huvudsak elastiskt, det vill säga att det förutsätter att laddningen är frikopplad så att inte en större krosszon från sprängningen uppträder [42]. Teorin tar inte heller hänsyn till vattenfyllda borrhål och hålsättningen [14]. Alla energiekvationer är byggda på försökssprängningar gjorda i stålrör. Detta resulterar i att de teoretiska energiexpansionskurvorna (se Figur 3.2) inte stämmer i berg som är naturligt uppsprucket. Andra faktorer som kan ifrågasättas är bergparametern K_{IC} . Denna tar endast hänsyn till bergets hållfasthet och inte till de naturliga spänningarna som finns i berget.

3.3.3 Mikrospricksteori

Det är känt att det finns en koppling mellan ultrasonisk hastighet och skada i ett material. Ett sätt att bestämma sprängskadezonen med hjälp av mikrosprickor är att räkna ut en så kallad skadeparameter, ω .

$$\omega = 1 - \left(\frac{V'_p}{V_p} \right)^2 \quad (3.15)$$

Genom Ekvation 3.15 ovan jämförs maxvärdet på p-vågshastigheten för varje borrhål, V_p , med det uppmätta värdet i varje punkt, V'_p . Detta ger då en uppfattning om med hur många procent materialet har förlorat sin förmåga att bära last. Vid användandet av denna teori har material som mist mer än 10 % av sin bärförmåga ansetts som sprängskadat [8].

3.3.4 Modell för vibrationsmätningarna

Det har länge varit känt att markvibrationer och skador haft ett samband. Vid detonation utbreder sig en våg som sätter varje partikel i det omgivande berget i svängning. Den töjning som genereras är proportionell mot förhållandet mellan svängningshastigheten och vågrörelsens utbredningshastighet [23].

Syftet med vibrationsmätningarna har varit att ta fram material för att kunna jämföra uppmätt sprängskada (genom försök av borrhål) med de modeller som finns för

denna typ av skada och som innehåller ett vibrationskriterium. En modell för detta utvecklades av Holmberg och Persson, 1978. Ekvation 3.16 nedan var utgångspunkten för denna modell:

$$PPV = K * \frac{W^\alpha}{R^\beta} \quad (3.16)$$

Denna skiljer sig något mot Ekvation 4.1 som nämns i metodbeskrivningen (kap. 4.2). PPV och svängningshastigheten, v , är dock synonyma och $R = r$. Se nedan:

$$v = \alpha * \left(\frac{\sqrt{W}}{r} \right)^\beta = \alpha * \frac{W^{0,5*\beta}}{r^\beta} \quad (3.17)$$

detta innebär

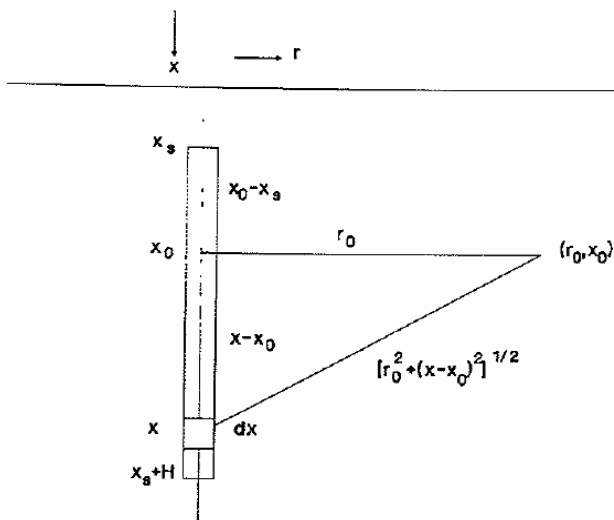
$$PPV = K * \frac{W^\alpha}{R^\beta} = \alpha * \frac{W^{0,5*\beta}}{r^\beta} \quad (3.18)$$

Anledningen till att Ekvation 3.16 och 4.1 görs om enligt ovan är att Holmberg och Persson (1978) har tagit fram ett sätt att integrera detonationen över ett helt borrhål och summera bidragen från olika avstånd till observationspunkten. Detta istället för att beräkna effekten från en punktladdning som annars hade varit fallet (se Ekvation 3.19- 3.20 och Figur 3.7 nedan).

$$PPV = K \left[l \int_{x_s}^{x_s+H} \frac{dx}{[r_0^2 + (x - x_o)^2]^{\beta/2\alpha}} \right]^\alpha \quad (3.19)$$

och vidare:

$$PPV = K \left(\frac{l}{r_0} \right)^\alpha * \left[\arctan\left(\frac{H + x_s - x_o}{r_0} \right) + \arctan\left(\frac{x_o - x_s}{r_0} \right) \right]^\alpha \quad (3.20)$$



v = svängningshastigheten [m/s]

K = konstant

α = konstant

l = laddning per meter [kg/m]

r_0 = avstånd mellan mät punkt och detonation [m]

H = laddningens längd [m]

x_s = nivån där laddningen börjar [m]

x_0 = nivå för mät punkten [m]

Figur 3.7. Principskiss över ingående parametrar i Holmberg och Perssons (1978) modell [19].

Genom denna modell beräknades vibrationerna nära borrhålet genom att ange förutsättningarna för respektive försöksplats och lägga in ovanstående ekvationer i MathCad. Diagrammen som ritats upp (se Bilaga 9) kan sedan jämföras direkt mot de uppmätta sprängskadezoner som, med de bergmekaniska testerna, erhållits från kärnorna. Den kritiska svängningshastigheten det vill säga då berget spricker brukar sättas till $v_c = 700-1000$ m/s [15].

Vid överslagsberäkning kan platskonstanterna sättas till följande: $K = 700$ mm/s, $\alpha = 0,7$ $\beta = 1,5$ där den kritiska svängningshastigheten $v_c = 700-1000$ m/s. Detta är värden framtagna för svenskt urberg. Vid användandet av dessa värden samt en laddningslängd på 4 m i Ekvation 3.20 blir sprängskadezonen mycket lik den som finns i *Anläggnings AMA* enligt Ouchterlony och Olsson, 2000 [15].

Ovanstående modell har dock fått kritik. Det största problemet med modellen är att toppvärdena för de beräknade respektive verkliga vibrationerna inte infaller i samma punkt samtidigt [2]. Dock är detta den modell som finns idag och är därför den som använts.

4 Metodbeskrivning

Projektet innefattar undersökningar i fem bergtäkter i Västra Götaland. Efter sprängning i dessa utfördes en horisontell kärnbörning från kvarstående borrhåla ca 10 meter in i bergmassan. Uttagna borrhålar har en diameter av 45 mm. Borrhålet ansattes så att kärnbörningen utfördes i pippladdningsdelen och ej i bottenladdningsdelen, där det var möjligt.

I samband med sprängningen utfördes vibrations- och VOD-mätningar (Velocity Of Detonation) på respektive försöksplats. Vibrationsmätningen visar hur stora vibrationer sprängningen orsakar, detta kan sedan korreleras mot den uppmätta sprängskadan. VOD-mätningen demonstrerar detonationshastigheten hos sprängmedlet, vilket visar om salvan tänts upp på det sätt som varit avsett.

På varje försöksplats togs två parallella kärnor ut för testning. Kärnorna karterades med avseende på bergart, mineralogi och sprickor, både nybildade från sprängningen och befintliga. Den ena kärnan sågades upp i 10 cm stora bitar för ultrasonisk bestämning av p-vågshastigheten och för tillverkning av infärgade tunnslip. Tunnslipen användes för att okulärt visa på mikrosprickbildning. Den andra parallella kärnan användes för bestämning av tryckhållfasthet/draghållfasthet på sprängskadad respektive opåverkad provkropp. Även en densitets- och porositetsbestämning gjordes, vilket medförde att också de mindre stenbitarna inom den första och andra metern kunde testas. Nedan följer en beskrivning av sprängningsutförandet i de olika täkterna samt en närmare beskrivning av försöken som genomförts på borrhålar.

4.1 Sprängningsutförande

Sprängningarna som vi har deltagit i har varit pallsprängningar som utförts för ballastindustrin. Sprängningarna har gått till på olika sätt i täkterna då olika bergsprängningsentreprenörer har utfört dem. Vid samtliga sprängningar har Nonel används som tändsysteem. För information om de sprängmedel samt det tändsysteem som har använts se Bilaga 3. Anledningen till att väderförhållandena angetts den dagen sprängningen ägde rum beror på att vattenfyllda borrhålar ger större sprängskadezon. Vatten i borrhålar kan även komma från inströmning av grundvatten.

4.1.1 Karlshaga

Den 19 oktober 2006 utfördes sprängningen i Karlshaga under regnfriga väderförhållanden. Sprängmedlet som användes var Titan 6080 med 1 kg dynoprimer som bottenprimer och ½ Ø50 Fordyn som topprimer. Borrhålsdiametern var 89 mm i de 75 borrhålen tre av dessa var så kallade hjälphålar för att leda bort en vattenansamling på berget. Borrhålen hade en hållutning på 14° och en underbörning på 1,5 m. Pallhöjden var 18,6 m hög i medeltal och de tre borrhålen som VOD-mätningen ägde rum i hade ett varierande håldjup mellan 20,1 m och 21,2 m. Dessa borrhålar laddades med 124-132 kg emulsionssprängmedel, SME. Förladdningen varierade i hålen mellan 1,5 m och 1,9 m och bestod av material med fraktionen 4-8 mm. Försättningen var 2,7 m och hålavståndet 3,7 m, se tändplan i Bilaga 4. Den

totala laddningen som användes var 9 182 kg och uppskattad bergvolym som sprängdes bort var omkring 12 274 m³, detta ger den specifika laddningen 0,75 kg/m³.

4.1.2 Gategård

Den 30 oktober 2006 utfördes sprängningen i Gategård under blöta väderförhållanden. För att kunna använda ANFO-sprängmedel var det därför nödvändigt att blåsa ur vattnet i vissa håll. Sprängmedlet som användes var Minex, Tovex och Anex A, en blandning av dynamit och ANFO-sprängmedel. Borrhålsdiametern var 70 mm för de 118 borrhålen. Borrhålen hade hålllutningen 14° och en underborrning på 1,0 m. Medelpallhöjden var 13 m och håldjupet varierade mellan 13,1 m och 15,4 m. Förladdningen var 1,4-1,7 m och bestod av material med fraktionen 4-8 mm. Försättningen var för rad ett 2,4 m, för övriga 2,0 m och hålavståndet var 3 m, se tändplan i Bilaga 5. Den totala laddningen som användes var 5496 kg och uppskattad bergvolym som sprängdes bort var omkring 9 629 m³, detta ger den specifika laddningen 0,57 kg/m³.

4.1.3 Terås

Den 6 november 2006 utfördes sprängningen i Terås under regnfria väderförhållanden. Sprängmedlet som användes var Titan 6080 med 1 kg dynoprimer som bottenprimer och ½ Ø50 Fordyn som topprimer. Borrhålsdiametern var 76 mm för de 91 borrhålen. Borrhålen hade en hålllutning på 14° och en underborrning på 1,5 m. Pallhöjden var 9,1 m hög i medeltal. Förladdningen var 1,5 m och bestod av material med fraktionen 4-8 mm. Försättningen var 2,5 m och hålavståndet 3,4 m, se tändplan i Bilaga 6. Den totala laddningen som användes var 4 557 kg och uppskattad bergvolym som sprängdes bort var omkring 7 610 m³, detta ger den specifika laddningen 0,60 kg/m³.

4.1.4 Gillstad

Den 22 november 2006 utfördes sprängningen i Gillstad. Borrhålen var fyllda med vatten och det regnade under större delen av dagen då sprängningen ägde rum. På grund av de blöta väderförhållandena kunde ej ANFO-sprängmedlen användas utan istället användes dynamit, Minex Eco. Borrhålsdiametern var 76 mm i de 77 borrhålen. Dessa hade en hålllutning på 10° och en underborrning på 1,0 m. Pallhöjden varierade mellan 6,9-7,9 m och de borrhålen som VOD-mätningen gjordes i hade varierande håldjup mellan 8,5 m och 9 m. Varje borrhål laddades med drygt 8 kg Minex Eco Ø60 som bottenladdning och runt 21 kg Minex Eco Ø55 som pipladdning. Förladdningen var 1,2 m och bestod av material med fraktionen 4-8 mm. Försättningen var 2,0 m och hålavståndet 2,5 m se tändplan i Bilaga 7. Den totala laddningen som användes var 2 340 kg och uppskattad bergvolym som sprängdes bort var omkring 3 300 m³, detta ger den specifika laddningen 0,71 kg/m³.

4.1.5 Äskekärr

Den 14 december 2006 utfördes sprängningen i Äskekärr. Borrhålen var fyllda med vatten och det regnade till och från under dagen. På grund av dessa blöta väderförhållanden kunde ej ANFO-sprängmedlen användas utan istället användes dynamit, Minex Eco. Borrhålsdiametern var 76 mm i de 129 borrhålen. Dessa hade en hålllutning på 14° och en underborrning på 1,5 m. Pallhöjden varierade mellan 13,6 m

och 15.5 m och borrhålsdjupet mellan 14 m och 16 m. Varje borrhål laddades med drygt 25 kg Minex Eco Ø60 som bottenladdning och runt 34 kg Minex Eco Ø55 som pipladdning. Förladdningen var 1,5 m och bestod av material med fraktionen 4-8 mm alternativt borrkax. Försättningen var 2,4 m och hålavståndet 3,2 m, se tändplan i Bilaga 8. Den totala laddningen som användes var 7 172 kg och uppskattad bergvolym som sprängdes bort var omkring 14 395 m³, detta ger den specifika laddningen 0,50 kg/m³.

I Tabell 4.1 nedan redovisas bland annat laddningskoncentrationen och reaktionsvärmets för sprängningarna i de olika täkterna. Detta visar den totala energin som använts, men inte fördelningen mellan arbetsenergi och förlorad energi. I Karlshaga och Terås har emulsionssprängmedel använts vilket innebär att ingen direkt botten- och pipladdning kan urskiljas. Dock uppstår en densitetsskillnad där en högre densitet uppstår i botten på grund av att luftbubblorna i emulsionen komprimeras.

*Tabell 4.1 Tabellen visar energiinnehållet vid sprängningarna i de olika täkterna.
* Kärnborrhöjd räknad från borrhålets botten. **
**Bottenladdningen i Gategård utgörs av Minex Eco. Höjden av denna laddning är antingen 2,5-3 m eller 15 m då hela borrhålet i vissa fall är fyllt med detta sprängämne.
***Pipladdningen i Gategård utgörs av antingen Anex A (3,8 MJ/kg) eller Tovex S extra (4,9 MJ/kg).*

	Laddningskonc. (q) [kg/m] (bottenladdning)	Laddningskonc. (q) [kg/m] (pipladdning)	Reaktionsvärmets (Q) [MJ/kg] (bottenladdning)	Reaktionsvärmets (Q) [MJ/kg] (pipladdning)
Karlshaga	6,44	6,44	3,2	3,2
Gategård	3,45	3,03	4,55	3,8; 4,9***
Terås	5,26	5,26	3,2	3,2
Gillstad	3,8	3,45	4,55	4,55
Äskekärr	3,8	3,45	4,55	4,55

	Kärnborrhöjd [m] *	Höjd bottenladdning [m]	Höjd pipladdning [m]
Karlshaga	3,3		
Gategård	2,9	2,5-3; 15**	7,57
Terås	3,3		
Gillstad	4	2,2	6,05
Äskekärr	3,3	6,6	9,9

4.2 Vibrationsmätning

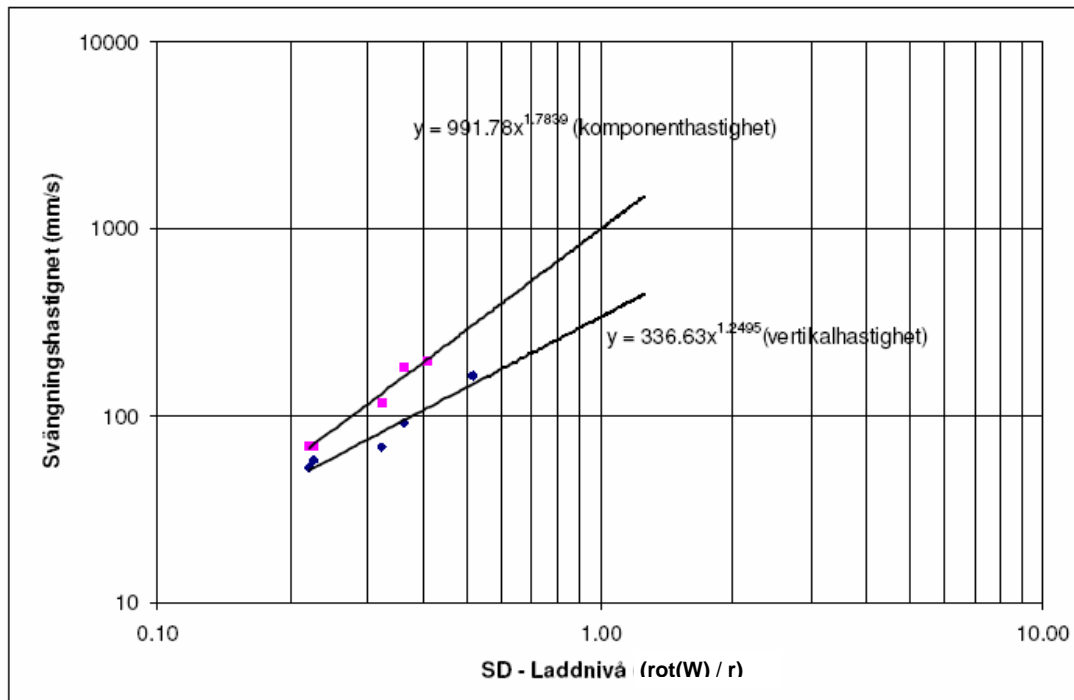
Vid samtliga sprängningarna har en vibrationsmätning gjorts av Nitro Consult AB, där pulsen (stöt vågen) som fortplantar sig igenom bergsmassan har mätts. För att undvika att mätarna skulle gå i botten utfördes inte mätningarna i direkt anslutning till området där sprickbildningen kunde förväntas ske. Istället placerades instrumenten ut i en linje bakåt på berget för att på flera avstånd mäta vibrationerna. Detta gjorde det sedan möjligt att extrapolera fram värden in mot salvan.

Mätningarna gjordes i fyra punkter (ca 10, 20, 30 respektive 50 m från närmsta salvhål). I den första punkten (10 m) användes en accelerometer, i andra punkten (20 m) placerades tre stycken accelerometrar ut, efter detta tre stycken geofoner (30 m) och sist (50 m) en styck geofon (se Figur 4.1). Informationen från dessa instrument registrerades i en UVS 1608, som används vid analys av vibrationer och shockvågor.

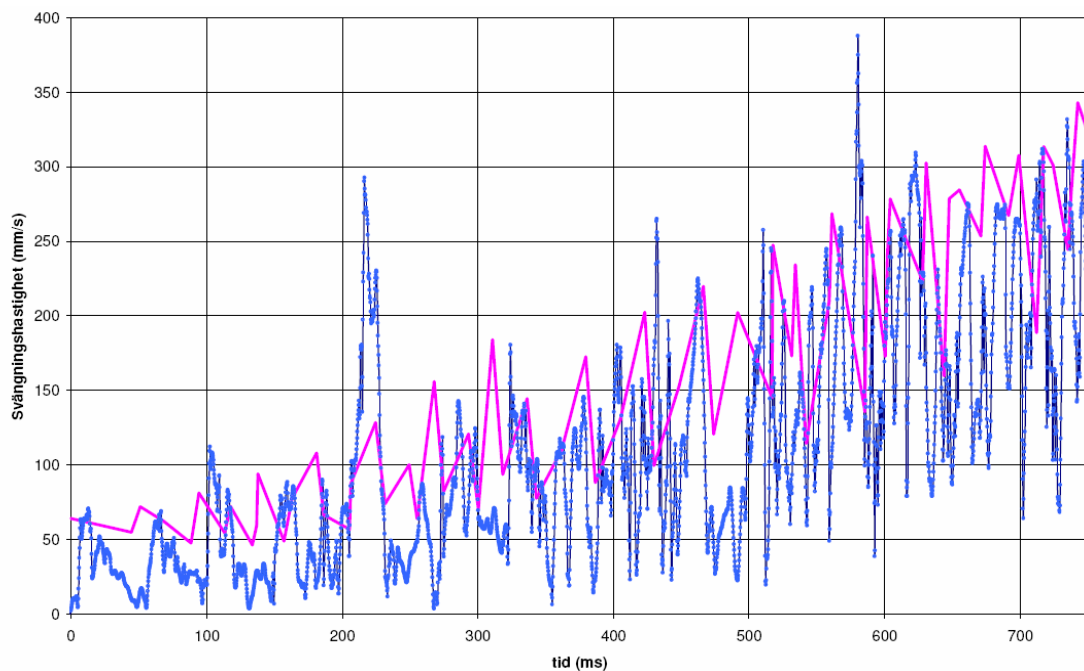


Figur 4.1 Tre stycken geofoner som har använts vid vibrationsmätningarna.

Instrumentet mätte i longitudinell, vertikal och transversal riktning. Den longitudinella riktningen torde ha tydlig koppling till fragmenteringen. Anledningen till detta är att kraften från sprängningen bildas genom ett gastyck på borrhållsväggen som ger en longitudinell huvudriktning. Men då salvorna har så pass stor utbredning som de har i ytan i relation till avståndet till givaren kommer riktningen variera under salvans gång. På grund av dessa förutsättningar användes istället resultanten, det totala uppmätta värdet blir då oberoende av riktningen. För att få fram resultanten behövs dock mätningar i tre riktningar. Då svängningshastigheten är vanligare att använda än accelerationen lades fokus på punkten där geofoner mäter hastigheten i tre riktningar. I Figur 4.3 visas ett exempel på hur vibrationerna från en sprängning kan se ut [41].



Figur 4.2 Korrelation mellan laddningsnivå och uppmätt svängningshastighet.



Figur 4.3 Jämförelse mellan beräknade toppvärden och uppmätta värden. Den blå linjen representerar de uppmätta värdena.

Med hjälp av tändplanen har de enskilda detonationerna definierats och tagits ut då tiden synkroniserar med vibrationsmätningens toppar. En svårighet i utvärderingen av vibrationerna var att koppla enskilda detonationer till vibrationerna för just de

detonationerna. Dessa punkter plottades i ett diagram, se Figur 4.2. Förhållandet korrelerades sedan till den karaktäristiska Ekvationen 4.1. I vissa fall kan bara två punkter korreleras för att skapa Ekvation 4.1. Funktionerna som kom fram av denna korrelation jämfördes sedan med det verkliga vibrationsförloppet för att se om värdena är relevanta. Se Figur 4.3 för de jämförda kurvorna [41].

$$v = \alpha * \left(\frac{\sqrt{W}}{r} \right)^\beta \quad (4.1)$$

där

v = beräknad svängningshastighet

α och β = platsberoende konstanter

W = samverkande laddning (oftast laddningen i ett borrhål)

r = avståndet mellan detonation och observationspunkt

Avståndet $\left(\frac{\sqrt{W}}{r} \right)$ kallas ofta för laddningsnivån, SD (Scaled distance, engelsk litteratur).

4.3 VOD-mätning

Detonationshastigheten (VOD) har mätts under sprängningarna i samtliga täkter. Denna mätning ger information om energiutvecklingen under sprängningen. Detonationshastigheten har mätts i de fyra borrhål som tänds upp sist i respektive salva, detta för att ha ett mätvärde på det hål som verkat närmast den kvarstående bergväggen. Mätningen går till så att i varje hål som mäts förs en tråd ner som är kopplad till en mätutrustning. Denna tråd brinner i samma hastighet som explosionen sker och ger då ett värde på detonationshastigheten. Ibland misslyckas dock explosionen av sprängmedlet, detta ger låga hastigheter på detonationen och det kallas då att sprängämnet har brunnit eller deflagrerat. Detonationshastigheten varierar beroende på vilket sprängämne som använts, borrhålens diameter och frikopplingsgraden.

4.4 Kärnbörning

På varje provplats har två parallella kärnor (en övre och en undre kärna) tagits ut för testning i den kvarstående bergväggen efter sprängningen. Börningarna har utförts av BorrBoLaget, Entreprenad väst AB, med kärnbörutrustningen som visas i Figur 4.4 och 4.5 nedan. De båda borkärnorna har samma utgångspunkt med en vinkelskillnad för att ej tangera varandra (för riktningar och vinkelskillnader se Tabell 4.2 nedan). Anledningen till en gemensam utgångspunkt är att komma ifrån merkostnader som det

medför att flytta och rigga upp borrarutrustning för en ny ansättning. Dessa borrhål har utförts horisontellt ca tre meter upp från borrhålets botten. För att få reda på hur mycket sprickor som uppkommit av sprängningen placeras borrhålen så exakt som möjligt i de synliga halvpiporna, där sprängmedlet verkat.



Figur 4.4 BorrBolagets kärnbormaskin som använts vid borrhålen i de fem täkterna.



Figur 4.5 Diamantborkrona för kärnbörning.

Tabell 4.2 Visar riktningen på borrhålen i form av antalet grader avvikande från norr. Lutningen på den övre respektive undre kärnan ges i antalet grader avvikande från horisontalplanet, positivt innebär en lutning nedåt och negativt en lutning uppåt.

Täkt	Riktning	Lutning, övre kärna	Lutning, undre kärna
Karlshaga	N315°	8°	12°
Gategård	N210°	-2°	-0,5°
Terås	N210°	8°	12°
Gillstad	N150°	11°	14°
Äskekärr	N240°	5°	9°

4.5 Kärnkartering

Kärnorna från kärnbörningen har karterats dels med avseende på bergart och mineralogi och dels med avseende på sprickor. Sprickor med någon form av beläggning har betraktats som befintliga sprickor, så kallade primära sprickor. Dessa sprickor har varit öppna och högst sannolikt vattenförande. Sprickor med ovittrade, råa ytor har däremot betraktats som sekundära sprickor, alltså sprickor uppkomna utav sprängningen. Osäkerheten i detta moment är sprickor som kan ha uppkommit under själva börningen, men som ändå räknats som sekundära [23].

4.6 Ultrasoniska mätningar

Vid ultrasoniska försök görs mätningar av en kompressionsvågs utbredningshastighet genom ett bergprov. Den stora skillnaden mot de hållfasthetstester som beskrivs nedan är att resultatet från de ultrasoniska mätningarna utgör ett medelvärde för provkroppen istället för att mäta den svagaste punkten. Metoden är mycket bra för att jämföra variationer i mikrosprickighet eller porositet inom samma bergart, vilket gör denna till en mycket lämpad metod för detta projekt [25].

Inför detta försök sågades en av de två borrhärnorna från varje täkt upp i 10 cm bitar som därefter slipades för att få en så jämn yta som möjligt. Mindre provbitar förekom då sprickor i berget gjorde detta oundvikligt. För att få ett rättvisande resultat användes inte stenbitar som var mindre än 10 ggr kornstorleken.

Mätning av en kompressionsvågs utbredning går till på så sätt att en sändare och en mottagare placeras i stenprovernas ändar. Därefter avläses tiden det tar för den genererade pulsen att transporteras genom provet. För att pulsen ska kunna transporteras genom provet är det viktigt att det förberedande arbetet i form av sågning och slipning har utförts noggrant. Hastigheten hos vågen kan sedan räknas ut genom Ekvation 4.2 nedan. Programmet som använts för dessa mätningar är Q-Scope, version 1.3.

$$V_p = \frac{x}{t_p} \quad (4.2)$$

4.7 Hållfasthetstester

Bergmaterialets mekaniska egenskaper i form av tryckhållfasthet och draghållfasthet prövas genom indirekta enaxiella försök såsom punktlasttest och brasilien dragtest. Dessa hållfasthetsegenskaper beror på flera faktorer såsom mikrosprickor, porositet, vilka mineral berget innehåller, mineralkornens storlek och hur stark fogen är mellan mineralkornen.

4.7.1 Punktlasttest

Kraften som krävs för att få en bergkärna att spricka sönder då den belastas axiellt eller radiellt mellan två stålspetsar är ett indirekt mått på tryckhållfastheten hos berget. Resultatet erhålls som ett så kallat punktlastindex, I_s (se Ekvation 4.3 och 4.4), som sedan kan räknas om till tryckhållfastheten (se Ekvation 4.6). Provkropparna bestod av ca 45 mm långa bitar från borrhärdingar med en diameter av 45 mm (se Figur 4.6 nedan) [12].



Figur 4.6 Apparatur för punktlasttest

$$I_s = \frac{P}{d_e^2} \quad (4.3)$$

För att kunna jämföra resultat från prov med olika diametrar måste värdet på punktlastindexet, I_s , korrigeras till $I_{s(50)}$.

$$I_{s(50)} = F \times I_s \quad (4.4)$$

där

$$F = \left(\frac{d_e}{50} \right)^{0,45} \quad (4.5)$$

Sambandet som använts mellan punktlastindexet och hållfasthetsparametrarna är

$$\sigma_c = 24 \times I_s \quad (4.6)$$

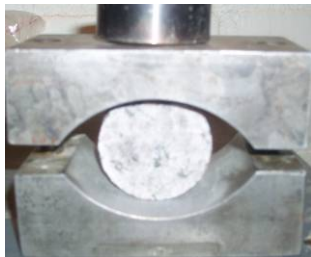
där σ_c är tryckhållfastheten. Även draghållfastheten kan räknas ut genom detta försök (se Ekvation 4.7 nedan), dock har brasilien dragtest använts för detta istället [25].

$$\sigma_t = 0,8 I_s \quad (4.7)$$

4.7.2 Brasilien dragtest

Brasilien är en indirekt metod som ger den enaxiella draghållfastheten σ_t enligt Ekvation 4.8 nedan. Belastningsapparaten består av två stålplattor med krökta kontaktytor som belastar en skiva av borrhärnan diametralt, se Figur 4.7 nedan. Viktigt är att kontaktytan är tillräckligt stor så att brottet startar i kärnans centrum och inte i kontaktytan. Stenproverna som användes hade en diameter på 45 mm och en tjocklek på halva diametern [12].

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi dt} \quad (4.8)$$



Figur 4.7 Apparatur som använts vid Brasilien dragtest.

4.8 Densitetsbestämning

Då den första metern i de flesta kärnor har varit väldigt uppsprucken har här endast ett fåtal värden kunnat registreras vid ultrasoniska mätningar och vid brasilien dragtest. Istället genomfördes en noggrannare densitetsbestämning för att visa på mikrosprickbildningen. Arkimedes princip användes, vilken innebär att "en i en vätska nedsänkt kropp påverkas av en lyftkraft, som är lika stor som tyngden av den undanträngda vätskemängden" [34]. I detta försök vägdes först stenbitarna i luft och sedan i vatten. På detta sätt kunde tyngden av det undanträngda vattnet fås fram och densiteten kunde beräknas. Detta försök tillämpades på så många stenprover som möjligt den första och andra metern, därefter på cirka ett prov per meter.

4.9 Porositetsbestämning

Likt densiteten kan även porositeten bestämmas på små oregelbundna stenar. Detta tillämpades för att på ett kompletterande sätt visa på variationen hos mikrosprickbildningen i berget längs kärnorna. Detta försök gick till på så sätt att stenproverna placerades i en behållare fylld till hälften med vatten. Behållaren vakuumpumpades med hjälp av en vattensug i minst 30 minuter tills inga bubblor längre syntes till (se Figur 4.8 nedan).



Figur 4.8 Behållare med vattensug som används för porositetsbestämning

4.10 Tunnslipsanalys

Vid sprängning uppkommer sprickor antingen i gränsen mellan mineralkornen eller i själva kornen. Från varje bergtäkt har prov tagits ut av den typiska bergarten 5, 10, 20, 40, 80 respektive 160 cm in i berget som sedan skickats till Mino prep där tunnslip utformats. En tunnslip är en 0,02-0,03 mm tjock skiva av ett mineral eller en bergart limmad mot en tunn glasskiva. Dessa tunnslip har används för att okulärt visa på mikrosprickbildning. För att lättare upptäcka sprickorna i provkroppen har provytan färgats vid tillverkningen. Färgen har på så vis trängt in i mikrosprickor och mikrostrukturer som då upptäcks betydligt lättare [23].

5 Resultat

Nedan följer resultaten från samtliga försök som utförts på borrkärnorna från de fem täkterna. Några av de teorier som finns idag för sprängskadezonsutbredning har applicerats på de fem täkterna för att se om dessa teorier verkar stämma. Resultaten från dessa redovisas i kapitel 5.7 nedan.

Sprängningarna har ägt rum vid olika väderförhållanden. I Gategård, Gillstad och Åskekärr var salvhålen vattenfyllda under sprängningsarbeterna. Det har påvisats genom försök att vattenfyllda hål påverkar storleken på sprängskadezonen (se Makrospricksteori 1, kapitel 3.3.1). Detta har dock ej tagits hänsyn till vid utvärdering av resultaten.

5.1 Karlshaga

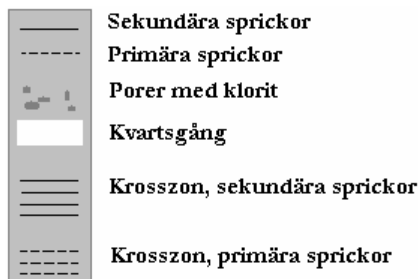
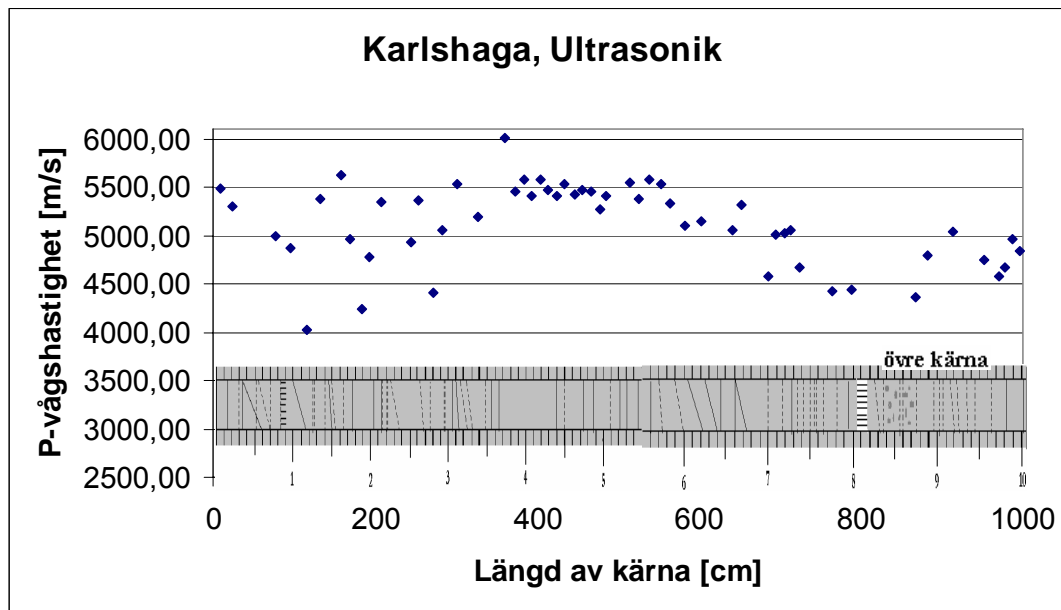
I denna täkt uppstod svårigheter i att märka ut halvpipan efter sprängningen, vilket resulterade i en miss på ca 70 cm. Detta bör hållas i åtanke vid studerande av resultaten nedan.

5.1.1 Kärnkartering

Den dominerande bergarten i Karlshaga bergtäkt är en rödaktig, grovkornig alkaligranit. Berget är homogent längs hela borrkärnorna med något enstaka inslag av grönsten. I den undre kärnan varierar kornstorleken något, där berget har finare korn mellan 6,45-7,15 m och 8,50-9,50 m. Kärnan har även porer fyllda med klorit 7,40-8,15 m in. Den övre kärnan har en homogen struktur och bergart längs hela dess längd med undantag av en kvartsådra 8,05-8,15 m in i berget. Sprickorna är någorlunda jämt fördelade över kärnorna bortsett från första metern som är något mer uppsprucken. Många av sprickorna har någon slags beläggning. Den mest förekommande beläggningen är järnoxid, men det förekommer även epidot och klorit. För bild på kärnlådorna se Bilaga 13.

5.1.2 Bergartstester

När det gäller de ultrasoniska mätningarna är värdena de första metrarna (0-3,60 m) mycket spridda. Efter denna spridda zon stagnerar värdena på ca 5500 m/s. I den sista delen av kurvan (5,65-10,0 m) sjunker p-vågshastigheten, anledningen här är en förändring av kvaliteten på berget. Detta är inte helt uppenbart vid okulärbesiktning av bergproverna, men en tydlig skillnad vid sågning och slipning uppmärksammades. Dock innehåller vissa av dessa prover (nummer 852,867) stora porer med klorit vilket betydligt sänker p-vågshastigheten. Se Figur 5.1 nedan.



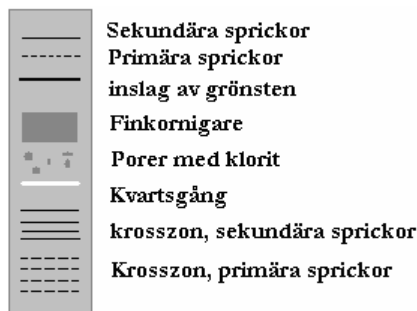
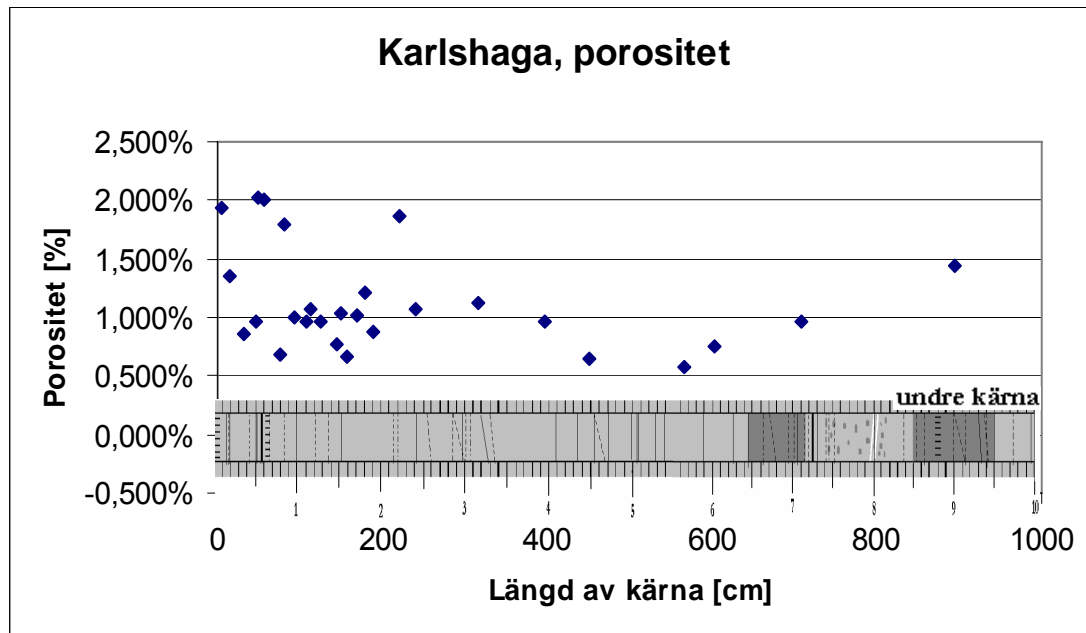
Figur 5.1 Resultat från Ultrasonikförsök, Karlshaga. Se även Bilaga 18 där samma diagram finns redovisat fast i ett större format.

Punktlasttestet från Karlshaga bergtäkt gav mycket spridda mätvärden längs hela kärnan. I Bilaga 19 åskådliggörs diagrammet och de exakta mätvärdena från detta försök.

I dragtestet var mätvärdena mycket spridda de första 3,5 metrarna. Efter detta område höll sig värdena konstanta för att sedan sjunka mot slutet (7-9 m). För diagram och mätvärden se Bilaga 20.

Även resultatet från densitetsbestämningen har samma tendens med spridda mätvärden de första 3,5 metrarna, därefter följer ett område med lika mätvärden fram till 7 meter in i berget. I den sista delen av kärnan sjunker mätvärdena. Diagram och mätvärden finns i Bilaga 21.

I porositetsförsöket uppmättes varierande värden längs hela kärnan. De första 2,2 metrarna är värdena spridda mellan 0,67 % till 2,01 % . Därefter planar kurvan ut mellan 1,5 m och 4 m. Därefter sjunker värdena ner till 0,57 % för att sedan stiga de sista metrarna och hamna på 1,44 % 9 meter in i berget. Den höga porositeten i slutet av kärnan hänger med stor sannolikhet ihop med kvaliteten på berget, då kloritfyllda porer uppmärksammats under denna sträcka. Se Figur 5.2 nedan.



Figur 5.2 Resultat från porositetsförsök, Karlshaga. Se även Bilaga 22 där samma diagram finns redovisat fast i ett större format.

5.2 Gategård

Då den undre borrkärnan från Gategård tangerade hålet från den övre, saknades ca 70 cm av den undre. På de efterföljande 2 metrarna saknades en tredjedel av kärnans diameter. Dessa förutsättningar medförde att den övre kärnan användes till samtliga försök.

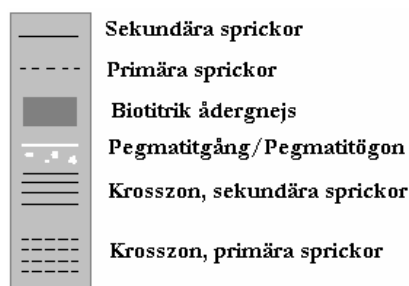
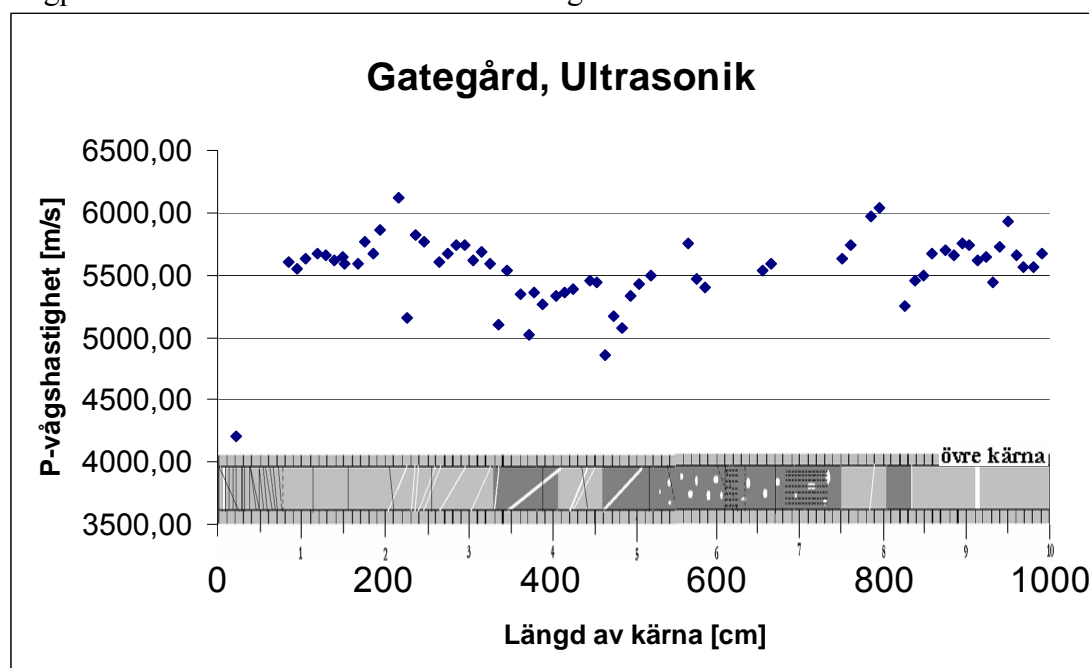
5.2.1 Kärnkartering

Från kärnan som karterats framgår att berget i Gategård består av en fin- till medelkornig granodiorit. De två första metrarna har en homogen granodioritisk sammansättning. Därefter återfinns en hel del pegmatitgångar längs hela kärnan. Vid 3,4 m övergår bergarten till en sediment ådergnejs, vilken håller i sig fram till 8,30 m in i berget med vissa undantag (4,0-4,6; 5,0-5,2 och 7,5-8,0 m). En stor del av ådergnejsen är mycket biotitrik, särskilt mellan 5,0 och 7,5 m, detta innebär en försämring av hållfastheten i berget. Det finns en påtaglig skillnad i antalet sprickor längs kärnan. Den första metern innehåller 20 sprickor, de efterkommande 5 metrarna

har bara 1-2 sprickor per meter. I den biotitrika zonen ökar antalet sprickor något, för att sedan avta på nytt. Bild på kärnlådorna finns i Bilaga 14.

5.2.2 Bergartstester

Då den övre kärnan i Gategård var mycket uppsprucken de första 85 cm kunde bara ett värde registreras, vid ultrasonikförsöket, från denna del av kärnan (23 cm in i berget). Det är tydlig skillnad mellan p-vågshastigheterna 23 cm (4200 m/s) respektive 85 cm (5600m/s) in i berget. Även mellan 0,85 m och 1,70 m är hastigheterna något lägre (5600m/s) än den efterkommande sträckan 1,70-3,0 m (5700 m/s). Därefter sjunker hastigheterna på nytt, detta har dock geologiska förklaringar (se Figur 5.3 nedan). Mellan 3,50-7,50 m påträffas en mycket biotitrik ådergnejs. Inom detta område sjunker p-vågshastigheten medan densiteten ökar, vilka annars brukar korrelera betydligt bättre. Anledningen till detta är biotiten som har en hög densitet, då den innehåller mycket järn och samtidigt är porös vilket påverkar p-vågens förmåga att transporteras genom provkroppen. Efter 7,50 m återfår berget samma kvalitet som de första metrarna, vilket på nytt medför en ökning av hastigheten genom bergproverna. För tabell med värden se Bilaga 23.



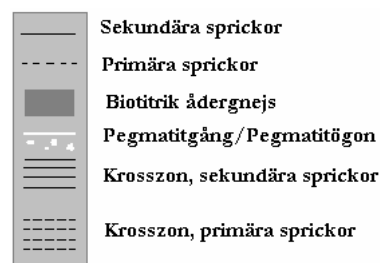
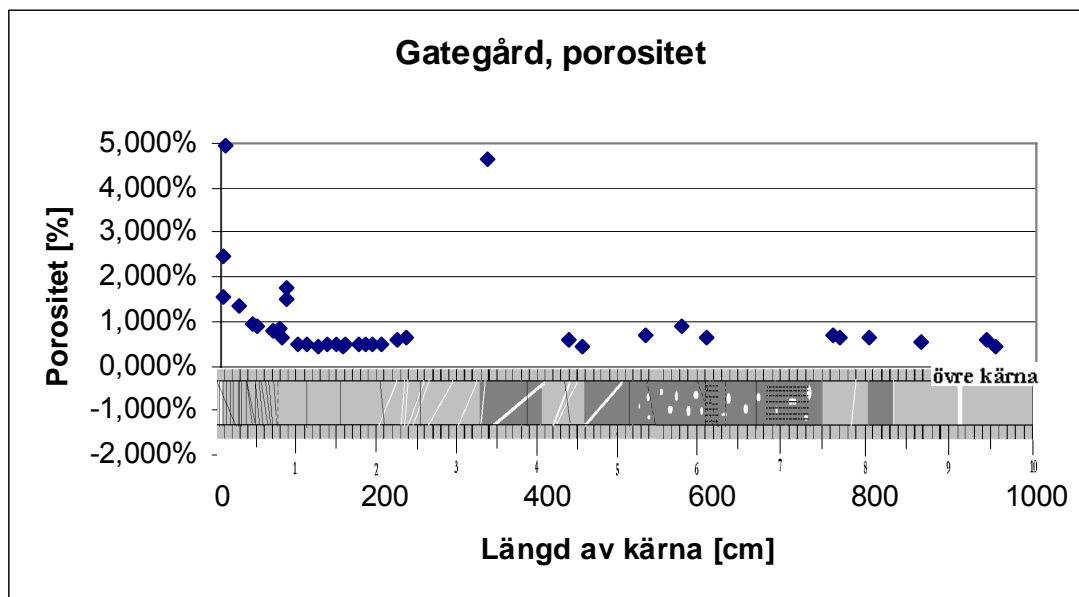
Figur 5.3 Resultat från ultrasonikförsök, Gategård. Se även Bilaga 23 där samma diagram finns redovisat fast i ett större format.

Resultatet från punktlasttestet är svårt att tyda. Det som kan påpekas är att skillnaden vid radiell och axiell angreppspunkt är stor mellan 7,5 och 9 m in i berget, detta kan visa på en skiktning i materialet. För diagram och tabell med värden se Bilaga 24.

Kurvan från Brasilien dragtest för Gategård tyder på en geologisk variation, vilket har beskrivits i kärnkarteringen. Den första metern finns endast två värden registrerade (23 cm med en draghållfasthet på 6,5 MPa och 95 cm med en draghållfasthet på 9 MPa), dessa visar på en sprängskada. Mellan 0,8-2,8 m finns en spridning i draghållfasthet mellan 8,8 och 15,8 MPa. Om sprängningen är orsaken till denna spridning är osäkert. Därefter stagnerar värdena på omkring 12 MPa med undantag i den biotitrika ådergnejsen (Punkt nummer 565). För diagram och tabell med värden se Bilaga 25.

Från resultatet vid densitetsbestämningen kan en zon med lägre densitet bevitnas mellan 0-76 cm ($2,647 - 2,665 \text{ g/cm}^3$). Punkt nummer 5 (5 cm in i berget) har en märkbart lägre densitet än punkt nummer 3a och 3b. Det kan finnas flera anledningar till detta resultat varav en är att punkt nummer 5 kan ha haft en existerande spricka redan innan sprängningen som uppkommit vid bildandet av berget. En annan förklaring kan vara att då de första decimetrarna var väldigt uppspruckna i kärnan kan stenbitarna ha bytt plats i lådan vid transport till Chalmers (det var svårt att pussla ihop gruset i början). Mellan 0,8 och 5 m in i berget stagnerar värdena på omkring $2,675 \text{ g/cm}^3$. Runt 5,2 m stiger densiteten nämnvärt och detta håller i sig fram till 8 m. Anledningen till den radikala ökningen av densiteten i detta område är den höga halten av mineralet biotit. För diagram och tabell med värden se Bilaga 26.

När det gäller porositeten är värdena från de första 76 cm höga innan de stagnerar från 0,8 m och framåt med något undantag (nummer 327). Även under den första sträckan (0-0,76 m) finns ett par undantag, anledningen till de avvikande värdena är ej självklara. Resultatet från porositetsförsöket visas i Figur 5.4 nedan, för exakta värden se Bilaga 27.



Figur 5.4 Resultat från porositetsbestämningen, Gategård. Se även Bilaga 27 där samma diagram finns redovisat fast i ett större format.

5.3 Terås

Båda kärnorna från denna täkt är mycket uppspruckna. Anledningen till detta är den stora krosszonen 3,5 meter in berget. Då en stor krosszon som denna påverkar berget 30-40 meter åt varje håll är det högst sannolikt att sprickorna i berget beror av krosszonen istället för sprängningen eller både och. Detta visar sig även i resultaten från denna täkt, där det är väldigt svårt att tyda någon direkt sprängskadezon. Då berget var uppsprucket har båda kärnorna används för att få fram fler mätvärden vid samtliga försök.

5.3.1 Kärnkartering

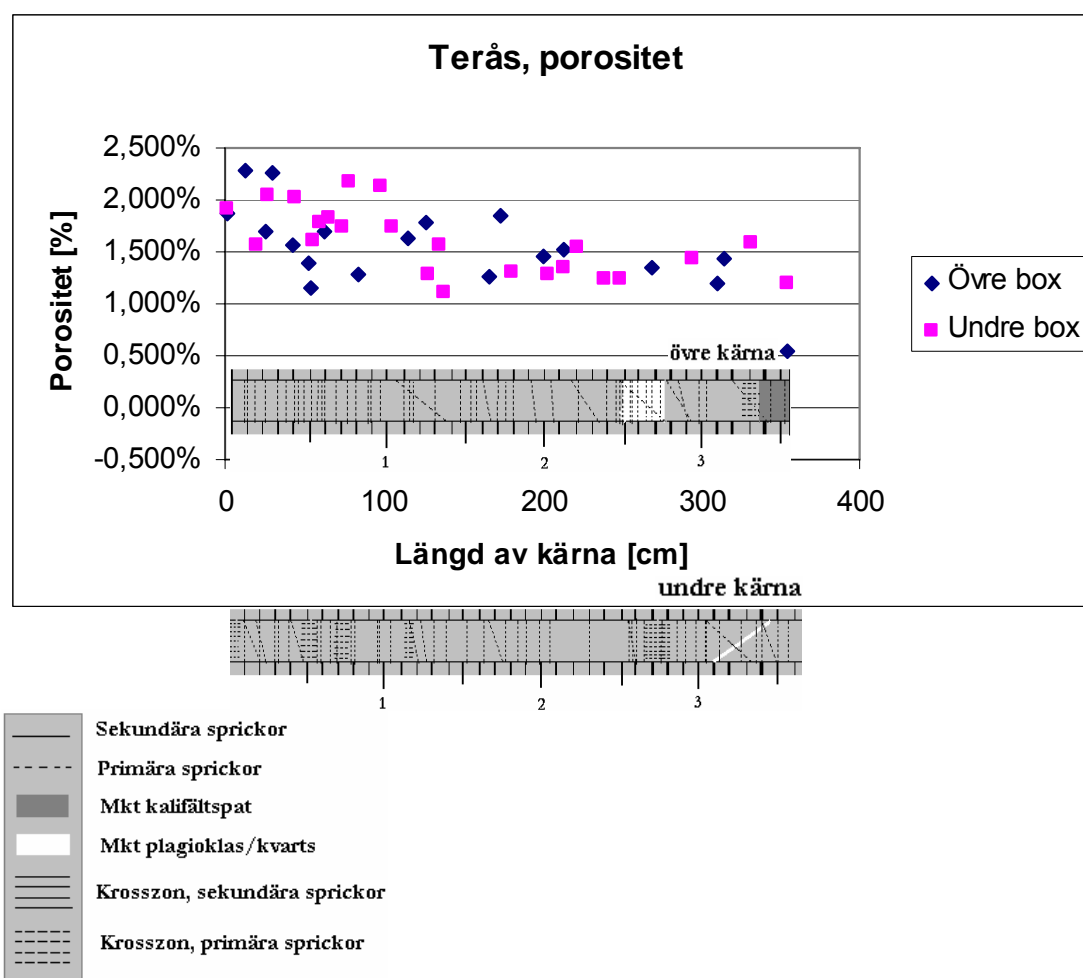
Borrkärnorna från Terås är endast 3,55 m (övre borrkärnan) respektive 3,65 m (undre borrkärnan). Anledningen till detta är att det fasta berget övergick i en stor krosszon. Berget i Terås är av mycket uppsprucken karaktär. De allra flesta sprickorna har någon form av beläggning, oftast järnoxid. Detta medför att berget redan innan sprängning var väldigt uppsprucket. Troligtvis har många av sprickorna varit hopläkta och spruckit upp igen på grund av sprängningen, detta förklarar beläggningarna i sprickorna. Bergarten är en rödsvart, medelkornig alkaligranit, delvis metamorf. Berget är homogent längs kärnorna med några få undantag. I den övre kärnan

påträffas en fläck med mycket plagioklas, 2,5 m in i berget, och en fläck innehållande mycket kalifältspat, 3,5 m in. Den undre kärnan har en kvartsådra 3 m in i berget. På den första metern påträffas mellan 20 och 30 sprickor i de båda kärnorna, detta avtar något de efterkommande 2 metrarna men aldrig till under 10 sprickor per meter. För bild på kärnlådorna se Bilaga 15.

5.3.2 Bergartstester

I resultaten från ultrasonikförsöket, punktlasttestet, draghållfasthetstestet och densitetsbestämningen kan ingen direkt skadezon indikeras. Mätvärdena är mycket spridda och kurvorna korrelerar inte med varandra. För diagram och mätvärden se Bilagor 28 (ultrasonik), 29 (Punktlasttest), 30 (Brasilien dragtest) och 31 (densitetsbestämning).

Porositetsförsöket var det enda försök från denna täkt som gav något tillfredställande resultat. Här kan högre värden på porositeten utläsas den första metern av kärnan. Värdena sjunker sedan kontinuerligt längs kärnornas längd. Se Figur 5.5 nedan.



Figur 5.5 Resultat från porositetsförsöket, Terås. Se även Bilaga 32 där samma diagram finns redovisat fast i ett större format.

5.4 Gillstad

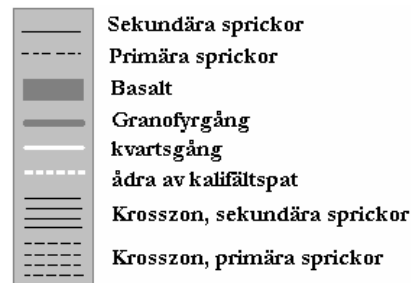
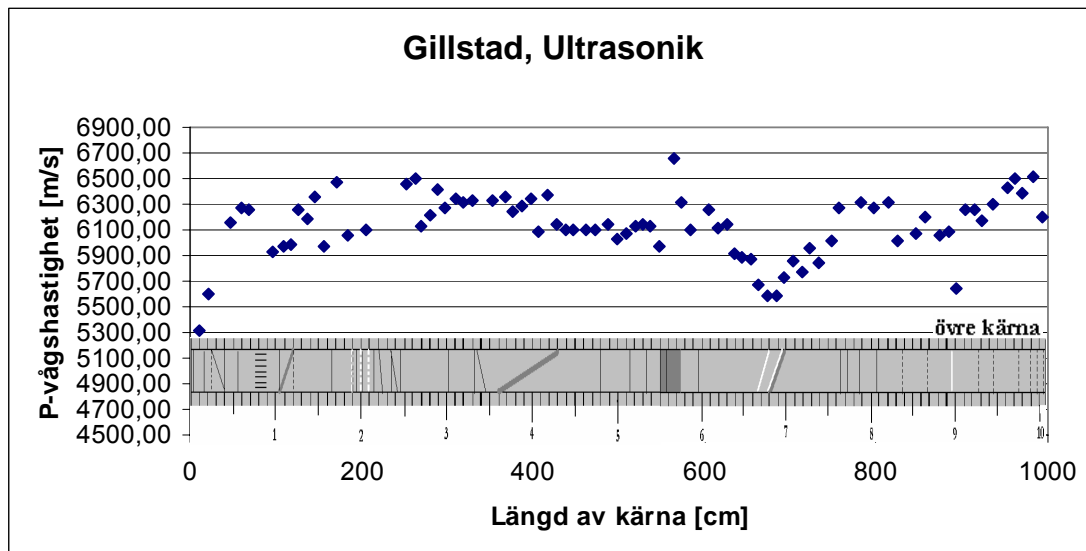
Resultaten från kärnkarteringen och bergtesterna i Gillstad bergtäkt följer nedan.

5.4.1 Kärnkartering

I de två kärnorna från Gillstad bergtäkt är den dominerande bergarten en medel- till grovkornig gabbro. Utseendet varierar något längs kärnorna genom att bergarten har en något ljusare karaktär på vissa ställen och mörkare på andra, detta genom en ökad koncentration av de ljusa respektive mörka mineralerna. I den övre kärnan påträffas granofyr på ett fåtal ställen (1,05-1,20; 6,80-6,95 m in i berget). Runt 3,55-4,30 och 5,50-5,75 m in i berget påträffas en finkornig mörk bergart, troligtvis basalt. Även i den undre kärnan påträffas granofyr på något ställe (7,51-7,60 m). Likaså en gång av basalt finns 5,38-5,62 m in. Sprickfördelningen är lik mellan de båda kärnorna, där den första metern har något fler sprickor (11 respektive 8 stycken) än de efterföljande metrarna. I många av sprickorna finns någon slags beläggning, oftast epidot men även vita kalkbeläggningar påträffas. Detta visar på primära sprickor i berget. Bild på kärnlådorna från Gillstad finns i Bilaga 16.

5.4.2 Bergartstester

Resultatet från de ultrasoniska mätningarna i Gillstad uppvisar två riktigt låga mätvärden i början av kurvan, därefter finns ett område med skiftande värden (0,46-3,0 m). Efter detta område stagnerar värdena på olika nivåer och fram till 4 m ligger hastigheten på 6320 m/s, för att sedan sjunka ner till 6100 m/s (4,1-6,25 m). Längs denna sträcka finns dock något undantag. Nummer 564 domineras helt av bergarten basalt vilket ökar p-vågshastigheten betydligt. Därefter finns några bergprover där hastigheten istället sjunker avsevärt. I området 6,60-7,0 m påträffas först en kvartsgång som direkt övergår i en granofyrgång, detta är orsaken till de låga hastigheterna i detta område. En kvartsgång påträffas även knappt 9 m in i berget (nummer 894), vilket leder till en lägre p-vågshastighet också i denna punkt. Vid jämförelse med resultaten från de övriga täkterna, då det gäller p-vågshastigheten, kan nämnas att Gabbro i Gillstad ger betydligt högre hastigheter, se Figur 5.6 nedan.



Figur 5.6 Resultat från ultrasonikförsök, Gillstad. Se även Bilaga 33 där samma diagram finns redovisat fast i ett större format.

Från punktlasttestet visar resultatet på lägre hållfastheter i början av kärnan, vilket sedan stiger fram till 4 m. Kurvan hinner precis plana ut innan mätvärdena istället sjunker fram till 7 m in i berget, därefter stiger värdena på nytt. För diagram och mätvärden se Bilaga 34.

Draghållfasthetstestet visar mycket varierande värden de två första metrarna. Därefter jämnar kurvan ut sig något, men värdena har fortfarande stor variation, med ett par låga värden mellan 6,15 och 7,15 m och ett par höga mot slutet av kärnan (nummer 820 och 985). Diagram och mätvärden finns i Bilaga 35.

Resultatet från densitetsbestämningen uppvisar spridda mätvärden särskilt de två första metrarna. Efter detta område håller värdena sig på en någorlunda jämn nivå med ett par undantag. Mätvärden och diagram finns i Bilaga 36.

Porositetsbestämningen påvisar högre värden de två första metrarna, med ett par riktigt höga värden runt 3,7 %. Därefter håller sig värdena på en konstant nivå runt 0,40 %. I slutet av kärnan finns dock några undantag (nummer 714, 820 och 915), anledningen till dessa är oklar. För diagram och mätvärden se Bilaga 37.

5.5 Äskekärr

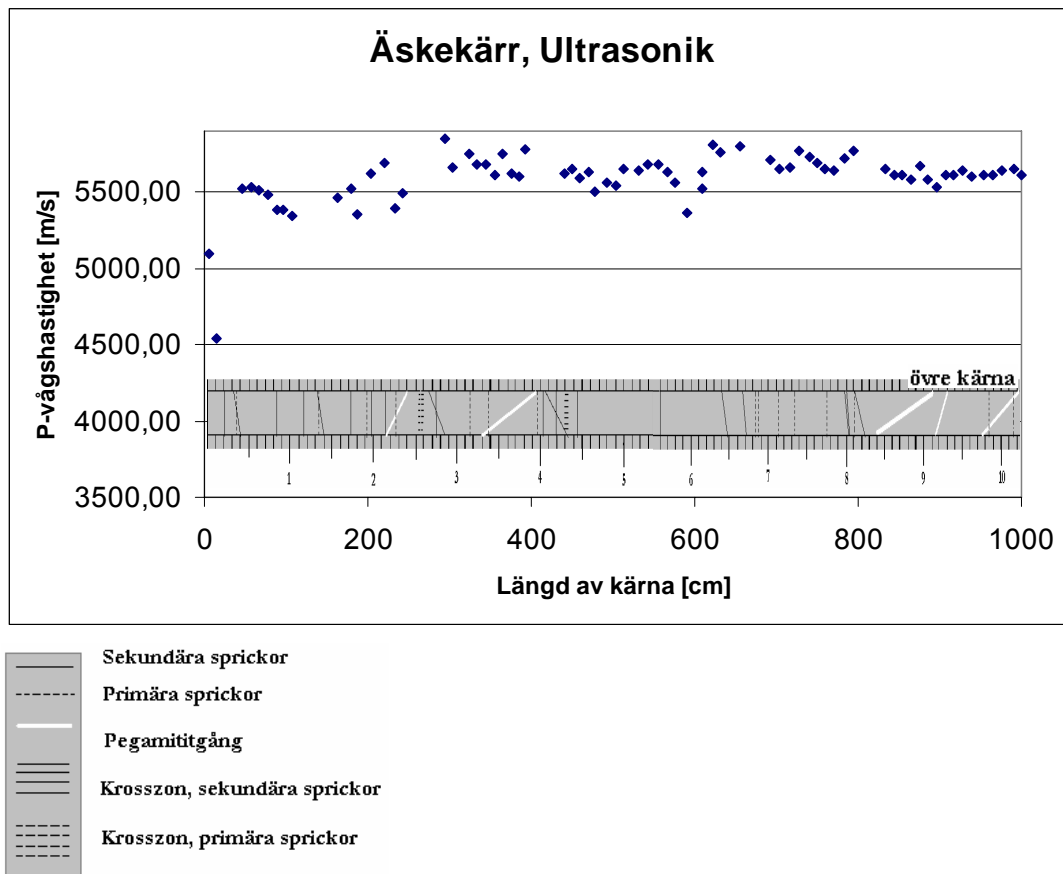
Resultaten från kärnkarteringen och bergtesterna i Äskekärr bergtäkt följer nedan.

5.5.1 Kärnkartering

Berget i Äskekärr består i huvudsak av en medelkornig granit som har en antydning till förskiffring på vissa ställen. Berget är relativt homogent längs den övre kärnan med undantag från pegmatitgångar: 2,15-2,40; 3,35-3,95; 8,40-9,10; 9,15-9,30 och 9,80-10,20 meter in i berget. Antalet sprickor per meter varierar mellan 1-7 stycken i den övre kärnan, vilket inte direkt kan korreleras till en sprängskada då första metern har färre sprickor (4 stycken) än den andra (7 stycken) och den tredje metern (5 stycken). Den undre kärnan är något mer uppsprucken den första metern (9 stycken sprickor) jämfört med de efterföljande metrarna med undantag av 6 m in i berget där en krosszon återfinns. Den undre kärnan är likt den övre i huvudsak av en mörk, medelkornig granit. Mellan 1,10-1,25 m är berget något rödare, vilket beror på en högre andel kalifältspat. Efter 3,7 m och fram till 4,7 m har berget stora kristaller av kvarts, plagioklas och kalifältspat. Även en pegmatitgång finns i detta område 3,7-4,6 m in i berget. Ytterligare pegmatitgångar hittas mellan 5,0-6,15 och 6,80-7,27 m. För bild på kärnlådorna se Bilaga 17.

5.5.2 Bergartstester

Mätvärdena från ultrasonikförsöket i den övre kärnan från denna täkt visar en tydlig kurva med lägre hastigheter fram till 2,5 m, detta ger en indikation om sprängskadepåverkan. Liknande Karlshaga varierar hastigheten på mätpunkterna 0,5-2,5 m in i berget. Därefter stagnerar värdena på p-vågshastigheten någorlunda runt 5600 m/s. Se Figur 5.7 nedan.



Figur 5.7 Resultat från Ultrasonikförsöket, Äskekärr. Se även Bilaga 38 där samma diagram finns redovisat fast i ett större format.

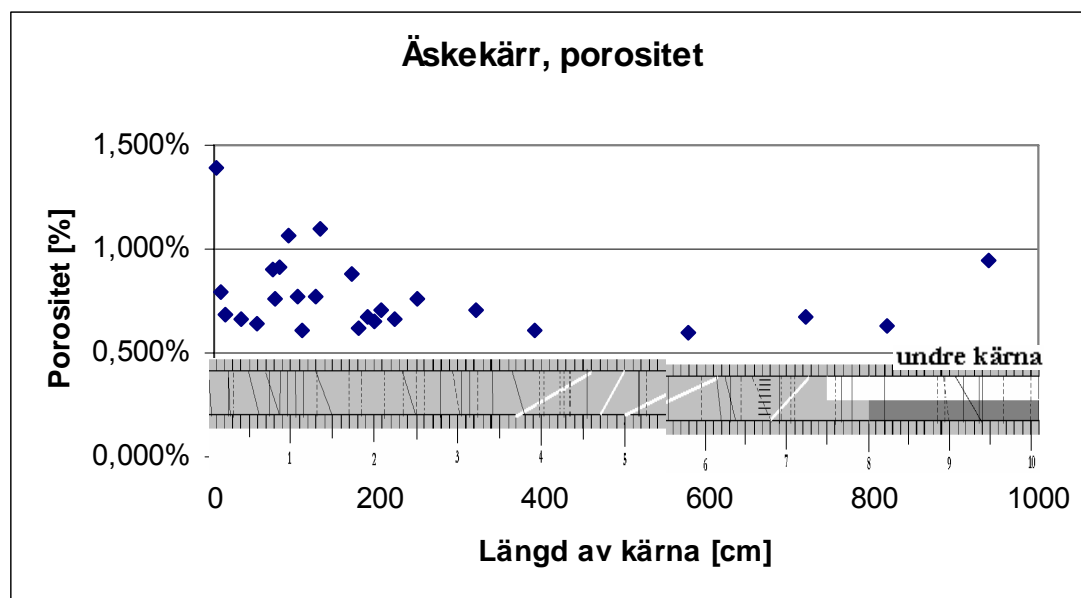
Även här är resultatet från punktlasttestet mycket oklart då en sprängskadezon är närmast omöjlig att tyda från diagrammet. De första 2,3 metrarna har mycket spridda värden på hållfastheten (2,7-5,3 MPa). Att denna spridning skulle vara ett tecken på sprängskada är inte säkert. Efter detta område håller sig värdena någorlunda konstanta med ett par undantag. Nummer 440 som har en lägre hållfasthet består till stor del av pegmatit. Nummer 727 och 835 däremot visar inte på någon skillnad i mineralsammansättning vid okulärbesiktning. Diagram och mätvärden finns i Bilaga 39.

Resultatet från Brasilien dragtest påminner mycket om resultatet från punktlasttestet i Äskekärr. Här har de första 3,2 metrarna mycket spridda värden på draghållfastheten mellan 3,5 och 11,4 MPa. Därefter är värdena mer lika varandra fram till 7,20 m in i berget bortsett från nummer 485 som innehåller mycket pegmatit och därav har något lägre draghållfasthet. Efter 7,20 m varierar värdena på nytt. Skillnader i mineralsammansättningen har ej upptäckts, vilket annars skulle kunna tros vara anledningen till denna spridning. För diagram och värden se Bilaga 40.

Mätvärdena från densitetsbestämning varierar i stort sett längs hela kärnan. De första 2,5 metrarna visar på en densitet omkring 2,697 g/cm³. Därefter sjunker värdena på

densiteten och en stor variation uppstår (från 2,669 g/cm³ till 2,701g/cm³). För diagram och värden se Bilaga 41.

Resultatet från porositetsbestämningen påminner något om resultatet från punktlast- och draghållfasthetstestet i denna täkt. Fram till 3,2 m in i berget är värdena något högre och har en stor variation. Därefter stagnerar värdena fram till omkring 9 m för att sedan stiga mot slutet. Se Figur 5.8 nedan.



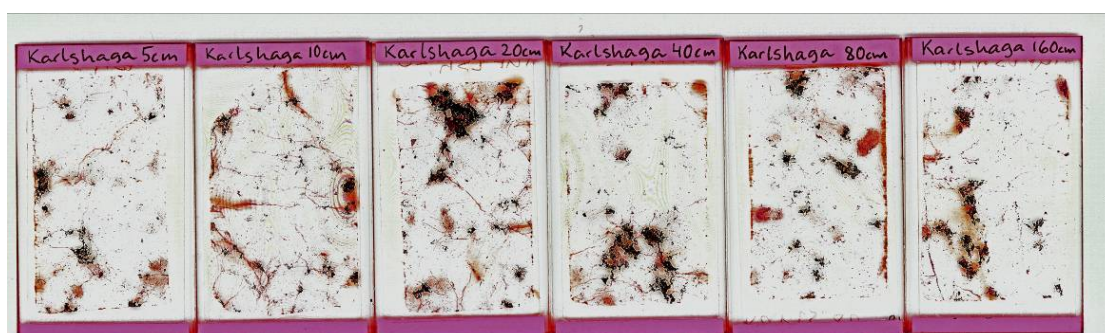
Figur 5.8 Resultat från porositetsbestämningen, Äskekärr. Se även Bilaga 42 där samma diagram finns redovisat fast i ett större format.

5.6 Tunnslipsanalys

I Figur 5,9-5.13 nedan finns bilder på resultatet från de infärgade slipen, där den röda färgen trängt in i mikrosprickorna och på sätt förstärkt dessa.

I karlshaga respektive Äskekärr syns ingen tydlig skillnad längs serien av tunnslip. Däremot från Gategård syns tydliga sprickor fram till 80 cm in i berget, med avtagande intensitet ju längre in i berget provet är taget. I Gillstad syns påtagliga sprickor 5 cm in i berget, därefter urskiljs endast någon enstaka spricka på de efterföljande slipen. Resultatet från Terås visar på mycket mikrosprickor de första 20 cm och även 1,6 m in i berget. Däremellan (40 och 80 cm in i berget) finns inga

framträdande sprickor. Detta resultat har troligtvis att göra med den stora krosszon som bergväggen i Terås övergår i.



Figur 5.9 Bilder på tunnslipen från Karlshaga bergtäkt. Tunnslipen är tagna 5, 10, 20, 40, 80 respektive 160 cm in i den kvarvarande väggen efter sprängningen.



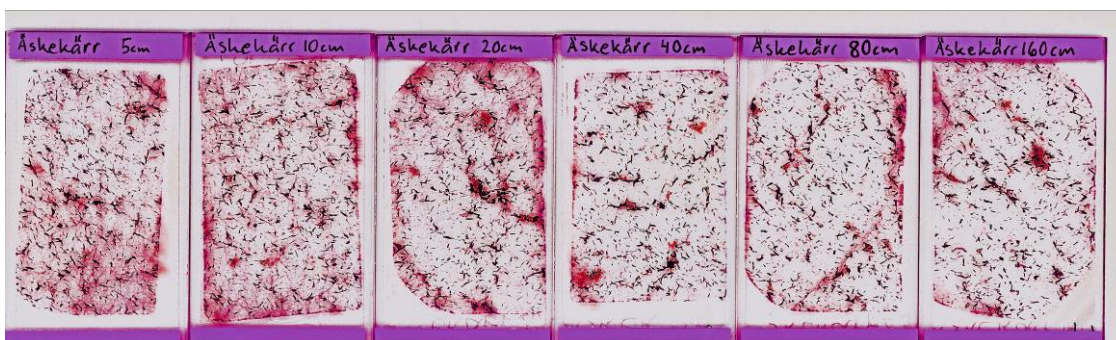
Figur 5.10 Bilder på tunnslipen från Gategård bergtäkt. Tunnslipen är tagna 5, 10, 20, 40, 80 respektive 160 cm in i den kvarvarande väggen efter sprängningen.



Figur 5.11 Bilder på tunnslipen från Terås bergtäkt. Tunnslipen är tagna 5, 10, 20, 40, 80 respektive 160 cm in i den kvarvarande väggen efter sprängningen.



Figur 5.12 Bilder på tunnslipen från Gillstad bergtäkt. Tunnslipen är tagna 5, 10, 20, 40, 80 respektive 160 cm in i den kvarvarande väggen efter sprängningen.



Figur 5.13 Bilder på tunnslipen från Äskekärr bergtäkt. Tunnslipen är tagna 5, 10, 20, 40, 80 respektive 160 cm in i den kvarvarande väggen efter sprängningen.

5.7 Teorier

Fyra olika teorier har beskrivits i Litteraturstudien (kap. 3). Resultaten från dessa följer nedan.

5.7.1 Makrospricksteori 1

I Tabell 5.1 nedan åskådliggörs resultatet från makrospricksteori 1. Som beskrivits i sprängningsutförandet tidigare har sprängningarna i de olika täkterna gått till på olika sätt och olika sprängmedel har använts. Laddningskoncentrationen i Tabell 5.1 har räknats fram med hjälp av viktstyrka (se Makrospricksteori 1, kap. 3.3.1).

Ekvation 5.1 har använts vid framräkandet av sprängskadezonen. Som framgår av Tabell 5.1 hamnar laddningskoncentrationerna för sprängningarna långt utanför randvillkoren.

$$R_c = 0,95 * (q + 0,5) \quad \text{där, } 0,5 \text{ kg} \leq q \leq 1,6 \text{ kg} / \text{m} \quad (5.1)$$

Indata som använts vid uträkningarna finns i sprängningsutförande kapitel 4.1 och Bilaga 3.

Tabell 5.1 Resultat från Makrospricksteori 1.

	Laddningskoncentration (q) [kg D×M/m]	Sprängskadezon [m]
Karlshaga	5	5,2
Gategård	3,6	3,9
Terås	4,1	5,3
Gillstad	3,5	3,8
Äskekärr	3,5	3,8

Denna teori gäller för makrosprickor som uppkommit vid slätsprängning. De försök som utförts på borrkärnorna har däremot behandlat mikrosprickor som uppkommit vid pallsprängning. Detta är en av felfaktorerna vid användandet av denna teori. En annan felfaktor är, som nämnts ovan, randvillkoren som inte stämmer överens med laddningskoncentrationerna som använts.

5.7.2 Makrospricksteori 2

Nedan (i Tabell 5.2) redovisas resultatet från makrospricksteori 2. Denna teori påvisar stora sprängskadedjup. Likt Makrospricksteori 1 gäller även denna teori för makrosprickor som uppkommit vid slätsprängning. De försök som utförts på borrkärnorna har däremot behandlat mikrosprickor som uppkommit vid pallsprängning.

Tabell 5.2 Resultat från makrospricksteori 2.

	Sprängskadezon [m]
Karlshaga	9,5
Gategård	4
Terås	7,4
Gillstad	4,8
Äskekärr	6

Härledningen till denna teori kräver att berget reagerar i huvudsak elastiskt, vilket medför att berget inte får innehålla några sprickzoner. Detta stämmer inte in på våra täkter, speciellt inte Terås, där berget är mycket uppsprucket. En annan förutsättning

är att laddningen måste vara frikopplad, detta stämmer endast på Gillstad och Äskekärr.

Andra faktorer som kan ifrågasättas är upptändningssättet och bergparametern, K_{ic} , vid jämförelse mot resultaten från våra utförda försök. Anledningen till detta är att teorin endast gäller för upptändning utan fördröjning, vilket inte var fallet vid sprängningarna i de fem täkterna. För att få fram bergparametern, K_{ic} , måste en speciell mätutrustning användas. Denna utrustning har inte funnits tillgänglig och bergparametern har därför inte kunnat kontrolleras. Istället har de värden som använts tagits i en tabell ur Oucherlony, 1988 [16] (se Tabell 5.3 nedan).

Övriga indata som använts vid uträkningarna finns i sprängningsutförande kapitel 4.1 och Bilaga 3, 10, 11 och 12.

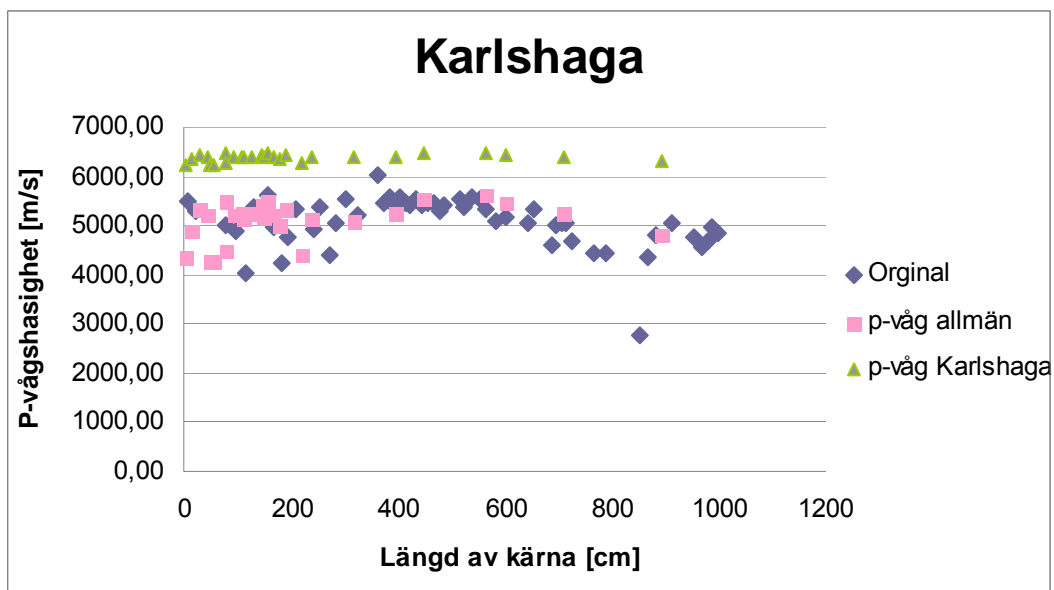
Tabell 5.3 Värden på K_{ic} -faktorn som har använts vid uträkningarna för makrospricksteori 2.

Täkt	$K_{ic} [Pa\sqrt{m}]$	Berg
Karlshaga	1,8	Bohus granit
Gategård	2,95	Finnsjön granodiorit
Terås	1,8	Bohus granit
Gillstad	2,5	Kallax gabbro
Äskekärr	1,69	Kråkemåla granit

5.7.3 Mikrospricksteori

Denna teori använder sig av ultrasoniska mätningar för att ta fram en sprängskada. Väldigt få värden kunde registreras den första metern från våra borrhävar vid dessa mätningar. Detta är anledningen till att en funktion har tagits fram för att utöka dessa. Resultat från porositetsbestämningen har använts för att ta fram funktionen.

Porositeten har plottats mot p-vågshastigheten för att se ett samband. Från detta samband har en linjär funktion tagits fram. Denna funktion har använts för att räkna om porositetsvärdena till värden på p-vågshastigheten. Därefter har dessa plottats i det ursprungliga diagrammet från de ultrasoniska mätningarna (se p-våg Karlshaga i Figur 5.14 nedan). I diagrammet visas att korrelationen inte är så bra, vilket är orsaken till att funktionen har manipulerats något för att ge mer trovärdiga värden på p-vågshastigheten (se p-våg allmän i Figur 5.14). Denna anpassade funktion har samma lutning (k-värde) i alla täkter, dock varierar m-värdet något (där linjen skär y-axeln) (se även Figur 6.1).



Figur 5.14 Diagram över p -vågshastigheter i Karlshaga. Dels åskådliggörs de uppmätta värdena (original) och dels värden framtagna med hjälp av en anpassad funktion (p -våg allmän).

Resultatet från denna teori åskådliggörs i Tabell 5.4 nedan.

Tabell 5.4 Sprängskadезon framtagen med hjälp av mikrospricksteorin där en anpassad funktion används för att ta fram fler värden på p -vågshastigheten.

	Sprängskadезон [m]
Karlshaga	3,34
Gategård	0,76
Terås	1,35
Gillstad	0,46
Äskekärr	2,43

Det finns felkällor vid detta försök, ett av dem är numreringen på stenproverna. Denna kan diffundera med upp till 3 cm mellan de provkroppar där porositeten är mätt och de provkropparna där ultrasoniken är mätt. En annan, större, felkälla är höjdskillnaden mellan den övre och undre kärnan. De ultrasoniska mätningarna har utförts på de övre borrhärdarna och porositetsbestämningen på de undre, förutom när det gäller Terås där både den övre och undre kärnan använts för samtliga försök. Det skiljer ungefär 10 cm i startläget mellan den övre och undre borrhärdarna. Denna skillnad ökar med ca 4° längs kärnorna. Efter 1 meter skiljer det alltså 17 cm och efter 10 m skiljer det 0,8 meter.

5.7.4 Vibrationsmätningarna

Resultatet från vibrationsmätningarna har tagits fram ur diagrammen i Bilaga 9. Den kritiska svängningshastigheten, alltså den hastighet då berget tar skada, har antagits vara 1000 m/s. Den framtagna sprängskadezonen för de fem täkterna åskådliggörs i Tabell 5.5 nedan.

Tabell 5.5 Resultat från vibrationsmätningarna.

	Sprängskadezon [m]
Karlshaga	8,5
Gategård	7,1
Terås	2,7
Gillstad	0,5
Äskekärr	5,8

I Gillstad ägde sprängningen rum nära en tidigare misslyckad sprängning. Mätarna för vibrationsmätningen sattes i berget bakom den misslyckade sprängningen, vilket kan ses som en stor krosszon. Detta har med stor sannolikhet sänkt värdena från vibrationerna i denna täkt.

5.8 VOD-mätning

Resultatet från VOD-mätningarna åskådliggörs i Bilaga 10, 11 och 12. Tyvärr misslyckades mätningen under sprängningarna i Terås och Gategård. Detta har medfört att inget resultat har redovisats från Terås. Det värde som istället har använts i makrospricksteori 2 för Terås är det värde som mättes upp vid sprängningen i Karlshaga, detta på grund av att samma sprängmedel använts. Dock spelar även geologin och borrhålsdiametern in vid dessa mätningar, vilket inte tas hänsyn till i detta fall. Däremot har resultat från VOD-mätningen i Gategård redovisats i bilagorna, detta är dock ej resultat från ”vår” sprängning utan denna mätning har gjorts vid ett annat tillfälle. Det finns heller inga mätningar från sprängningen i Äskekärr. Resultatet från mätningarna i Gillstad har istället använts vilket, likt Terås, innebär en felkälla.

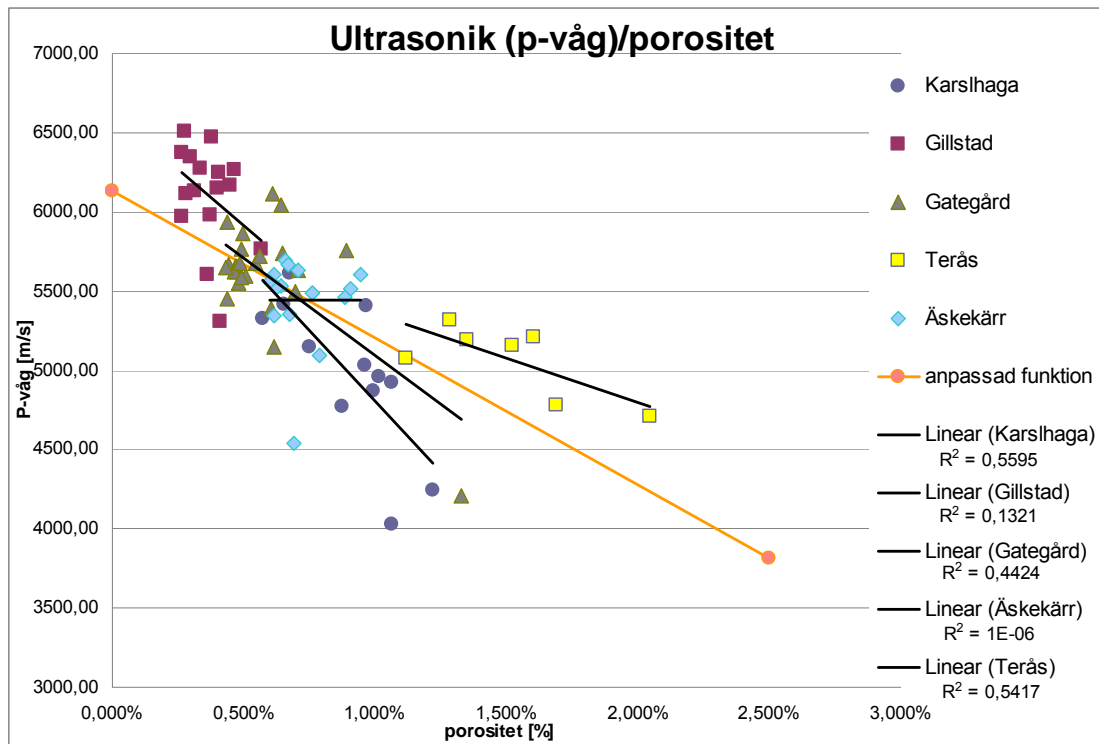
6 Diskussion

Enligt våra resultat från porositetsbestämningen och de ultrasoniska mätningarna kan en sprängskada åskådliggöras. Dock när det gäller att fastställa storleken av denna finns utrymme för diskussion. Nedan följer ett resonemang kring resultaten från de utförda försöken och de befintliga teorierna.

6.1 Mikrospricksteori

Ett sätt att fastställa en sprängskadezon är att använda mikrospricksteorin som beskrivs i rapporten (kap. 3.3.3). Enligt denna är ett material skadat då bärförmågan reducerats med 10 % eller mer. Principen för att ta fram den sprängskadade zonen är att dividera p-vågshastigheten för det ursprungliga berget med p-vågshastigheten för det skadade. Att få fram den ursprungliga p-vågen har dock varit svårt på vissa ställen. Då geologin varierar kraftigt (se Gillstad som exempel) visar resultatet att berget är sprängskadat även långt in i borrhölet, vilket antagligen inte är fallet. Samtliga sprängningar har ägt rum i täkter där pallsprängning utförts. Detta innebär att berget med stor sannolikhet är påverkat av tidigare sprängningar som förekommit ovanför ”vår” sprängning.

Ett annat problem vid framtagande av sprängskadan med hjälp av mikrospricksteorin är att berget har varit uppsprucket den första metern i de flesta täkter. Detta har medfört att få värden på p-vågshastigheten har kunnat registreras den första biten. En fråga som vi då ställde oss var: Hur ska vi kunna få fram fler värden på p-vågshastigheten den första metern? Porositeten har visat sig vara en stark indikator till storleken av sprängskadan. Då porositetsbestämningen medför mätvärden även i början av borrhölet var detta försök mycket intressant. En jämförelse gjordes mellan dessa två parametrar. Dock bör tänkas på att p-vågen har mätts på den övre kärnan och porositeten på, till största delen, den undre. Undantaget är Gategård där alla mätningar har utförts på den övre kärnan. Figur 6.1 nedan visar hur bra p-våg och porositet korrelerar med varandra. Determinationskoefficienterna, R^2 (se Bilaga 45) visar att trendlinjerna som är framtagna för respektive täkt inte har en bra korrelation. Med tanke på att porositet och p-våg inte jämförts på samma provkroppar och att antalet försök är få, vilket medför att varje punkt har avgörande betydelse för trendlinjens utseende, har vi valt att göra en övergripande trendlinje för alla fem täkter.



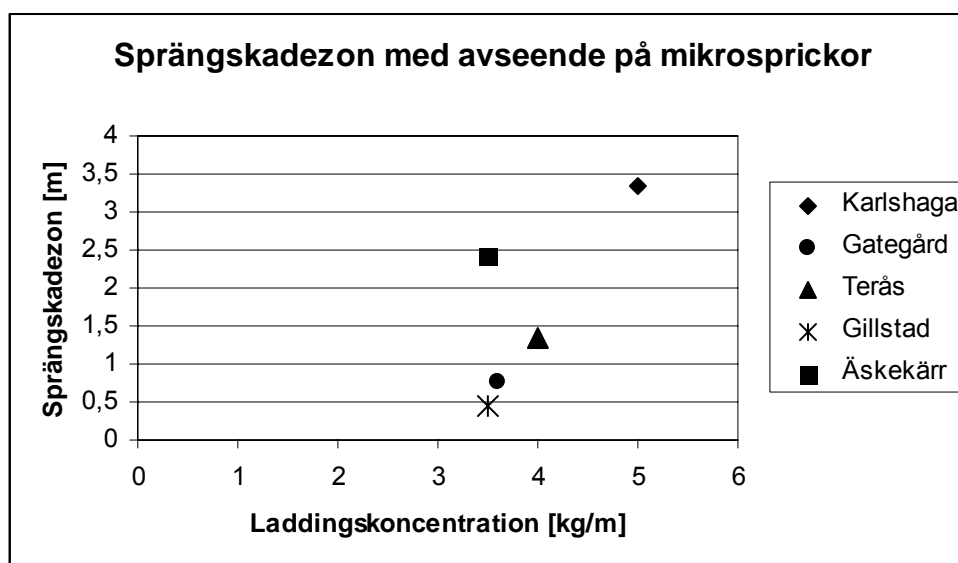
Figur 6.1 En jämförelse mellan porositet och p-vågshastighet visas i denna figur. En funktion har tagits fram för att räkna om värden på porositeten till värden på p-vågshastigheten.

En anpassad linjär funktion användes (se anpassad funktion i Figur 6.1) för att räkna om porositeten till värden på p-vågshastigheten. Denna funktion visade sig ge trovärdiga värden på p-vågshastigheten. Dock får m-värdet (där linjen skär y-axeln) justeras för Terås, Äskekärr och Gillstad. En anledning till att värdena måste justeras för att få en bra korrelation kan bero på att olika berg har olika förmåga att transportera en våg. Lutningen på den anpassade funktionen stämmer då bättre dock inte helt och hållet.

Tabell 6.1 och Figur 6.2 visas sprängskadezonen för bergtäkterna framtagna med mikrospricksteorin, där värdena utökats med hjälp av den anpassade funktionen och geologisk jämförelse. För att få en känsla för de olika energimängderna som man har sprängt med har laddningskoncentrationen lagts till i Tabell 6.1 och Figur 6.2.

Tabell 6.1 I tabellen redovisas sprängskadezonerna framtagna med hjälp av mikrospricksteorin där en anpassad funktion används för att ta fram fler värden på p -vågshastigheten. Även utvärdering av kärnkartering och rådata från utförda försök har bidragit till resultatet. Laddningskoncentrationerna finns där för att ge en känsla av hur energin varierat under de olika sprängningarna.

	Laddningskoncentration (q) [kg/m]	Sprängskadezon [m]
Karlshaga	5,0	3,34
Gategård	3,6	0,76
Terås	4,0	1,35
Gillstad	3,5	0,46
Äskekärr	3,5	2,43



Figur 6.2 Diagrammet illustrerar sprängskadezonerna från Tabell 6.1

I Bilaga 44 redovisas de diagram som värdena i Tabell 6.1 härstammar från. Hur vi kommit fram till sprängskadan i respektive täkt beskrivs nedan.

Karlshaga: Resultatet på den uppkomna sprängskadan i denna täkt är mycket osäkert på grund av att kärnbörningen ägde rum ca 70 cm från borrhölet där sprängmedlet verkat. Diagrammet i Bilaga 44 visar på en sprängskada 8 m in i berget. Dessa värden beror dock på annorlunda berggrundsgeologi och inte på sprängningen.

Gategård har mycket varierande värden beroende på sin berggrundsgeologi. Maxvärdena är extrema och har därför tagits bort. Detta för att få ett mer jämnt utseende på kurvan och på så sätt kunna urskilja en sprängskada. I denna täkt finns stora biotitrika zoner som delvis övergår i ådergnejs, även en hel del pegmatitådror finns. De bergarter avvikande från den dominerande uppvisar en lägre hållfasthet. Detta innebär att de avvikande bergarterna lättare spricker upp vid sprängningsarbeten om de finns representerade tillräckligt nära.

Terås: Väggen som sprängdes i denna bergtäkt övergick efter 3,5 m i en stor krosszon. Detta medförde ett mycket uppsprucket berg med många hopläkta sprickor. Skadeparametern som visar om berget är sprängskadat eller ej har därför värdet 0,2 för skadat berg (0,1 i de övriga täkterna). Vid framtagandet av sprängskadan i denna täkt har de högsta värdena längs borrkärnorna använts från de ultrasoniska mätningarna (se diagram Bilaga 28). Anledningen till detta är att vi har förutsatt att dessa är minst påverkade av den stora krosszonen. Då vi bara har värden fram till 3 m från försöket är detta resultat följaktligen inte helt självklart.

Gillstad har den mest naturligt varierande p-vågshastigheten av de fem täkterna. Vid 1,05 m in i berget finns en Granofyrgång. Denna bergart uppvisar låg p-vågshastighet, hög hållfasthet, låg densitet och låg porositet (se Bilaga 33 (ultrasonik), 34 (punktlasttest), 35 (brasilien), 36 (densitet), 37 (porositet)). Vid 1,9-2,1m finns ådror av kalifältspat, vilka är spröda med låg p-vågshastighet och låg hållfasthet. Vid borttagande av dessa punkter som beror på ovan nämnda berggrundsgeologi hamnar sprängskadan på 46 cm. Normalberget verkar ha två olika p-vågshastigheter, en som syns efter 2,5 m fram till 4 m och en på en lägre nivå från 4 m fram till 9 m med en dipp 7,17 m in i berget. Vid dippen drygt 7 m in i berget finns två kvartsådror och en granofyrådra, vilket är anledningen till att det ser sprängskadat ut i detta område.

Äskekärr har en tydlig sprängskada. P-vågen varierar emellertid kraftigt innan den stabiliseras (se Bilaga 38). Detta går även att se på sprängskadezonen i Karlshaga. Anledningen till denna variation kan vara att sprängmedlet i salvorna detonerat med olika tidsintervall. Det kan sedan ha medfört att stötvågorna som skickats ut ibland har förstärkt varandra och ibland tagit ut varandra. En annan orsak kan vara inhomogen geologi de första metrarna, som inte har kunnat upptäckas vid okulärbesiktning.

6.2 Hur hänger de geologiska parametrarna ihop?

En och samma bergart har ibland större variationer på sina mätbara parametrar (Brasilien dragtest, p-vågshastighet etc.) än olika bergarter. Detta går att se klart och tydligt i Högströms avhandling (1994) [7]. Mätningar av porositet och p-våg har visat sig vara ett bra sätt att se hur stor sprängskada som uppstått. Finns det några tumregler som kan användas då? En indelning av bergarterna i sega och spröda kan göras, där basiska bergarter anses sega och de sura bergarterna spröda. Då de sega bergarterna ofta har högre värden när det gäller hållfasthetsparametrar (fracture toughness, brasilien dragtest och punktlasttest) kan sprängskadan antas bli mindre i dessa.

Ställer man upp våra bergtäkter efter seghet är gabbbron i Gillstad den som är seg, därefter kommer granodioriten i Gategård och sist de olika graniterna. I Tabell 6.2 ,

6.3 nedan finns en sammanställning av resultaten från de utförda bergartstesterna. Ur denna kan urskiljas att de segare bergarterna har högre ultrasonik och de sprödare har högre porositet. Anledningen till att resultatet från Gillstads brasilien dragtest är så lågt som 7,63 kan vi inte riktigt svara på då denna bergart uppvisar en betydligt mindre sprängskada än övriga. Det kan dock tilläggas att under dessa försök knäcker inte stenarna lika rent som vid dragtestet för de andra bergarterna. Stenarna fick därför ofta dras isär förhand för att gå isär helt och hållet. Resultatet från punktlasttesterna för Terås, Äskekärr, Karlshaga och Gillstad har låga värden vid jämförelse med Karin Högströms (1994) mätta medelvärden på Gnejsig granit och Granodiorit.

Något som bör hållas i åtanke är att struktur, kornstorlek och mineralogi har betydelse för sprickinitieringen, där stora korn och förskifring underlättar en sådan. Korngränssprickor verkar också bildas oftare då kvarts sitter ihop med något annat mineral (se Tabell 6.3).

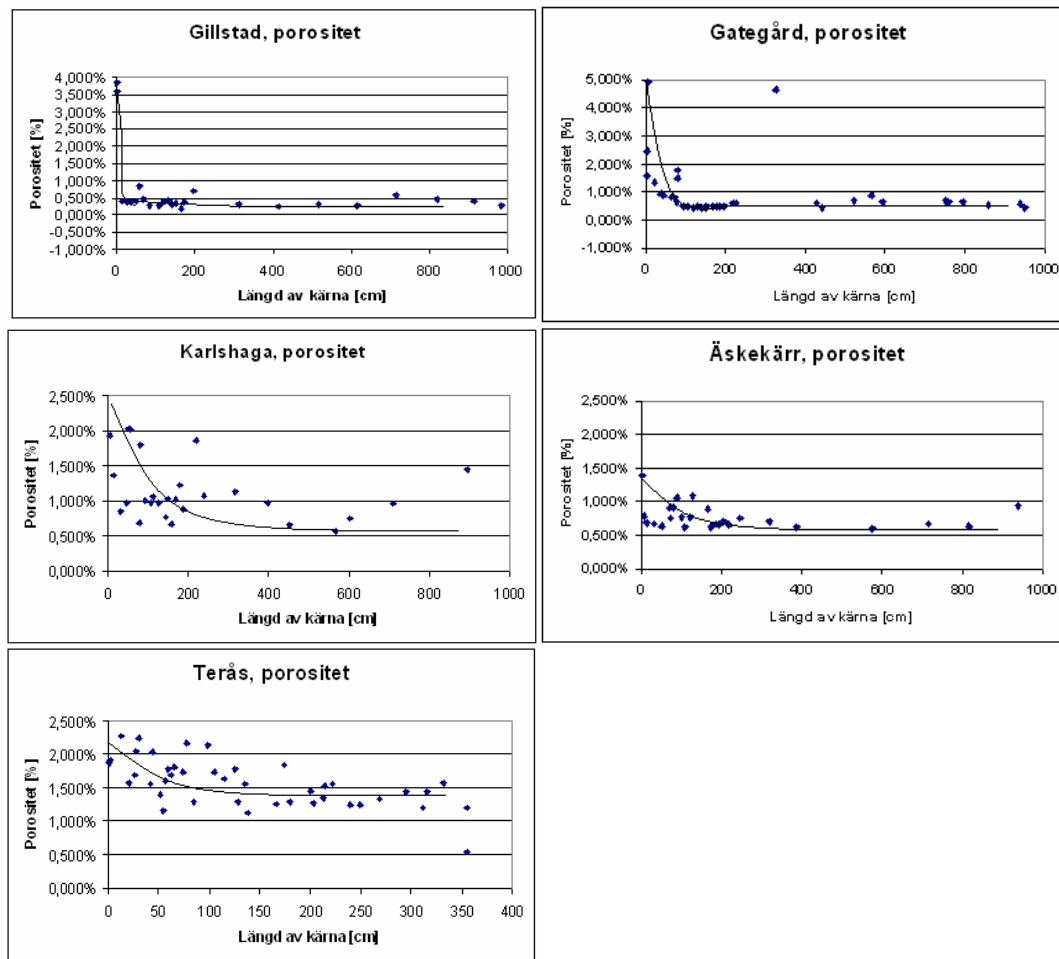
Figur 6.2 nedan visar hur porositeten avtar i de olika bergarterna. Klart och tydligt kan ses att bergarterna som har ett lågt medelvärde på porositeten, högt medelvärde på de ultrasoniska mätningarna samt hög hållfasthet är de som har den snabbast avtagande kurvan.

Tabell 6.2 Resultat från de utförda bergartstesterna i de fem täkterna. * STD står för standardavvikelse. E-modulen är den dynamiska framtaget från ultrasonik värdena.

	q [kg/m]	Brasilien σ_t [MPa]	STD*	Punklasttest σ_c [MPa]	STD*	E- modulen	STD*
Karlshaga	6,44	9,19	2	120,13	23,38	72,13	8,81
Gategård	3,03	11,85	2,38	148,61	37,42	84,64	5,18
Terås	5,26	9,93	1,9	117,03	45,78	69,72	4,47
Gillstad	3,45	7,63	0,9	164,24	28,73	110,95	6,45
Äskekärr	3,45	7,73	3,37	100,52	21,26	86,89	2,78

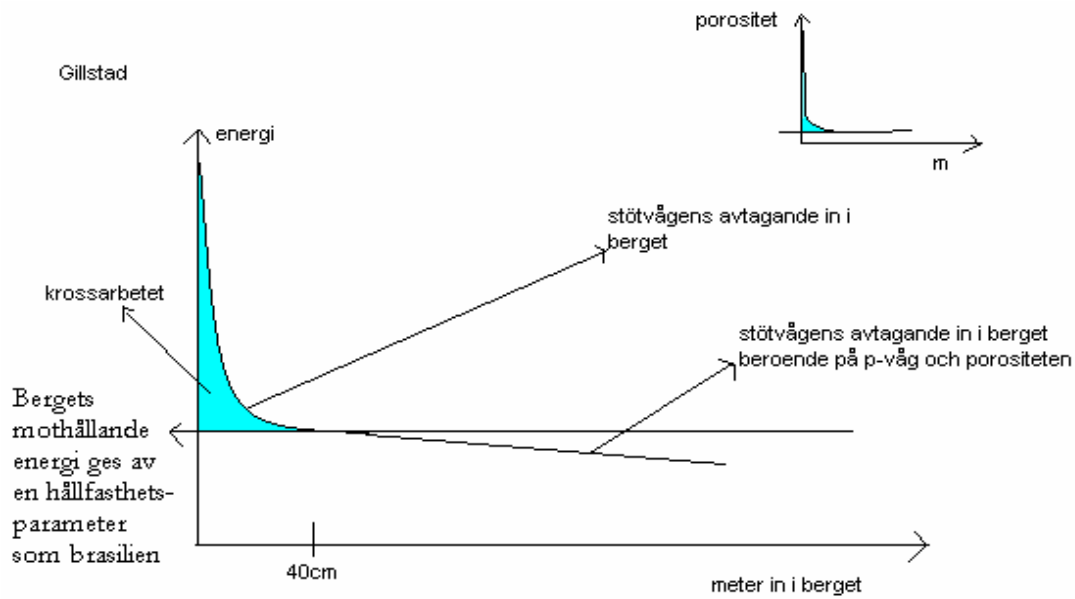
Tabell 6.3 Resultat från de utförda bergartstesterna i de fem täkterna. * STD står för standardavvikelse.

	struktur	kvartsinnehåll	kornstorlek [mm]	Ultrasonik [m/s]	STD*	Porositet [%]	STD*
Karlshaga	stokastisk	ja	0,1-10	5200	350	0,998	0,29
Gategård	stokastisk/förskiffrad	ja	0,1-2	5640	186	0,691	0,07
Terås	förskiffrad	ja	0,1-2	5170	183	1,424	0,2
Gillstad	stokasisk	nej	0,1-4	6170	171	0,35	0,09
Äskekärr	förskiffrad	ja	0,1-2	5660	92	0,7	0,13

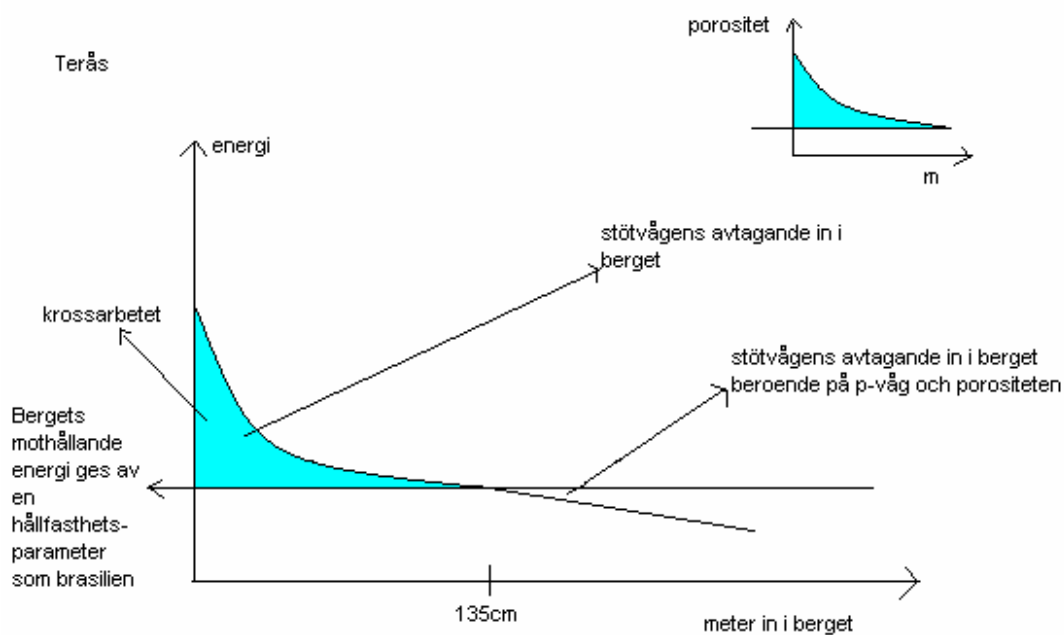


Figur 6.3 Resultatet från porositetsbestämningen i de fem täkterna visas ovan. I varje diagram har en trendlinje ritats ut som visar hur porositeten avtar längs kärnan.

Ett sätt att se på porositetskurvorna är som avtagande energikurvor där energin avtar enligt kurvorna tills den når bergartens hållfasthet. Räknar man skillnaden mellan porositeten på kurvan i Figur 6.3 ovan genom den naturliga porositeten som finns i berget (där kurvan flackar ut i Figur 6.3 ovan) så kommer det att motsvara det krossningsarbete som skett. Viktigt att observera är att energin som bergarterna belastats med är olika, men vi vet inte storleken på denna (se Energikapitlet 3.1). Vi vet att höga ultrasonikvärden betyder att stötvågen kommer att vandra långt in i berget. I Figur 6.4 och 6.5 nedan visas bilder på hur det skulle kunna se ut för gabbbron i Gillstad (seg) och för graniten i Terås (spröd). Scenariot för Gillstad blir att energin från sprängningen tas upp av berget. Berget kommer att krossas fram till det att sprängenergin motsvarar hållfastheten hos bergarten. Därefter kommer stötvågen att avta sfäriskt med den kvarvarande energin (det vill säga med den volymängd den breder ut sig). Avtagandet kommer att ske långsammare i ett kompakt medie där friktionen är låg. Detta kan medföra att svaghetszoner som kalifältspatsådror kan få mikrospricksbildning av sprängningen även långt in i berget.



Figur 6.4 Energiförlusten in i berget för en seg bergart såsom Gillstad.



Figur 6.5 Energiförlusten in i berget för en sprödare bergart såsom Terås.

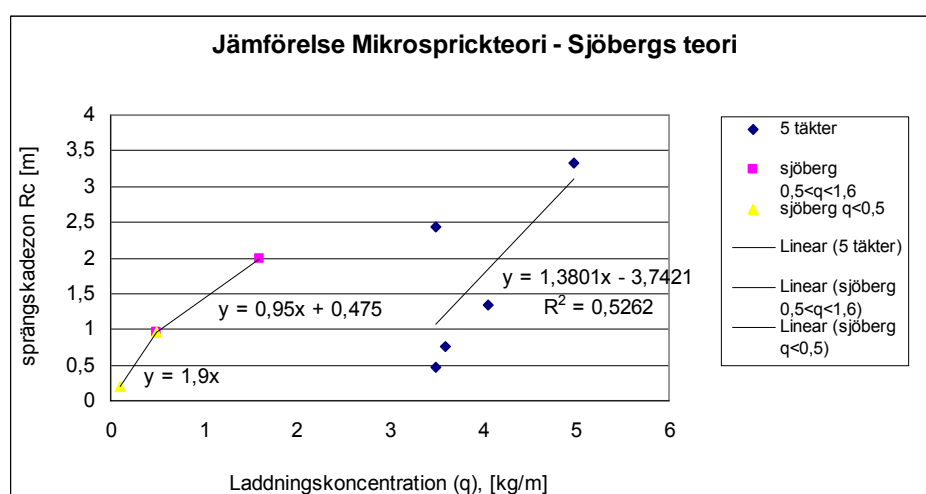
I princip innebär det som beskrivs ovan att hög porositet kan ses som många små mikrosprickor. Material med hög porositet spricker alltså upp mer. Men i ett poröst material kommer en del av energin att försvinna då det bildas friktion mellan sprickplanen.

Det betyder att porositet påverkar hållfastheten, men hur starka bindningar materialet har avgör hållfastheten.

En mycket viktig nyckel för att någonsin kunna ställa upp och lösa ut en sprängskada matematiskt är att veta hur mycket energi som berget tar upp, det vill säga hur stor stötvågen är. Då det idag inte finns en metod som kan definiera denna så kan en geologisk parameter inte heller tas fram.

6.3 Jämförelse mellan teorierna

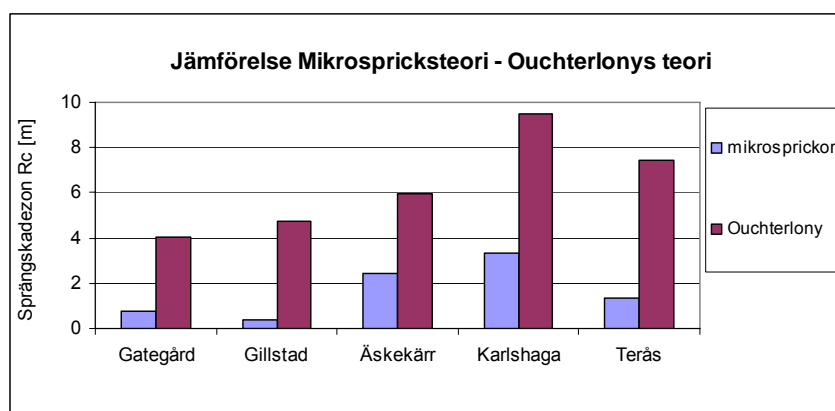
Vid jämförelse mellan makrospricksteori 1 (Sjöbergs teori), vilket är den som idag används i *Anläggnings AMA 98*, och mikrospricksteorin syns inga direkta samband. Se Figur 6.6 nedan.



Figur 6.6 En jämförelse mellan Sjöbergs teori (Makrospricksteori 1) och de framtagna sprängskadegrensarna i Tabell 6.1 ovan.

En jämförelse har även gjorts mellan makrospricksteori 2 (Ouchterlonys teori) och mikrospricksteorin. Ouchterlonys teori gäller för makrosprickor medan våra försök gäller mikrosprickor. Vi förväntar oss därför inte att resultaten helt ska stämma överens utan är mer nyfikna på om det går att urskilja ett samband. Ouchterlonys teori gäller för slätsprängning och kräver att berget reagerar i huvudsak elastiskt. Vid slätsprängning används frikopplade salvhål och andra typer av sprängmedel än vid pallsprängning. Som nämnts i resultatet är det endast Äskekärr och Gillstad som har en frikopplingsgrad. Det är alltså endast dessa som kan jämföras med varandra. Vi har emellertid tagit fram resultat från de andra tåkterna också för att se om det finns något samband. I Figur 6.6 nedan har Gillstad en mindre sprängskada och Äskekärr en större i både makro- och mikrospricksteorin. Det som sker rent matematiskt i Ouchterlonys formel då borrhålen är frikopplade, är att en tiopotens försvinner från borrhålstrycket, vilket medför en mindre sprängskadegrenz. Resultatet av jämförelsen visas i Figur 6.6 nedan. Eftersom teorin endast kan appliceras på Gillstad och

Äskekärr och då värdena på bergparametern, K_{ic} , är mycket osäkra är det svårt att göra en bedömning om hur teorierna förhåller sig till varandra.



Figur 6.6 En jämförelse mellan Ouchterlonys teori (Makrospricksteori 2) och de framtagna sprängskadegzonerna i Tabell 6.1 ovan .

Vibrationsmätningarna visade inte någon större likhet med den uppmätta sprängskadan (se Resultat, Kapitel 5). Vid jämförelse mellan resultatet från vibrationsmätningarna och porositetskurvorna syns ett samband i alla täkter bortsett från Gillstad. Mätningen i Gillstad är gjord bakom en misslyckad sprängning, vilket antagligen har påverkat resultatet och medfört låga värden på vibrationerna. De övriga täkterna har samma avtagande mönster vid resultatet från både vibrationsmätningarna och porositetsbestämningen där Gategård avtar snabbast, därefter Karlshaga och så vidare (se Figur 6.3 och Bilaga 9) Gategård har, trots sitt stora avtagande på en liten sträcka, hög vibration långt in i berget vilket stämmer överens med porositetssambandet. En slutsats som vi drar av detta är att ett antagande om att alla bergarter har en kritisk svängningshastighet vid 1000 m/s inte stämmer.

Slutsatser som kan dras från ovanstående resonemang är att:

- det finns ett visst samband mellan porositet och ultrasonik, där låg porositet medför hög ultrasonik. Dessa parametrar har visat sig kunna fastställa en sprängskada.
- en sprängskada och mikrosprickor inte bara uppvisas vid bergväggen utan även långt in i bergets svaghetszoner. Detta är anledningen till att en och samma bergart ibland kan ha större variationer på sina mätbara parametrar än olika bergarter.
- sega bergarterna ofta har högre värden på sina hållfasthetsparametrar och på sin p-vågshastighet jämfört med sprödare bergarter. Med detta som grund kan sprängskadan antas bli mindre i sega bergarter.

- vid jämförelse mellan makrosprickor/vibrationer och mikrosprickor har inget samband kunnat påvisas. Dock har de makrospricksteorier vi jämfört med varit avsedda för slätsprängning medan våra försök gjorts vid pallsprängning.
- varje bergart har sin egna kritiska svängningshastighet. Detta har bland annat vibrationsmätningarna visat på. Bergarterna har olika porositet och p-vågshastighet vilket styrker detta påstående.

7 Slutsats

En rad olika försök såsom ultrasoniska mätningar, punktlasttest, brasilien dragtest, densitetsbestämning, porositetsbestämning och tunnslipsanalys har tillämpats på borrhärdar från fem täkter i Västra Götalands län. Av resultaten från dessa försök har det visat sig att porositetsbestämningen och de ultrasoniska mätningarna har ett klart samband. Vid fastställandet av sprängskadezonen användes en mikrospricksteori. Denna tillsammans med resultaten från de utförda försöken har legat till grund för den framtagna sprängskadan i Tabell 7.1.

Tabell 7.1 *Sprängskada uppmätt med hjälp av mikrospricksteori, ultrasoniska mätningar och porositetsbestämning.*

Täkt	Bergart	q [kg/m]	R _c [m]
Karlshaga	Grovkornig granit med inslag av grönsten	6,44	3,34
Gategård	Fin till medelkornig granodiorit med pegmatitgångar	3,03	0,76
Terås	Medelkornig alkaligranit, delvis metamorf	5,26	1,35
Gillstad	Medel- till grovkornig gabbro med inslag av granofyr och basalt	3,45	0,46
Äskekärr	Medelkornig granit som har antydning till förskiffring på vissa ställen	3,45	2,43

En jämförelse har gjorts mellan makrospricksteorier/vibrationer och mikrosprickor. Sjöbergs och Ouchterlonys teorier är framtagna för makrosprickor vid slätsprängning. Sjöbergs teori är den som idag används i *Anläggnings AMA 98* för slätsprängning. Vid jämförelse mellan resultat från denna teori och vår framtagna sprängskada, enligt Tabell 7.1, visar det sig att dessa inte alls korrelerar. En jämförelse har också gjorts mellan Ouchterlonys teori och den framtagna sprängskadan. Dock finns här stora skillnader i förutsättningarna, vilket gör det svårt att göra en bedömning om hur dessa förhåller sig till varandra. Vid jämförande mellan vibrationerna och den framtagna sprängskadan syns inte heller något samband. Detta kan vara en indikation på att olika bergarter har olika kritisk svängningshastighet.

Den energi som bidragit till sprängskadorna ovan har vi ingen exakt vetenskap om då det idag inte finns något utarbetad metod för detta. För att kunna göra någon jämförelse mellan täkterna har laddningskoncentrationen använts. Observera dock att olika sprängmedel använts i täkterna. Emellertid syns klart och tydligt att geologin har betydelse för hur sprängkänsligt ett berg är och är därför något som borde tas hänsyn till. Det finns dock mycket kvar att göra innan ett samband är framtaget som kan användas för att klarlägga hur de geologiska parametrarna påverkar en bergarts sprängskadebenägenhet. Detta arbete är således ett första i en serie av arbeten för att få fram ett sådant samband som kan underlätta vid sprängningsarbeten i framtiden.

8 Förslag till fortsatt arbete/ studier

För att få fram ett mer normerande värde när det gäller geologiska parametrar vid sprängningsarbeten måste försöken utföras på fler än dessa fem täkter som vi har använt i vårt examensarbete. Något som är känt sen tidigare är att en bergart kan ha olika sammansättning och därmed olika egenskaper, detta har även våra försök visat. Flera försök i samma bergart är därför att föredra för att få fram värden som praktiskt ska kunna nyttjas.

Energifrågan är en mycket viktig parameter som behöver lösas för att kunna visa rättvisande värden gällande hur geologiska faktorer spelar in vid sprängningsarbeten. Som vi har beskrivit i vår rapport är detta ett stort problem då det idag inte finns något svar på hur stor del av energin som ger upphov till sprickor och sprängskadezoner och hur stor del som går förlorad i form av ljud, ljus, värme etc.

Parametrar som har visat sig vara viktiga vid framtagandet av en sprängskada och som därför bör studeras närmare är:

- huvudspänningsriktningen och huvudsprickriktningen som påverkar styckefallet vid sprängningsarbeten.
- de mekaniska. Ur våra försöksresultat har inte en tydlig sprängskada kunnat utläsas och därmed har ingen tid lagts ner på att studera dessa närmare. Dock kan det vara intressant att hitta en mekanisk parameter som kan användas i en sprängskadezonsteori. Till exempel kan fracture toughness (bergparametern, K_{Ic}) vara en intressant parameter.
- porositet och p-våg som i våra försök har visat på en sprängskada.
- kornstorlek, struktur och mineralogi. Dessa infaller i andra bergparametrar såsom hållfasthet, men även deras enskilda betydelse kan vara värd att undersöka.

9 Referenser

9.1 Litteratur

- [1] Antal, I., Berglund, J., Eliasson, T., Gierup, J., Hilldén, A., Stølen, L. K., Thunholm, B. (1999): Översiktsstudie av västra götaland län, geologiska förutsättningar. Sveriges Geologiska Undersökning (SGU), Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) Rapport R-99-33, sid 5-29.
- [2] Blair, D., Minchinton, A. Near-field blast vibration models, Orica Australia.
- [3] Devore, J., Farnum, N.(1999): Applied statistics for engineers and scientists. Brooks/Cole Publishing Company, Pacific Grove, CA, 577 pp.
- [4] Eberhart, E., Stimpson, B., Stead, D. (1999): Effects of Grain size on the initiation and propagation thresholds of stress-induced brittle fractures. Rock Mech. & Rock Eng., v 32(2), pp 81-99.
- [5] Granlund, L.(2006): Viktstyrka, Energi , Gasvolym och VOD - passé?!. Sprängnytt nr 1 April 2006 sid 10-15.
- [6] Gustafsson, R. (1976): Bergsprängningsboken, 5:e upplagan, Nora boktryckeri AB, SPI, Gyttorp
- [7] Högström, K. (1994): A study on strength parameters for aggregates from south-western swedish rocks. Doktorsavhandling, Chalmers Tekniska Högskola och Göteborgs universitet, Geologiska institutionen. Göteborg
- [8] Jern, M. (2004): The Geological Conditions for aggregate production, with special focus on blasting and fines production. Doktorsavhandling, Chalmers Tekniska Högskola, Department of GeoEngineering. Chalmers reproservice, Göteborg
- [9] Jern, M. (2007): Sprängskador? Geologins inverkan på sprängningsresultatet, Diskussionsmöte BK 2007, sid 12.
- [10]Krantz, R.L. (1983): Microcracks in Rocks: A review. Tectonophysics. v 100, pp 449-480.
- [11]Moore, D.E., Lockner, D.A., (1995): The role of microcracking in shear fracture propagation in granite. Journal of structural geology, v 17(1), pp 95-114.
- [12]Lindblom, U. (2001): Bergbyggnadsteknik, kurslitteratur, Kompendium, Chalmers Tekniska Högskola, sid. 55-64.
- [13]Lundqvist, I. (1997): Beskrivning till berggrundskartan Vänersborg SO. Sveriges Geologiska Undersökningar (SGU), Serie Af, Nr 160, sid 86-89.

- [14]Ouchterlony, F. (1997): Prediction of crack lengths in rock after cautious blasting with zero inter hole delay....., Swedish rock engineering research (SveBeFo), Report 31, 33 pp.
- [15]Ouchterlony, F., Olsson, M. (2000): Dags att komplettera befintlig skadezonstabell? Diskussionsmöte BK 2000, sid 155-177
- [16]Ouchterlony, F. (1988): Suggested methods for determining the fracture toughness of rock, International society for rock mechanics commission on testing methods. J. Rock Mech. Min. Sci & Geomech. Abstr. Vol 25 No. 2, pp.71-96
- [17]Olsson, M., Bergqvist, I., Ouchterlony, F. (2001): Stötvågens och gasens inverkan på sprickbildning vid skonsam sprängning. SveBeFo rapport 59
- [18]Price, M., Walsh, K., översättning Jonsson E. (2005): Bergarter och mineral. Bonniers Naturguider. Albert Bonniers förlag, 216 sidor.
- [19]Persson, P.-A., Holmberg, R., Lee, J. (1993): Rock Blasting and Explosives Engineering. CRC Press, 539 pp.
- [20]Seinkov, N.P., Chevkin, A.I. (1967): Effect of Fissure on the Fragmentation of a Medium by Blasting. Soviet Mining Science, v.5 pp 254-259.
- [21]Seo, Y.S., Jeong, G.C., Kim, J.S., Ichikawa, Y. (2002): Microscopic observation and contact stress analysis of granite under compression. Engineering Geology, v 63, pp 259-275.
- [22]Siegesmund, S., Kern, H., Vollbrecht, A. (1991): The effect of oriented microcracks on seismic velocities in an ultramylonite. Tectonophysics, v 186, pp 241-251.
- [23]Sjöberg C., Larsson B., Lindström M., Palmqvist K. (1977): Sprängningsmetod för kontrollerad sprickutbredning och ökad säkerhet under jord. Arbetarskyddsfonden; Projekt nr 77/224
- [24]Sprunt, E.S., Brace, W.F. (1974): Direct observations of microavities in crystalline rocks. Int. J. rock mech. and min sci. v 11(4), pp 139-150
- [25]Svahn, V. (2000) Laboration Bergmekaniska egenskaper. Teknisk geologi, fk V4
- [26]Säwe, G., Tyrberg, Å. (1983): Analys av sprickkartering på ramberget, Göteborg – med hjälp av ett basic-program. Examensarbete, Geologiska institutionen, Publ B 218, Göteborg.

9.2 Internetkällor

- [27] Geologi för skolan, SU (2007-02-20)
http://www.tellus.geo.su.se/geologi/Pages/berg_mineral2.htm
- [28] GeoNord, Geologiska och mineralogiska termförklaringar (2007-01-10)
http://www.geonord.org/edu/ordf_p.html
- [29] GTK, stenguide för utfärder (2007-02-21)
<http://se.gtk.fi/>
- [30] MarkInfo, SLU (2007-02-21)
<http://www-markinfo.slu.se>
- [31] Människa-Natur-Teknologi Nr.2 (2007-01-15)
<http://www.fortidateknik.z.se/IFT/MNTarb/1985/stenborr.htm>
- [32] SGU, Sveriges Geologiska Undersökning (2007-01-10)
http://www.sgu.se/sgu/sv/geologi_samhalle/vad_geologi/berg/bergart_s.htm
- [33] Västervik kommuns hemsida (2007-02-21)
http://www.vastervik.se/templates/VVKommun_Page.aspx?id=2967
- [34] Wikipedia (2007-02-23)
http://sv.wikipedia.org/wiki/Arkimedes_princip
- [35] Wikipedia (2007-01-10 till 2007-03-15)
<http://sv.wikipedia.org/wiki/Portal:Huvudsida>
- [36] Wikipedia (2007-04-24)
<http://sv.wikipedia.org/wiki/Ler>
- [37] Orica mining service (2007-02-23)
<http://www.oricaminingservices.com>

[38] Dyno Nobel Sweden AB (2007-02-23)

<http://www.dynonobel.com>

[39] Norab (2007-02-23)

<http://www.norab.com/lankar.htm>

9.3 Muntliga källor

[40] Jan-Olof Bergling, Nitro Consult AB

[41] Mathias Jern, Nitro Consult AB

[42] Finn Ouchterlony, Swebrec, LTU

[43] Bo Ronge, Migmatit AB

10. Bilagor

1. Ordlista
2. Mineraler
3. Sprängmedel och tändsystem
4. Tändplan Karlshaga
5. Tändplan Gategård
6. Tändplan Terås
7. Tändplan Gillstad
8. Tändplan Äskekärr
9. Resultat från vibrationsmätningarna
10. Resultat från VOD-mätningarna, Karlshaga
11. Resultat från VOD-mätningarna, Gategård
12. Resultat från VOD-mätningarna, Gillstad
13. Kärnlådor, Karlshaga
14. Kärnlådor, Gategård
15. Kärnlådor, Terås
16. Kärnlådor, Gillstad
17. Kärnlådor, Äskekärr
18. Resultat Ultrasonik, Karlshaga
19. Resultat Punktlasttest, Karlshaga
20. Resultat Brasilien dragtest, Karlshaga
21. Resultat Densitetsbestämning, Karlshaga
22. Resultat Porositetsbestämning, Karlshaga
23. Resultat Ultrasonik, Gategård
24. Resultat Punktlasttest, Gategård
25. Resultat Brasilien dragtest, Gategård
26. Resultat Densitetsbestämning, Gategård
27. Resultat Porositetsbestämning, Gategård
28. Resultat Ultrasonik, Terås
29. Resultat Punktlasttest, Terås
30. Resultat Brasilien dragtest, Terås
31. Resultat Densitetsbestämning, Terås
32. Resultat Porositetsbestämning, Terås
33. Resultat Ultrasonik, Gillstad
34. Resultat Punktlasttest, Gillstad
35. Resultat Brasilien dragtest, Gillstad
36. Resultat Densitetsbestämning, Gillstad
37. Resultat Porositetsbestämning, Gillstad
38. Resultat Ultrasonik, Äskekärr
39. Resultat Punktlasttest, Äskekärr
40. Resultat Brasilien dragtest, Äskekärr
41. Resultat Densitetsbestämning, Äskekärr
42. Resultat Porositetsbestämning, Äskekärr
43. Bilder på Tunnslip från alla fem täkter
44. Resultat Mikrospricksteori
45. Determinationskoefficienter
46. Blockstorleksfördelning

Ordlista

Accelerometer är ett mätinstrument som består av kristaller som komprimeras så att en vibration kan mätas.

Alkaligranit innehåller främst kiselsyra, kvarts och kaliumfältspat (därav namnet). Plagioklasdelen utgör mindre än 10 % eller bortfaller helt. I obetydlig mängd förekommer även glimmermineraler, mestadels biotit. Alkaligraniter visar ofta övergångar till Pegmatit [35].

Basiska bergarter är djupbergarter (se även djupbergart nedan).

Bottenladdning är den undre och kraftigare delen av laddningen i borrhålet.

Bottenprimer är en mindre dos sprängmedel med högt energivärde som sätter igång huvudsprängämnet i bottenladdningen.

Deflagrerar är när sprängämnet inte detonerar utan brinner upp istället.

Djupbergart är en magmatisk bergart som bildas på stort djup i jordskorpan. Avsvälningen sker under en längre tid, då temperaturen hos omgivningen är relativt hög, detta resulterar i mer grovkorniga bergarter, exempel på sådana är granit och gabbro.

DxM/m står för Dynamex M per meter.

Frikopplingsgrad är sprängämnets diameter dividerat med borrhålets diameter.

Förkastningar innebär att jordskorpan höjs, sänks eller flyttar sig i sidled. En förkastning är en förändring på flera hundra meter till skillnad mot en förskjutning som bara handlar om någon enstaka meter.

Förladdning är den oladdade delen i pipan.

Försättning är vinkelrätt avstånd från borrhål till fri bergyta vid bergsprängning (gäller rad 1). Även avståndet mellan raderna bakåt i salvan kallas försättning.

Gabbro är en basisk bergart som har en låg SiO₂-halt och innehåller oftast ingen kvarts eller kalifältspat, utan består huvudsakligen av kalciumrik plagioklas och pyroxen. Andra möjliga komponenter är hornblände samt olivin [18].

Geofon är ett mätinstrument som består av en spole och en magnet. Dessa alstrar ström så att en vibration kan mätas.

Gnejsig granit har samma mineralsammansättning som granit, skillnaden är att den har genomgått en metamorf omvandling så att mineralkornen har skiktat sig i ett ordnat mönster [18].

Granit är en grovkornig magmatisk bergart som består av kvarts, fältspat och glimmer och har sitt ursprung från den kiseldioxidrika magman i vår jordskorpa [18]

Ordlista

Granodiorit är en djupbergart som är grå till färgen. Huvudmineralerna är plagioklas, kalifältspat, kvarts och mörka mineral såsom biotit och hornblände.

Grönsten är en basisk magmatisk bergart som har ungefär samma hårdhet som granit [31]. De huvudsakliga mineralerna i grönsten är amfibol, klorit, epidot och albit [35].

Gurit är ett sprängämne som ofta används vid slätsprängning

Gångbergarter är ett samlingsnamn för magmatiska bergarter som bildats genom att en magma har trängt in i gångar och sprickor i ovanliggande berglager och återfinns som ådror eller genomslag i andra bergarter [35].

Halvpipor är de rester av borrhålet som syns efter sprängningen.

Hålavstånd är avståndet mellan borrhålen som ligger på samma avstånd från väggen.

Hållutning är det antal grader som borrhålet lutar.

Kartering betyder kartläggning (undersökning) och i detta arbete undersökning av berg.

Magmatisk bergart en bergart som bildats genom att magma som har trängt genom jordskorpan har stelnat. Vid klassificering av magmatiska bergarter delar man in dem i sura, intermediära, basiska och ultrabasiska bergarter. Användandet av termer som sur och basisk har inom klassificeringen av magmatiska bergarter ingen koppling till pH, utan reflekterar halten SiO₂ hos bergarten [35].

Metamorfos: en grupp bergarter som bildas då magmatiska eller sedimentära bergarter utsätts för höga tryck och temperaturer. De stora tryck- och temperaturförändringarna innebär att bergartens mineralsammansättning ändras och bergarten genomgår metamorfos [35].

Pegmatit är en magmatisk bergart som i huvudsak består av kvarts, kalifältspat, plagioklas och glimmer. Pegmatiter är oftast mycket grovkristallina gångbergarter, vilka kan innehålla kristaller i storlek från några få millimeter till många meter [29]

Pipladdning är den övre och svagare laddningen i borrhålet.

Primära sprickor sprickor som finns naturligt i berget.

P-våg är en kompressionsvåg som skickas från en sändare till en mottagare. Hastigheten på kompressionsvågen mäts vid ultrasoniska mätningar och ger då ett mått på andelen mikrosprickor i materialet.

Sedimentära bergarter är en av de tre övergripande bergartsgrupperna vid sidan av magmatiska och metamorfa bergarter). Sedimentära bergarter bildas vid jordytan på huvudsakligen tre sätt och delas i allmänhet in efter dessa. Klastiska sedimentära bergarter bildas genom sedimentation eller avsättning av vittringsprodukter från andra bergarter, exempelvis granit och sandsten. Avlagringar av biokemisk aktivitet ger upphov till biogena sedimentära bergarter så som kalksten och kol. Kemisk utfällning i kanske främst marina eller extrema miljöer kan också bilda sedimentära bergarter, till exempel gips [35].

Ordlista

Sekundära sprickor är sprickor som bildas i berget vid sprängningen (nybildade sprickor).

Silikater utgör den största och viktigaste gruppen av bergartsbildande mineral. Silikater är den största mineralgruppen och de flesta bergarter består till 95 procent av silikater. Silikatmineral är en naturlig silikat som huvudsakligen består av SiO_4 -tetraedrar förenade med någon metall, ofta järn eller magnesium. De omkring 500 silikatmineralen klassificeras efter strukturen på deras silikatanjongrupp [35].

Skut är ett bergblock med oönskat stor volym.

Slätsprängning är detsamma som skonsam sprängning. Tätare försättning och hålavstånd med mindre laddning i respektive hål används. Detta för att åstadkomma en så slät bergvägg som möjligt.

SME emulsionssprängmedel som blandas på plats.

Specifik laddning antal kilo sprängmedel per kubikmeter bortsprängt berg.

Sprödhetstal är den andel av ett stenprov uttryckt i viktprocent som efter behandling med standardiserad fallhammarsapparat vid siktning passerar den sikt som motsvarar den minsta kornstorleken för fraktionen [7, 35].

Strykning är riktningen hos överskärningslinjen mellan ett lutande plan och horisontalplanet.

Stupning är lutningen hos en yta i förhållande till horisontalplanet mätt vinkelrätt mot planets strykning

Styckefall genomsnittlig storlek hos sprängsten.

Styckefallskurva de olika fraktionerna hos sprängsten plottade mot mängdförhållandet.

Sura bergart är ytbergarter.

Topprimer är en mindre dos sprängmedel med högt energivärde som sätter igång huvudsprängämnet. Används som säkerhetsupptändare ifall bottenprimen inte fungerar.

Tunnslip är en lövtunn skiva av berget där mineralkornen kan studeras i mikroskop.

Underborrning är de antal meter under pallen som borrar ner för att sen laddas med sprängmedel. Anledningen till att underborrning utförs är att för att få en slät markyta efter sprängningen.

Viktstyrka bildningsvärmets för reaktionsprodukterna minus bildningsvärmets för ingredienserna.

VOD står för Velocity Of Detonation, vilket betyder detonationshastigheten.

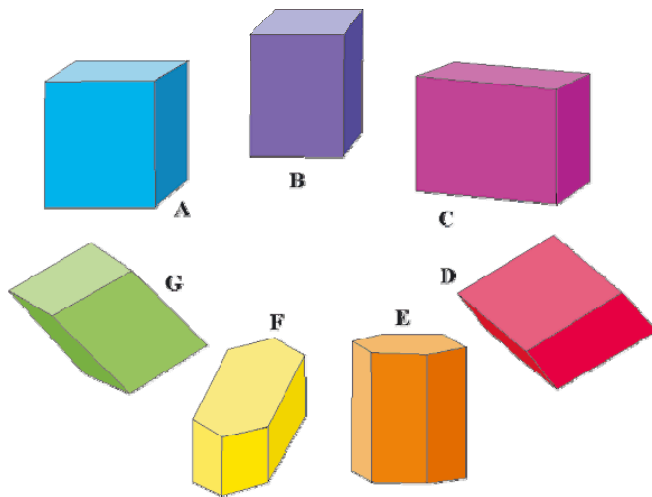
Bilaga 2

Mineraler

Mineral	Mineral-grupp	Finns i Bergarten	Sammansättning	Kemisk beteckning	Form	Kristall-uppbyggnad	Färg	Mohs hårdhets-skala	Densitet g/cm ³
Kalifältspat	Fältspat	Granit och Gnejs	silikat av aluminium med kalium eller kalcium eller natrium	KAIS ₃ O ₈	mikroklin/ ortoklas	triklin/ monoklin	oftast vara ljus brunröd till röd, grå eller vit	6-6,5	2,6
Plagioklas	Fältspat	Granit och Gnejs		NaAlSi ₃ O ₈ / CaAl ₂ Si ₂ O ₈		triklina	vit, ljus eller – mörkgrå eller rödaktig med en glasaktig glans	6-6,5	2,6 -2,8
Kvarts		Granit och Gnejs	silikat	SiO ₂		hexagonal	färglös till vit	7	2,6
Biotit	Glimmer	Granit och Gnejs	silikat av aluminium samt någon metall som huvudbeståndsdel	K(MgFe) ₃ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂		monoklint	brun, grön eller svart	2,5 kantens hårdhet 3	2,8-3,3
Muskotvit	Glimmer	Granit och Gnejs		KA ₂ AlSi ₃ O ₁₀ (OH,F) ₂		monoklint	färglöst, gulaktigt, brunaktigt, grönaktigt eller rödaktigt	2,5 kanten 4	2,8
	Amfibol	Granit och Gnejs, huvudminneral i diorit				ortorombisk, monoklin eller triklin			2,8-3,9
Hornblände	Amfibol	Granit och Gnejs, huvudminneral i diorit		Ca ₂ (Mg,Fe,Al) ₅ (Al,Si) ₈ O ₂₂ (OH) ₂		monoklin	svart eller grönsvart	5-6	3,0-3,5
Epidot		bildas genom omvandling av plagioklas, hornblände och pyroxen	vattenhaltigt silikatmineral som innehåller främst kalcium och aluminium men även järn					6-7	
Klorit		bildas vid omvandling av biotit och hornblände	Silikatmineral			perfekt spaltning med böjliga dock ej elastiska blad	grön till svartgrön	2-2,5	
Pyroxen		Gabbro	silikater innehållandes Magnesium, Calcium, Järn, Aluminium och Natrium			monoklin	blekgrön till blågrön	5,5-6,5	3-3,5
Olivin		Gabbro	kisel, syre och magnesium eller järn,	(Mg, Fe) ₂ SiO ₄		ortorombisk	olivgrön	6,5-7	3,3

Källor: [27-30, 32, 33, 35]

Bilaga 2



Olika utseende på kristallerna hos mineralerna. A. kubiska, B. tetragonala, C. ortorombiska, D. trigonala, E. hexagonala, F. monoklina, G. triklina systemet [29].

Mohs hårdhetsskala [27]

Mohs hårdhetsskala		
Hårdhet	Mineral	Repas av
1	Talk	
2	Gips	Nagel
3	Kalcit	Kopparmynt
4	Fluorit	Spik
5	Apatit	Kniv
6	Kalifältspat	Kvarts
7	Kvarts	Fil
8	Topas	Karborundum
9	Korund	Diamant
10	Diamant	Repas ej

Sprängmedel och tändsystem

Minex Eco

Minex Eco är ett sprängämne med hög viktstyrka (se Makrospricksteori 1), hög densitet och hög detonationshastighet. Den är ett dynamit-sprängämne som innehåller nitroglykol och en del nitroglycerin. Eco står för den miljövänliga delen och innebär att sprängämnet inte innehåller något DNT/TNT [39].

Energiinnehåll: 4,55 MJ/kg
Gasvolym: 888 l/kg
Viktstyrka: 115 % av ANFO
Densitet: $1,5 \pm 0,04$ kg/dm³
Detonationshastighet: 2,5-6,1 m/s
2,5 m/s papperspatron, $6,0-6,1 \pm 0,1$ m/s plastpatron
Form: Patron (pasta)

Anex A

Anex A är ett ANFO-sprängämne som består av ammoniumnitratprills och olja, vilket även förkortningen ANFO står för (AmmoniumNitrate-Fuel Oil). ANFO-sprängmedel kännetecknas av låg detonationshastighet och hög gasvolym [39]. Detta sprängämne är inte att föredra då borrhålen är fyllda med vatten [40].

Energiinnehåll: 3,8 MJ/kg
Gasvolym: 980 l/kg
Viktstyrka: 100 % av ANFO
Densitet: $0,88 \pm 0,01$ kg/dm³
Detonationshastighet: 3800 ± 200 m/s (i 76mm hål)
Form: vätska

Tovex S Extra

Tovex är ett vattengelsprängämne baserat på monometylaminnitrat och vissa typer även aluminium för höjning av energiinnehållet. Den är ett sprängämne fritt från nitroglycerin med hög hanteringssäkerhet och vattenbeständighet. Konsistensen hos Tovex kan betecknas som seg och sammanhängande och med god förmåga att vid behov utfylla borrhålet. Tovex är sprängkapselkänsligt och kan initieras med standardsprängkapsel.

Tovex S Extra har tillverkats för att uppnå så hög viktstyrka som möjligt med vattenbaserade sprängämnen. I de flesta fall kan Tovex S Extra därför ersätta dynamit som bottenladdningssprängämne [39].

Energiinnehåll: 4,9 MJ/kg
Gasvolym: 655 l/kg
Viktstyrka: 119 % av ANFO
Densitet: $1,25 \pm 0,05$ kg/dm³
Detonationshastighet: $3,4-4,0$ m/sek ± 200 m/s (beroende på diametern 3,4m/sek 25-30mm)
Form: gel

Titan 6080

Titan 6080 är ett emulsionssprängmedel som i huvudsak består av ammoniumnitrat som syregivare och olja som bränsle. Detta sprängmedel är pumpbart och laddningen kan ske direkt i vattenfyllda hål, då det har god vattenbeständighet. Titan försämras därmed inte av vattenpåverkan och den kan skjutas långt efter att den laddats.

Vid användning av Titan minskar miljöpåverkan, då det bildas betydligt mindre mängd av förorenade och skadliga spränggaser (NOX och CO). Även rökutvecklingen är mindre vid användning av Titan [37].

Energiinnehåll: 3,2 MJ/kg
Gasvolym: ca 950 l/kg
Viktstyrka: 82 % av ANFO
Densitet: ca 1,10 kg/dm³
Detonationshastighet: 4500 m/s
Form: blandas på plats till skum

Primer

Primer är en mindre dos sprängmedel med högt energivärde som sätter igång huvudsprängämnet. Det kan finnas både topp- och botten primers.

Fordyn är ett formbart plastiskt sprängämne som ger stora energimängder. Den har goda egenskaper att användas till bottenladdning vid ovan jord sprängning och till olika applikationer under jord. Fordyn har även god vattenbeständighet [37].

Energiinnehåll: 4,3 MJ/kg
Gasvolym: ca 880 l/kg
Viktstyrka: 100% av ANFO
Densitet: 1,45-1,55 kg/dm³
Detonationshastighet: 2500-6000 m/s (6000m/s diameter 55)

Dynoprime är utvecklat för att vara primer/booster för bulksprängämnen. Den innehåller högexplosiva sprängämnen och har god vattenbeständighet [37].

Energiinnehåll: 5,5 MJ/kg
Gasvolym: ca 700 l/kg
Viktstyrka: 125% av ANFO
Densitet: 1,6 kg/dm³
Detonationshastighet: ca >6500 m/s diameter 42-66

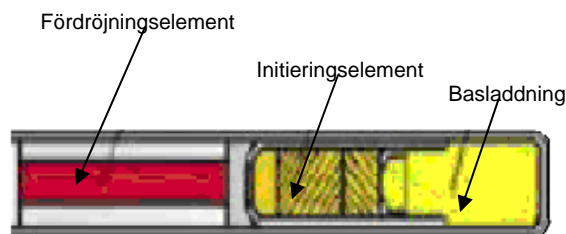
Non-el system

Non-el är ett pyrotekniskt tändsystem, vilket innebär att salvan tänds genom avlossning av ett hagelskott som utlöser en stötvåg. Denna vandrar igenom en tunn plastslang med ett vitt reaktivt pentylpulver på väggarnas insida med en hastighet på ca 2100m/s. Stötvågen når det

första kopplingsblocket i salvan, vilket tänder upp en annan plastslang som fortsätter ner i det första borrhålet. Sprängmedlet i hålet exploderar först då sprängkapseln tänt upp primern som i sin tur startar explosionen i borrhålet. Beroende på hur tändplanen ser ut når stötvågen kopplingsblock efter kopplingsblock tills det att samtliga hål fyllda med sprängmedel har exploderat. Den tunna plastslangen är säker att använda eftersom den klarar brand utan att antändas. Detta tändsystem har använts i samtliga täkter.

Sprängkapseln består av en aluminiumhylsa som innehåller ett fördröjningselement, ett initieringselement och en basladdning. Fördröjningselementet är av pyroteknisk karaktär som fördröjer detonationen med 0-6000ms beroende på typ av sprängkapsel. Initieringselementet består antingen av pentyl eller också blyazid och basladdningen av RDX. Tillsammans utgör de ca 1gram i varje sprängkapsel. Blyaziden räknas till ett primärsprängämne, vilket betyder att den är mycket mer lättantändligt av stötar och slag.

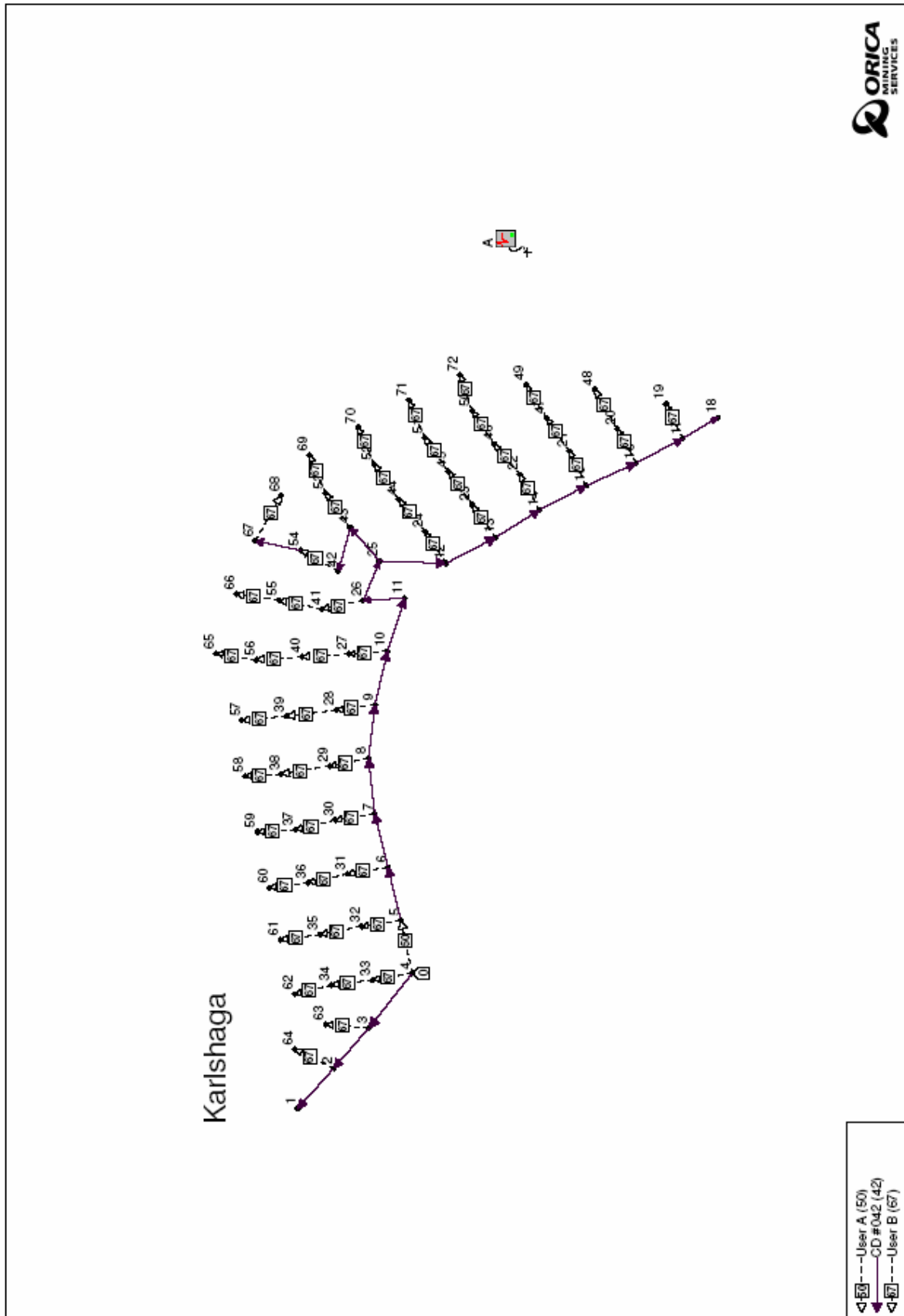
Då tryckvågen når sprängkapseln deflagrerar sprängmedlet (börjar brinna). Det brinner hela fördröjningselementsträckan till det når fram till initieringselementet. I initieringselementet övergår deflagrationen till en detonation, det vill säga, istället för att brinna uppstår en explosion. Denna explosion tänder på basladdningen som i sin tur tänder upp sprängmedlet.



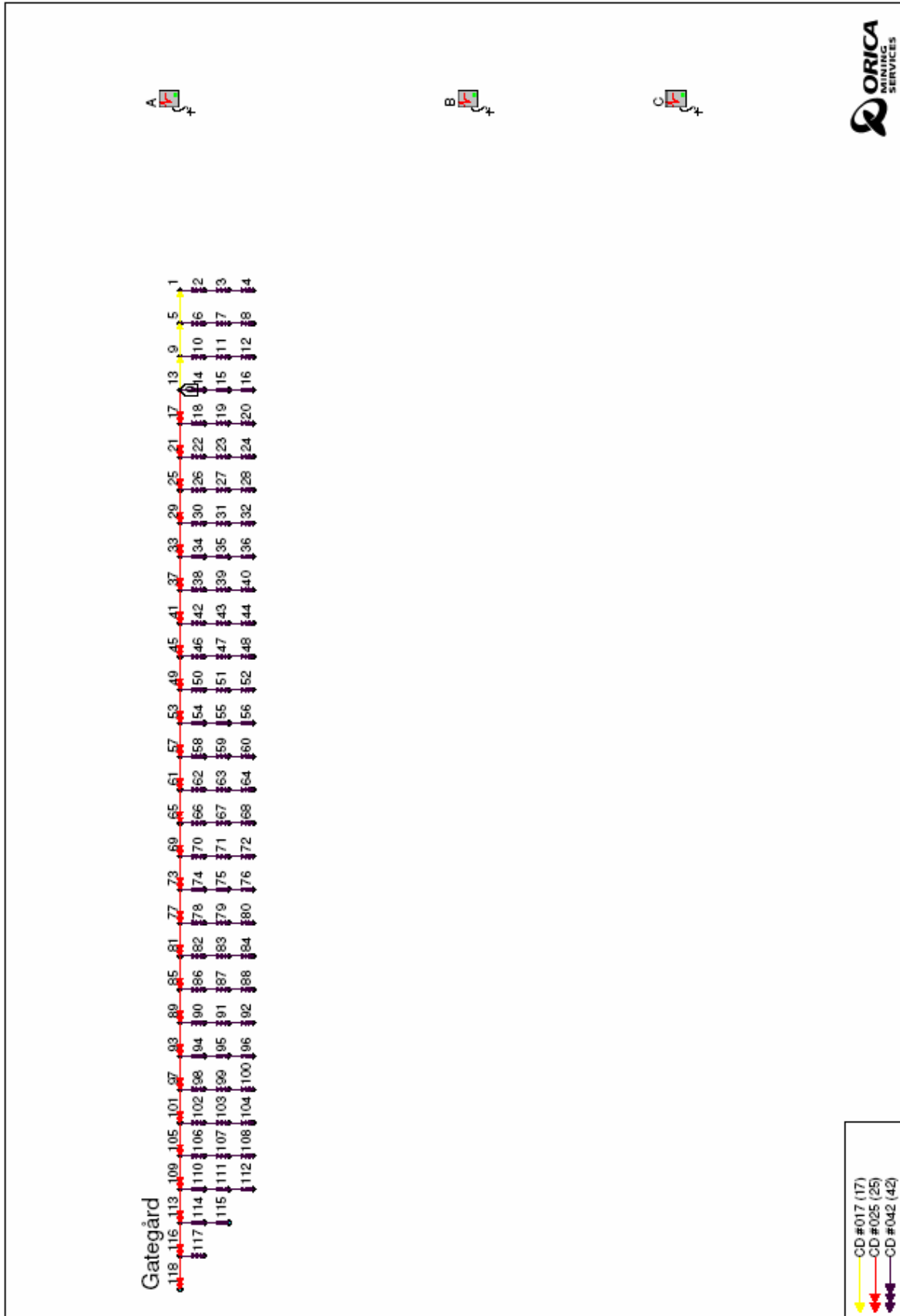
Figur XX Genomskärning av sprängkapsel

I kopplingsblocket finns en minisprängkapsel med en fördröjnings tid som beroende på blocktyp varierar 0-176ms. Kopplingsblocket kan kopplas till som mest 5 non-el slangar [38].

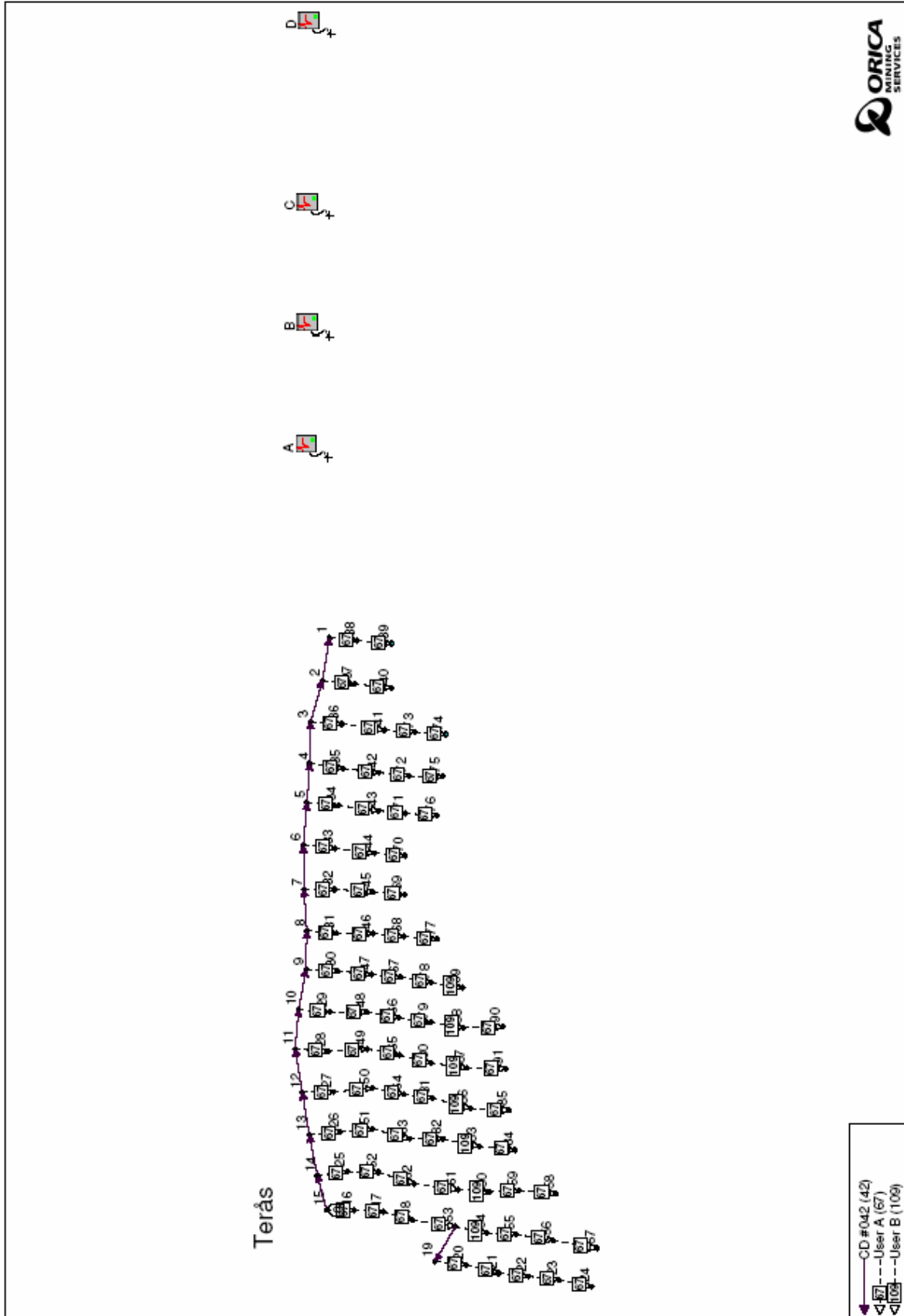
Tändplan Karlshaga



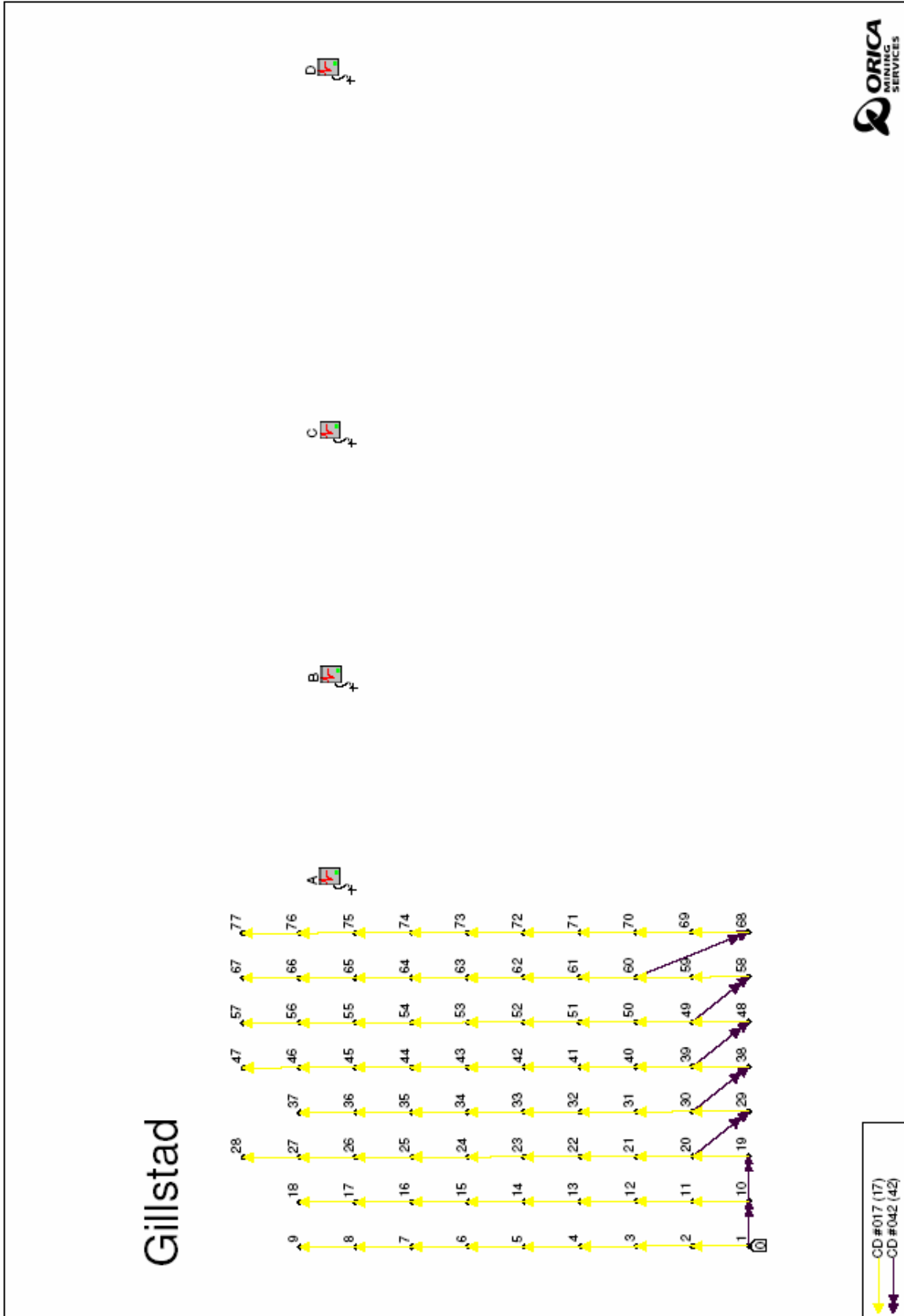
Tändplan Gategård



Tändplan Terås

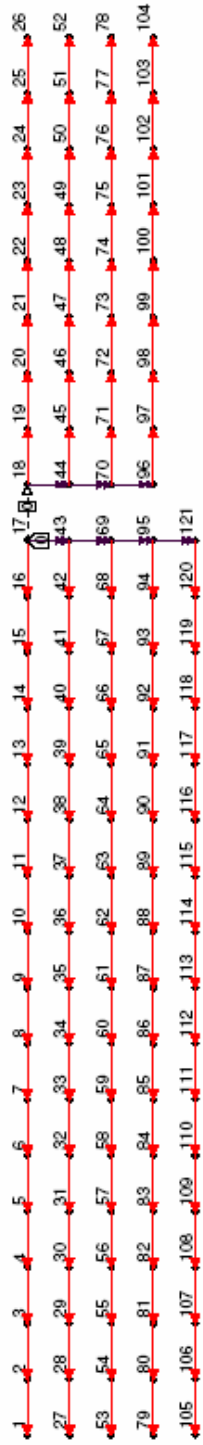


Tändplan Gillstad



Tändplan Äskekärr

Äskekärr

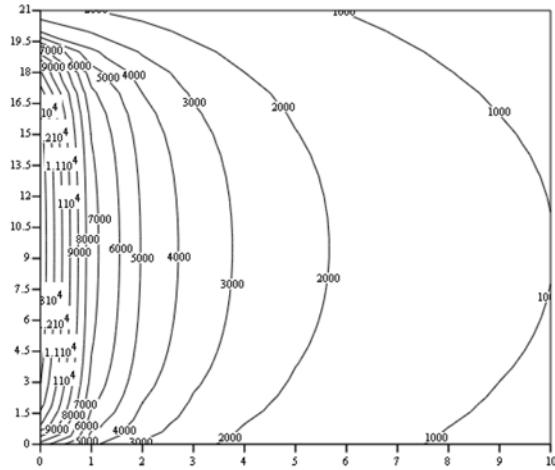


CD #025 (25)
 CD #042 (42)
 User A (0)

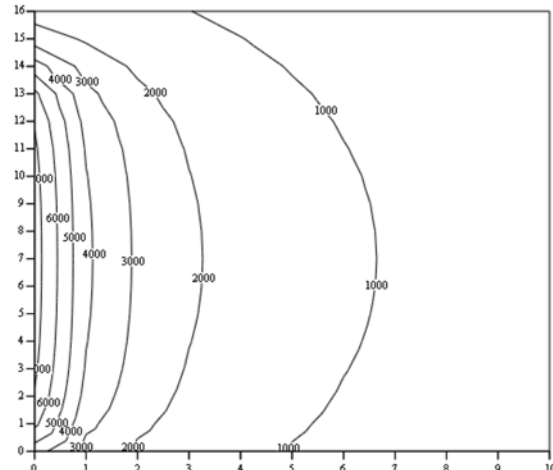


Resultat från Vibrationsmätningarna

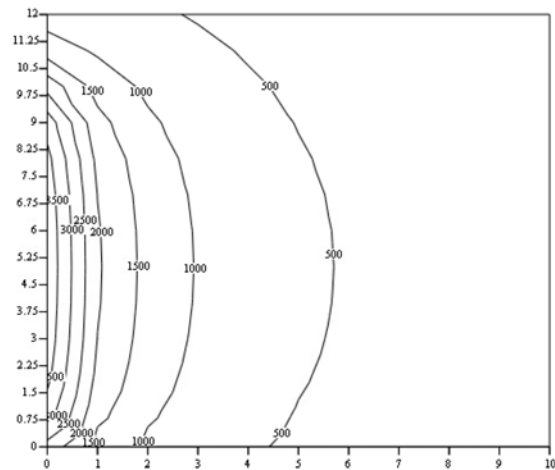
Nitro Consult AB
 Rapport nr 0731 5849 16



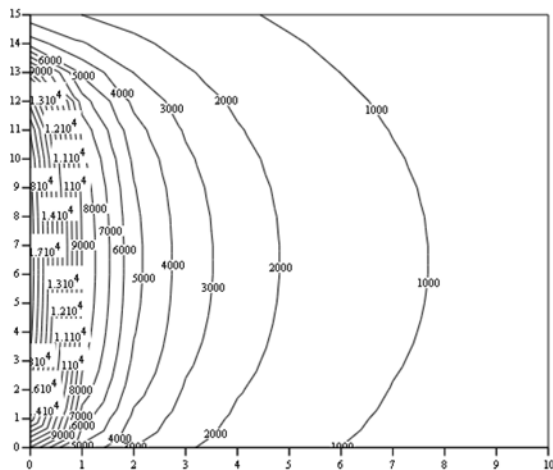
Karlshaga



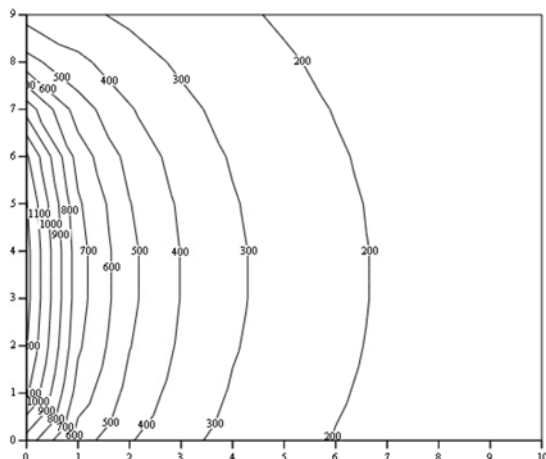
Äskekärr



Terås



Gategård

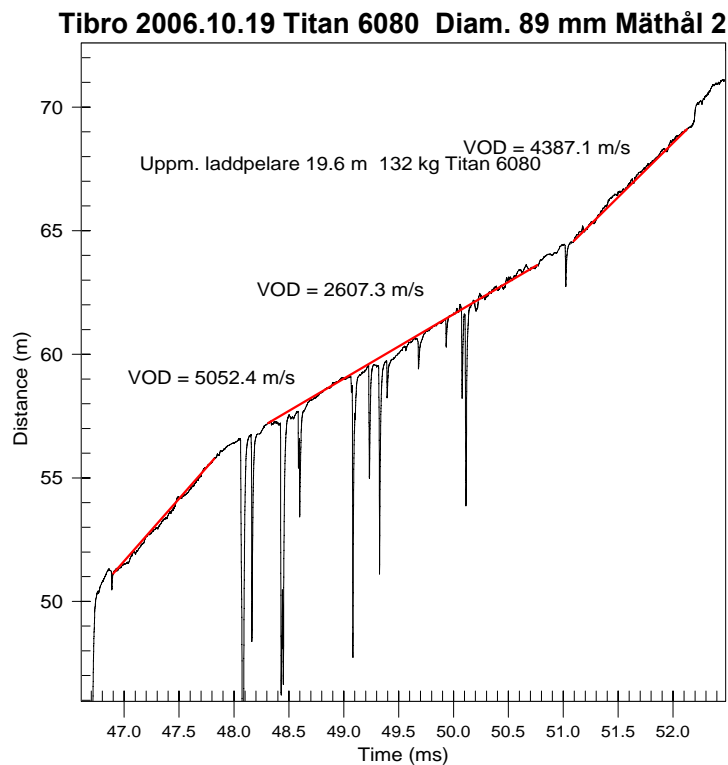
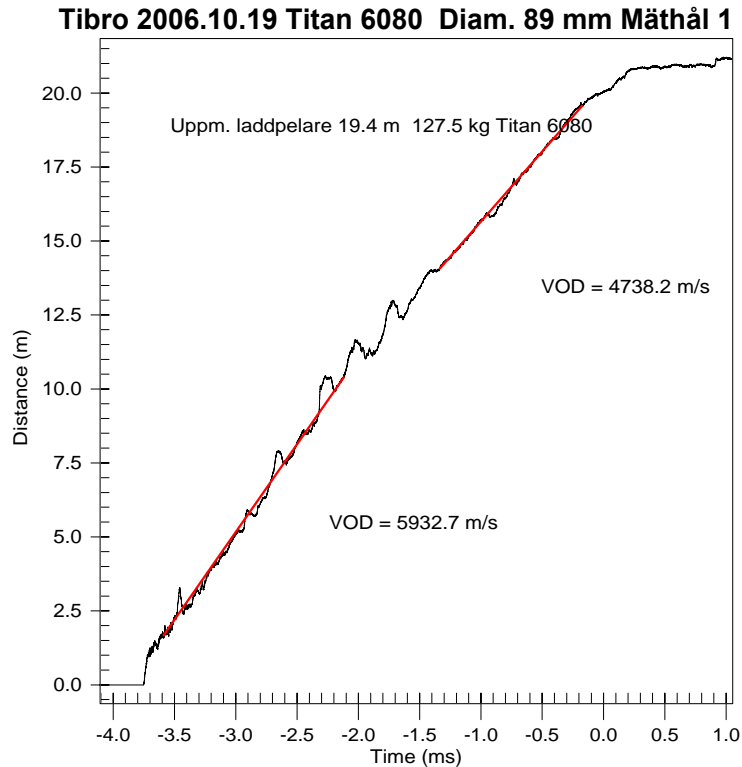


Gillstad

Modeller över de utförda sprängningarna. Enheten på axlarna är i meter, laddhålet befinner sig längs med Y-axeln, ytan till höger representerar sedan en skiva in i bergmassan. Enheten på konturlinjerna är i mm/s

Resultat från VOD-mätningarna, Karlshaga

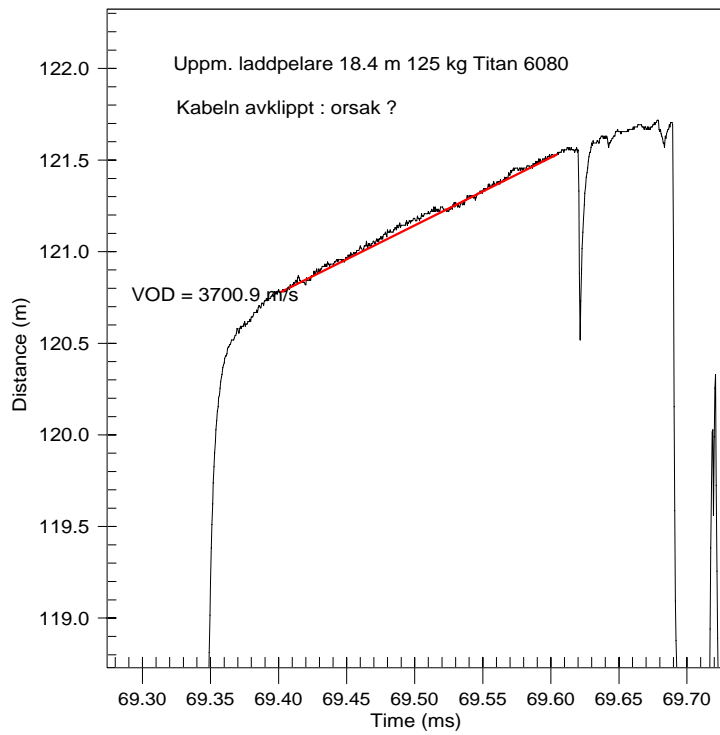
VOD hastigheten som används vid uträkandet av Ouchterlony teori är 5600m/s för Karlshaga och Terås.



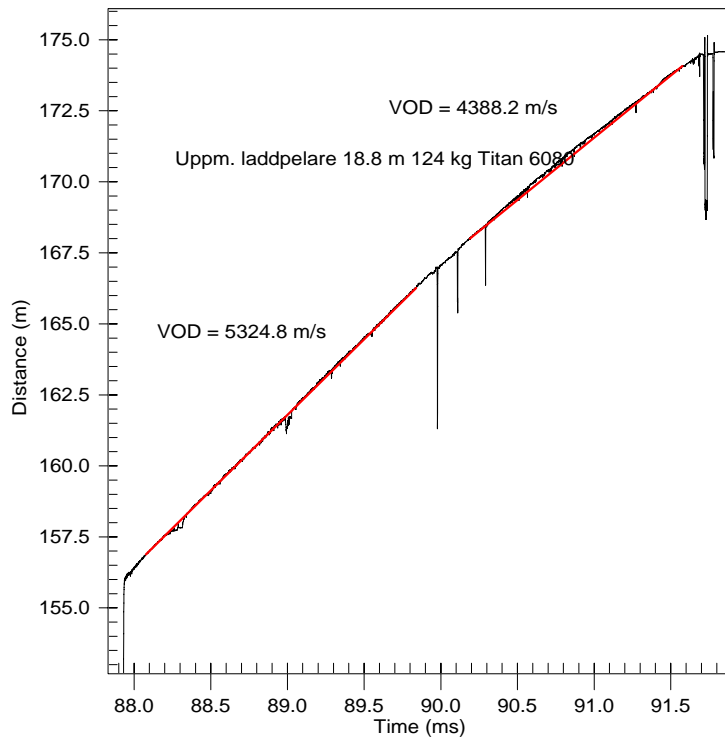
Någon form av påkänning på sprängämnet sker här men det ”tar sig och kommer igen”.

Resultat från VOD-mätningarna, Karlshaga

Tibro 2006.10.19 Titan 6080 Diam. 89 mm Mäthål 3

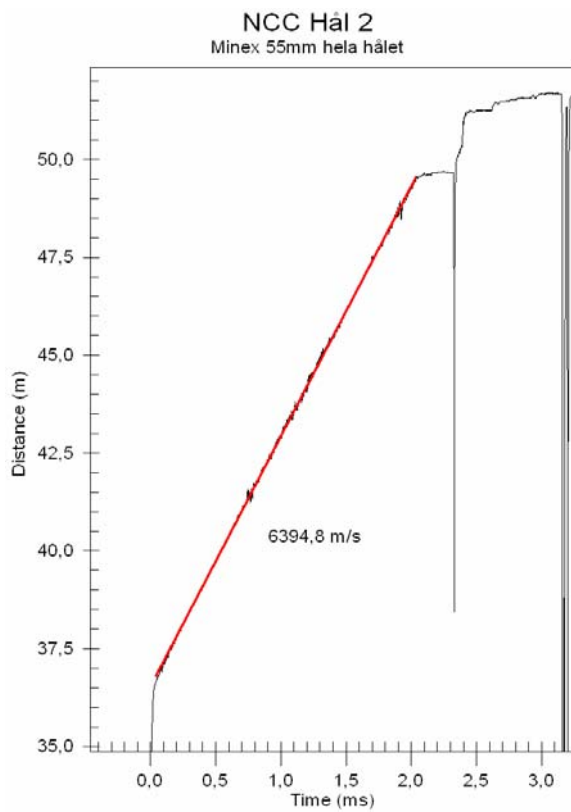
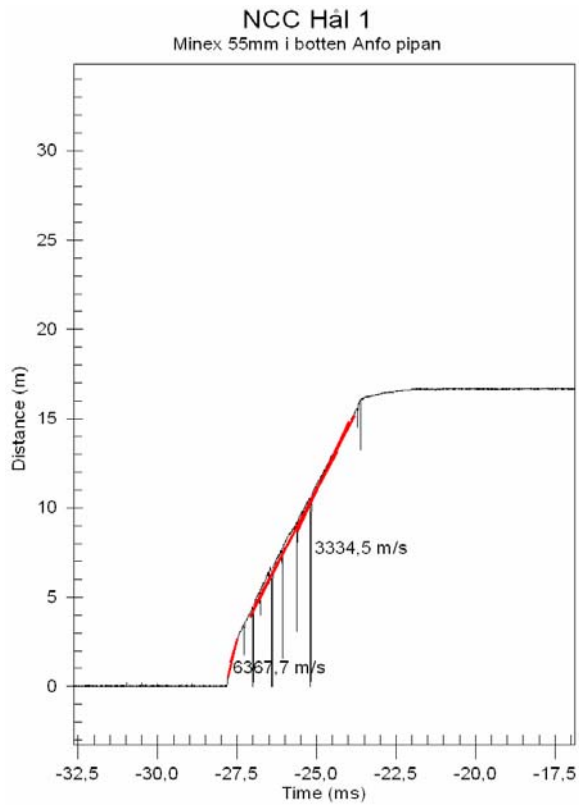


Tibro 2006.10.19 Titan 6080 Diam. 89 mm Mäthål 4

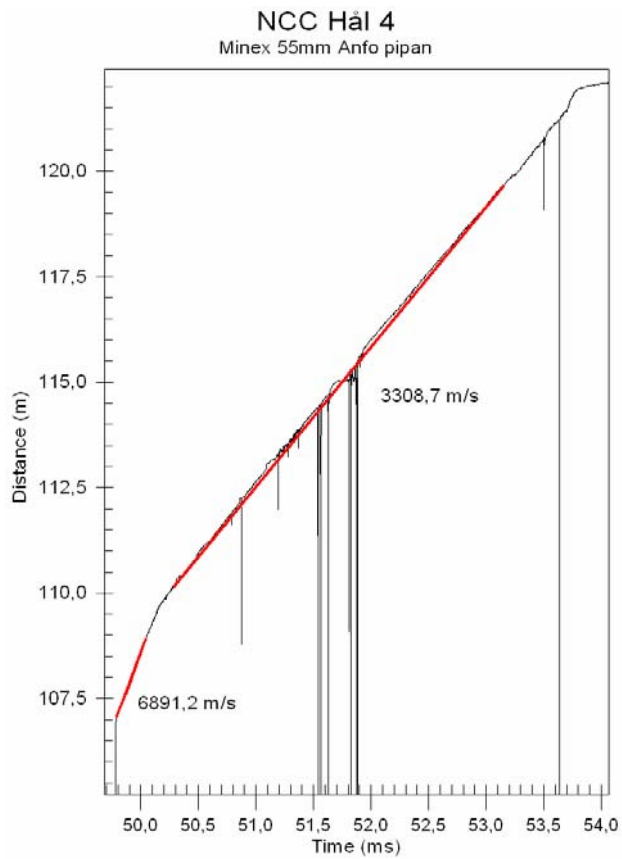
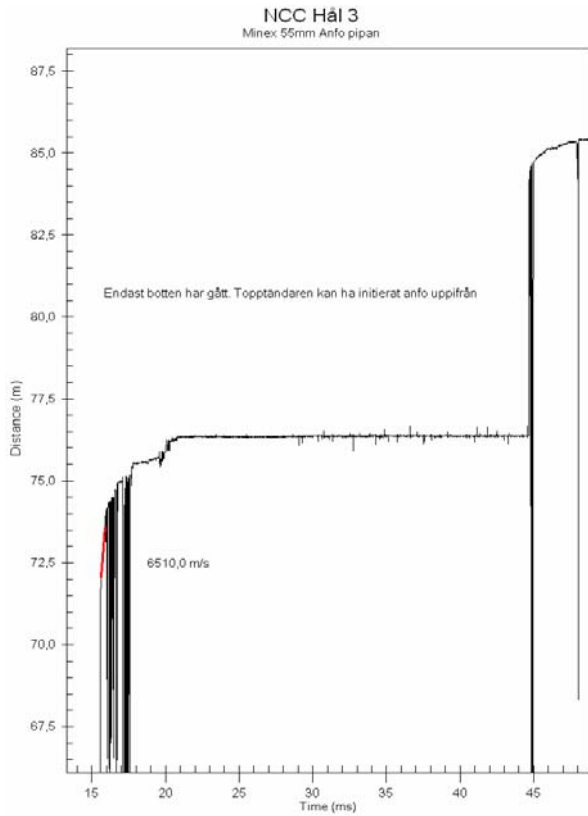


Resultat från VOD-mätningarna, Gategård

VOD hastigheten som används vid uträkandet av Ouchterlony teori är 3300m/s för Gategård.



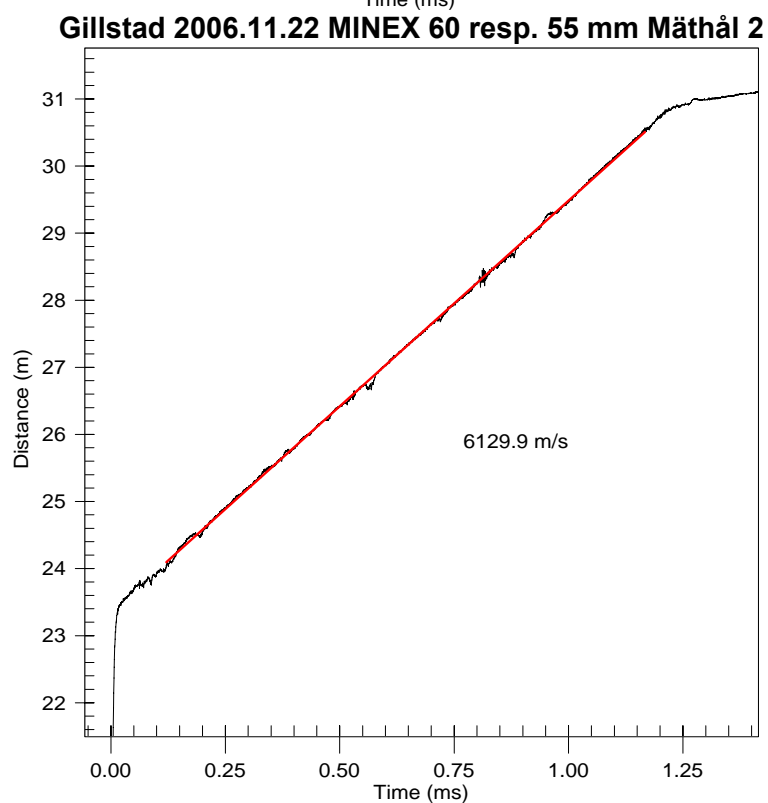
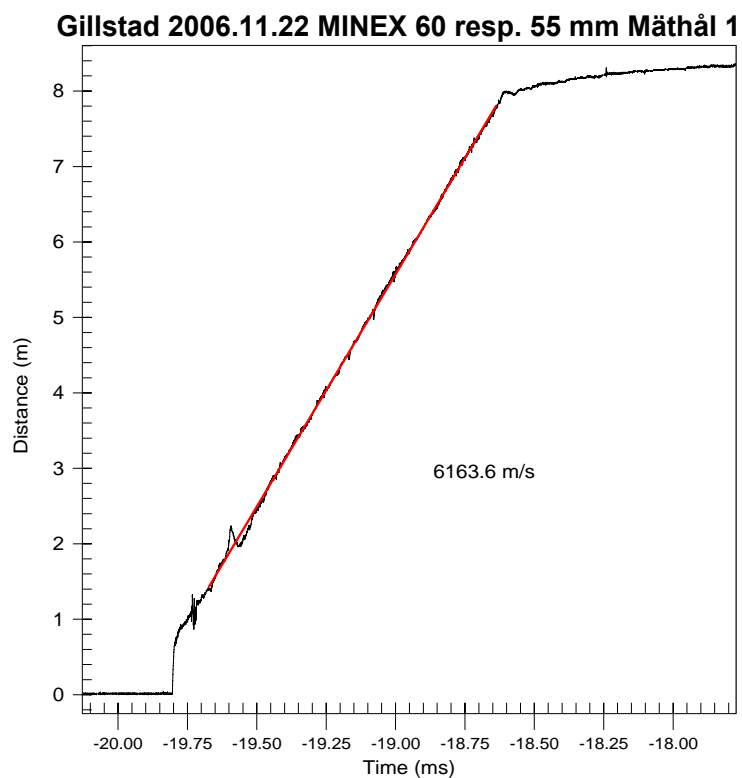
Resultat från VOD-mätningarna, Gategård



Resultat från VOD-mätningarna, Gillstad

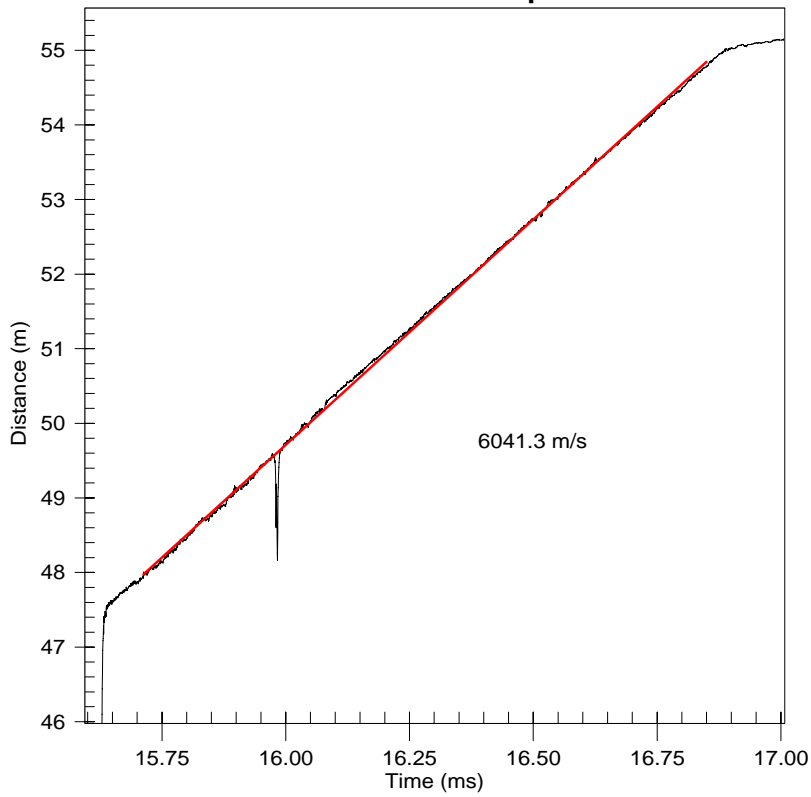
VOD hastigheten som används vid uträkandet av Ouchterlony teori är 6100m/s för Gillstad och Äskekärr.

VOD-mätning Gillstad, 2006.11.22. Borrhålsdiameter 76 mm. MINEX; plastslang: Diameter 60 (4 st bottenladdning) resp. 55 mm (11 st pipladdning).

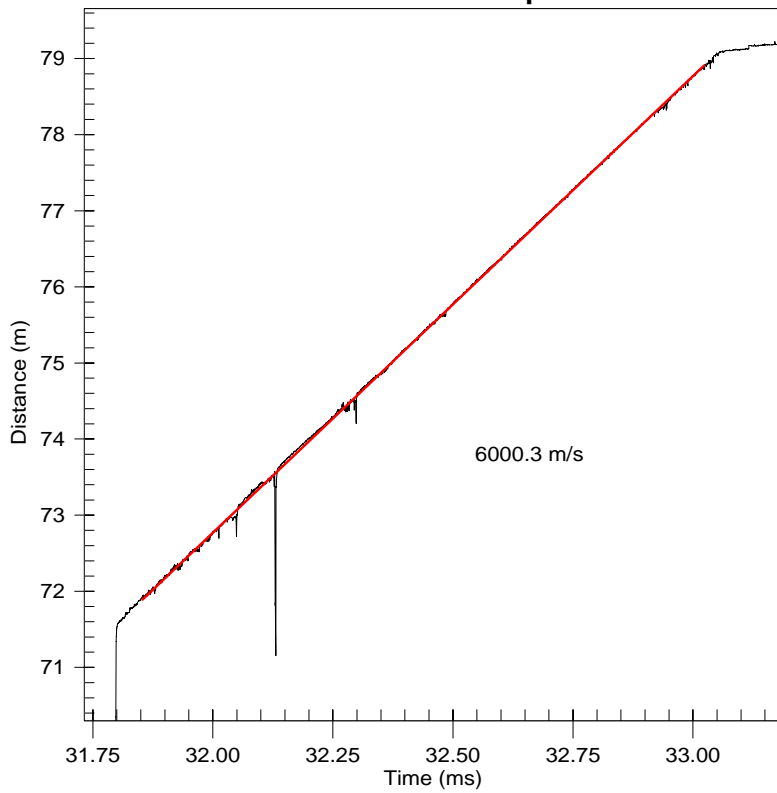


Resultat från VOD-mätningarna, Gillstad

Gillstad 2006.11.22 MINEX 60 resp. 55 mm Mäthål 3



Gillstad 2006.11.22 MINEX 60 resp. 55 mm Mäthål 4



Kärnlådor, Karlshaga



Övre låda nr 1



Övre låda nr 2

Kärnlådor, Karlshaga



Undre låda nr 1



Undre låda nr2

Kärnlådor, Gategård



Övre låda nr1



Övre låda nr 2

Kärnlådor, Terås



Övre låda nr1

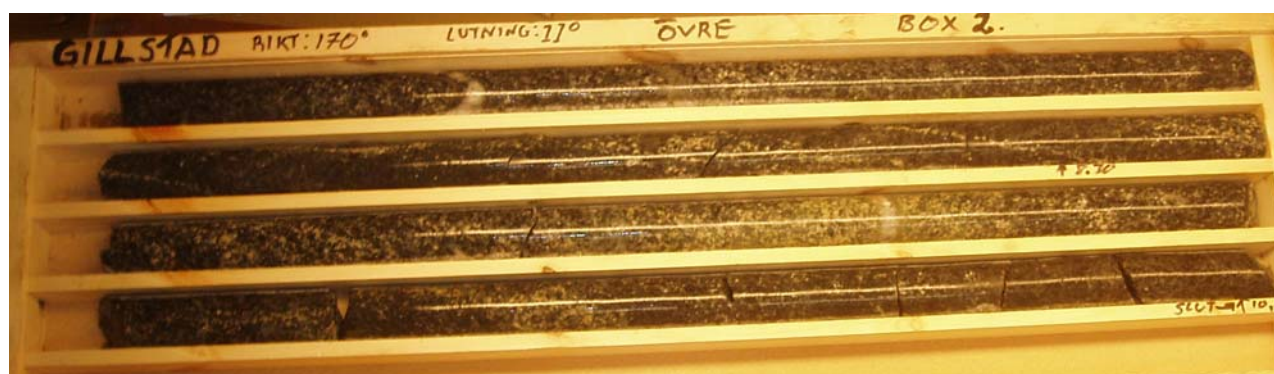


Undre låda nr 1

Kärnlådor, Gillstad



Övre låda nr1



Övre låda nr 2

Kärnlådor, Gillstad



Undre låda nr 1

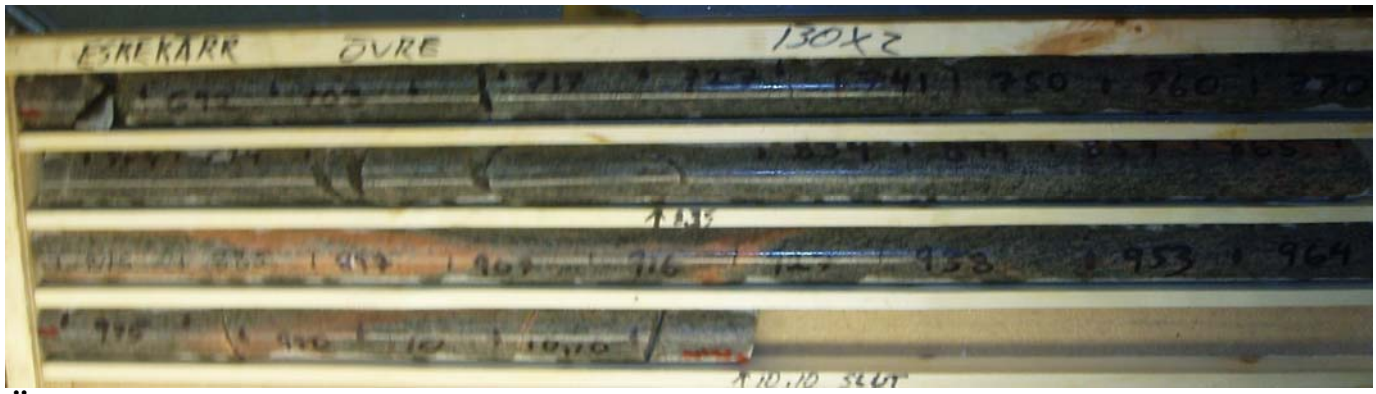


Undre låda nr2

Kärnlådor, Äskekärr



Övre låda nr 1



Övre låda nr 2

Kärnlådor, Äskekärr

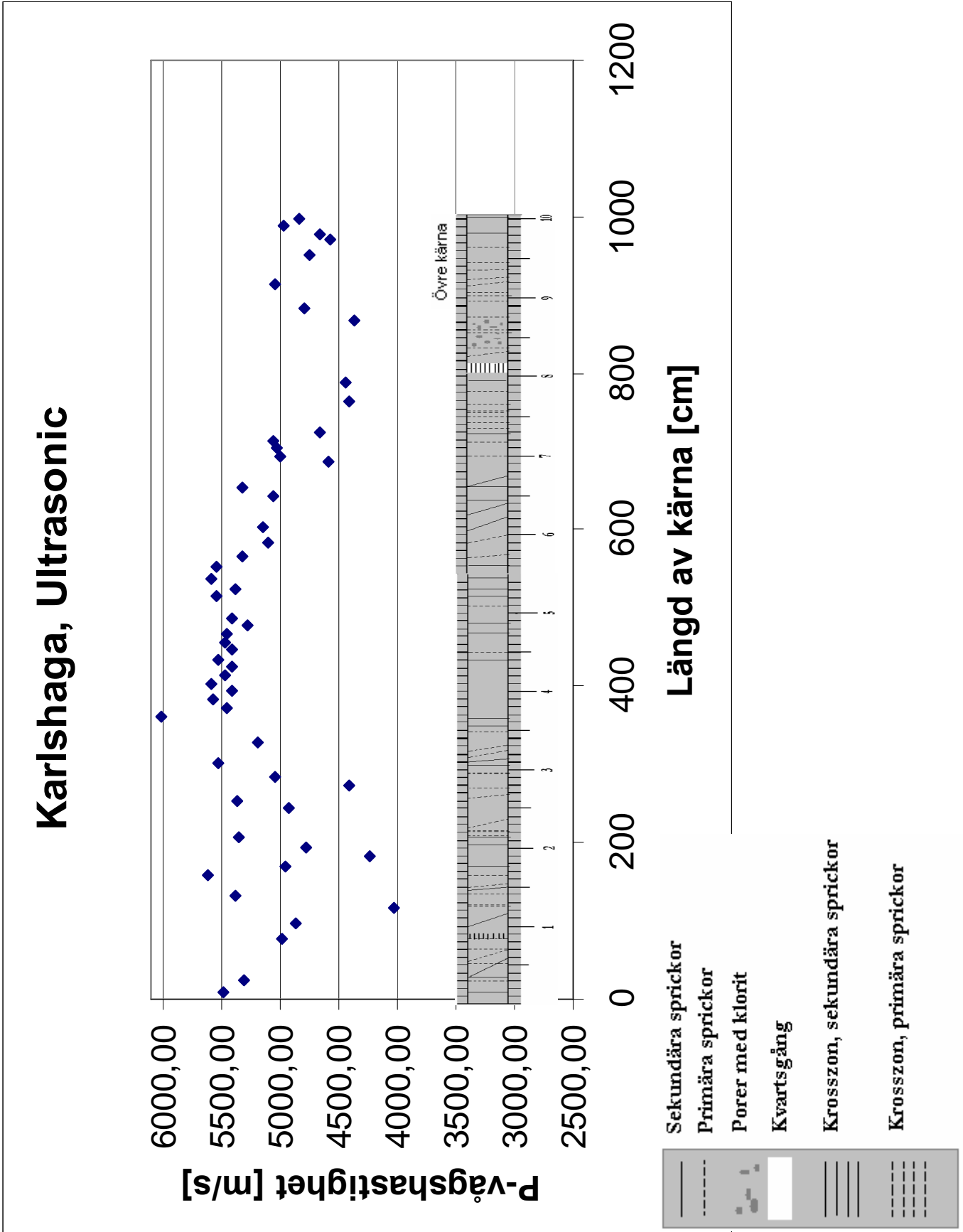


ÄsU1 Undre låda nr 1



ÄsU2 Undre låda nr2

Resultat Ultrasonik, Karlshaga



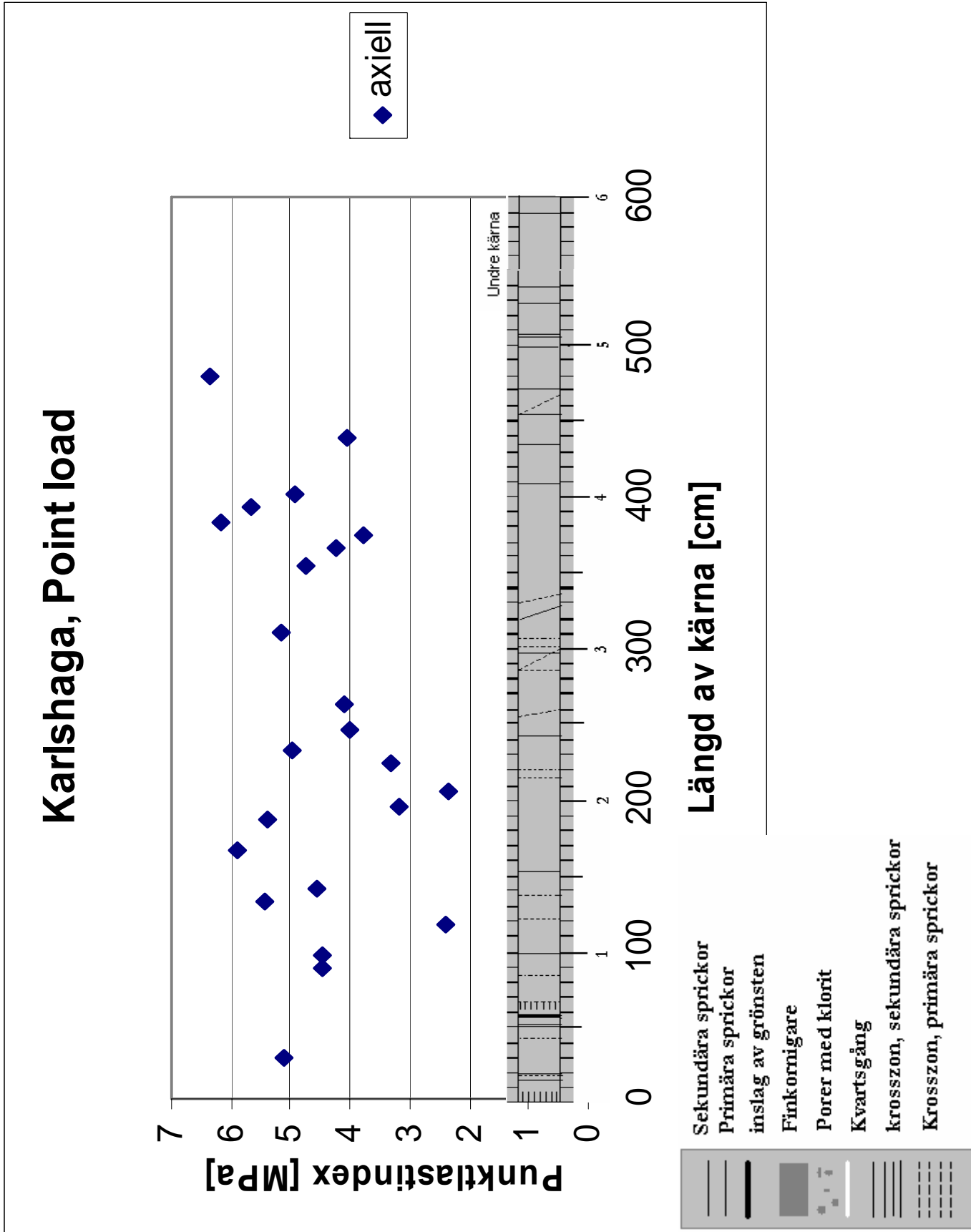
Resultat Ultrasonik, Karlshaga

Karlshaga	krackeleringar 0-272 cm						
Nummer, övre kärna	Bergart (granit, storkornig)	Längd [cm]	Vikt [g]	Densitet [kg/m ³]	Tid [µs]	E-modul [GPa]	Vp [m/s]
9	mycket vitt, antagligen kvarts	8,69	365,1	2641,6614	15,8640	79,27	5477,81
24	tydlig längsgående spricka	7,07	296,8	2639,5481	13,3270	74,29	5305,02
77		5,02	208,9	2616,4944	10,0680	65,05	4986,09
96		7,16	300,5	2638,8612	14,7100	62,52	4867,44
116	skadad	4,86	202	2613,3657	12,0610	42,43	4029,52
132	ihopläkt spricka	9,26	390,8	2653,5585	17,2170	76,76	5378,41
158		5,94	246,2	2606,0737	10,5750	82,22	5617,02
170		7,77	325,1	2630,7589	15,6660	64,72	4959,79
183		9,71	405,7	2627,0653	22,9040	47,22	4239,43
193		9,36	392,8	2638,6435	19,6060	60,14	4774,05
208	tydlig ihopläkt spricka	7,15	297,4	2615,2910	13,3800	74,68	5343,80
244		8,01	334,2	2623,3668	16,2540	63,71	4928,02
254		8,59	358,3	2622,6403	16,0300	75,31	5358,70
272	tydlig längsgående spricka	4,8	200,1	2621,1444	10,9000	50,83	4403,67
284		10,15	425,2	2633,9790	20,1030	67,15	5049,00
302	småkornigt	8,62	361,4	2636,1248	15,5920	80,57	5528,48
327	småkornigt	6,89	288,5	2632,7625	13,2730	70,94	5190,99
361		8,04	303,5	2373,4918	13,3730	85,79	6012,11
373	ihopläkta sprickor	10,13	426,5	2647,2483	18,5680	78,79	5455,62
384		8,93	375,4	2643,1871	16,0210	82,12	5573,93
394		9,71	408,4	2644,5489	17,9590	77,31	5406,76
404		9,56	402,6	2647,8963	17,1310	82,46	5580,53
414		8,98	378,4	2649,4753	16,4090	79,35	5472,61
424		9,79	412,5	2649,2708	18,1170	77,36	5403,76
434		9,48	399,6	2650,3439	17,1410	81,07	5530,60
446		6,29	264,5	2643,9919	11,6130	77,57	5416,34
456		10,12	426,1	2647,3790	18,5110	79,13	5467,02
466		9,1	382,8	2644,9388	16,6820	78,70	5454,98
478		8,2	346,4	2656,1287	15,5440	73,92	5275,35
486		7,46	314,2	2648,2101	13,7950	77,44	5407,76
515	ihopläkta sprickor	9,82	413	2644,3787	17,7100	81,30	5544,89
525		8,05	339	2647,8227	14,9670	76,60	5378,50
538		9,39	395,4	2647,6231	16,8270	82,45	5580,32
553	mycket biotit	10,14	427,7	2652,0786	18,3140	81,30	5536,75
565		10,12	426,3	2648,6216	19,0110	75,05	5323,23
583		5,04	211	2632,3099	9,8910	68,35	5095,54
603	småkornigt	5,03	211,1	2638,7931	9,7680	69,97	5149,47
642		9,84	413,8	2644,1158	19,4530	67,65	5058,35
653		9,58	401,4	2634,4924	18,0070	74,57	5320,15
686		8,82	411,5	2933,5017	19,2420	61,63	4583,72
694		3,95	165,8	2639,2013	7,8980	66,01	5001,27
705		9,84	412	2632,6141	19,5720	66,54	5027,59
714		6,57	274	2622,2270	13,0100	66,87	5049,96
724		4,11	170,6	2609,8906	8,8060	56,85	4667,27
765	kan ana sämre kvalite, mkt plagioklas	9,61	397	2597,4800	21,7560	50,68	4417,17
788	tydliga ihopläkta sprickor	9,54	399,4	2632,3569	21,5190	51,74	4433,29
852	porer med klorit, finare korn	5,49	220,4	2524,2033	19,9050	19,20	2758,10

Resultat Ultrasonik, Karlshaga

Nummer, övre kärna	Bergart (granit, storkornig)	Längd [cm]	Vikt [g]	Densitet [kg/m ³]	Tid [µs]	E- modul [GPa]	Vp [m/s]
867	porer med klorit, finare kornstorlek	9,74	400,3	2584,1143	22,3240	49,19	4363,02
882	finare kornstorlek	9,99	418,7	2635,2545	20,8430	60,54	4792,98
914	finare kornstorlek	4,32	180,7	2630,0227	8,5770	66,72	5036,73
952		8,95	376,2	2642,9007	18,8680	59,47	4743,48
970		10,03	418,4	2622,8644	21,9380	54,83	4571,98
978		6,33	263,6	2618,3445	13,5690	56,98	4665,05
988	finare kornstorlek	8,83	374,1	2663,8643	17,7930	65,60	4962,63
997	finare kornstorlek	7,25	307,2	2664,2090	15,0030	62,21	4832,37

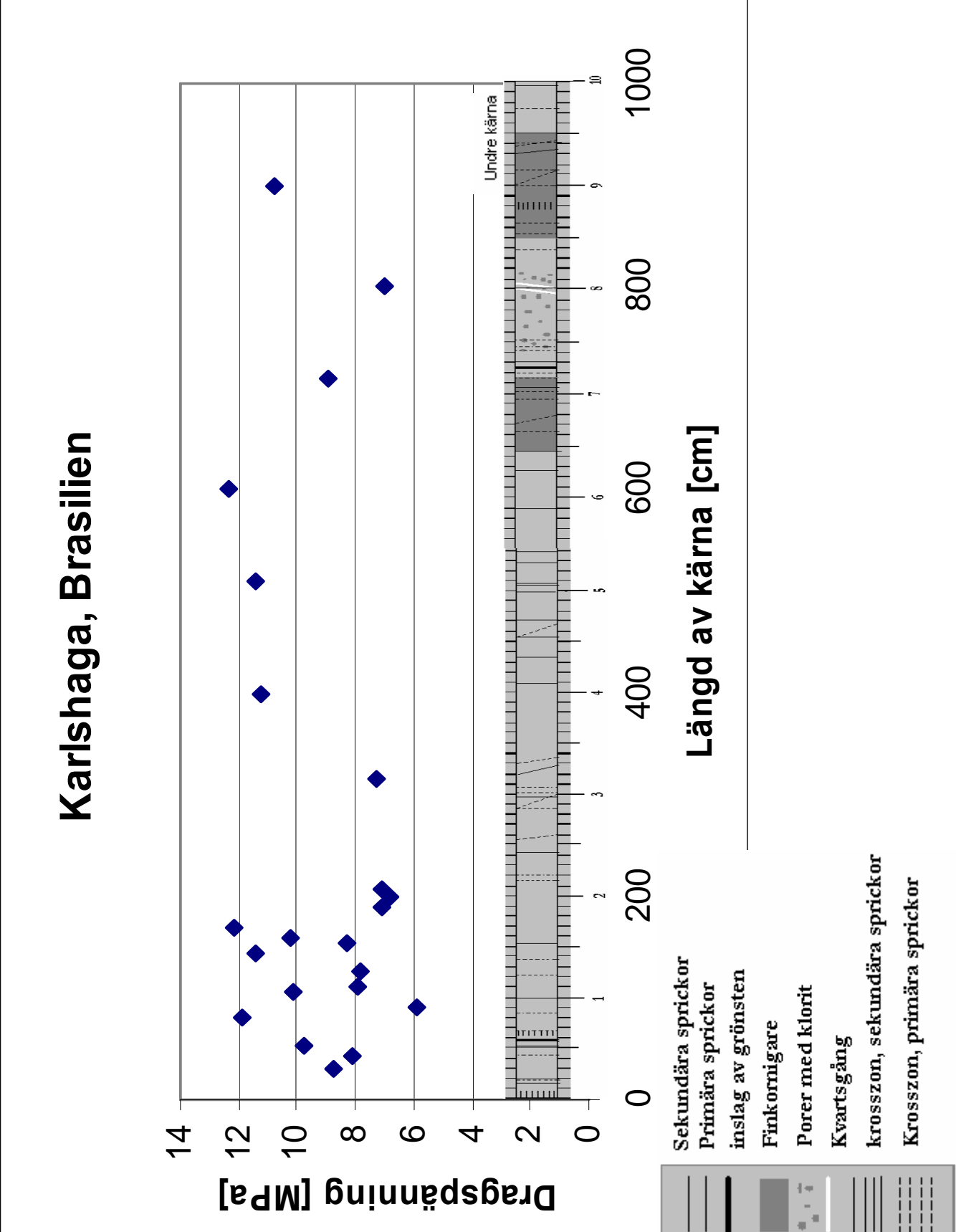
Resultat Punktlasttest, Karlshaga



Bilaga 19

Resultat Punktlasttest, Karlshaga

Nummer, undre kärna	Kommentar	Kraft [kN]	Is diametral [MPa]	Is axiellt [MPa]	Is(50) [MPa]	σ_c (tryck) [MPa]	σ_t (drag) [MPa]
26,75		15862,77		6,289028	5,094112	122,2587	4,07528982
87,25	snedbruten	13017,87		5,538769	4,486403	107,6737	3,58912201
96,25		14195,07		5,539712	4,487166	107,692	3,58973314
116,25	knäck i befintlig spricka	7720,47		2,953494	2,39233	57,41592	1,91386388
130,75		16618,14		6,695017	5,422963	130,1511	4,33837078
140,25	knäckte i gammal spricka	14312,79		5,636087	4,565231	109,5655	3,65218461
165		18825,39		7,249414	5,872026	140,9286	4,6976205
185		17177,31		6,658858	5,393675	129,4482	4,31494027
195		9505,89		3,948214	3,198053	76,75327	2,55844239
204	sprickor	7906,86		2,897705	2,347141	56,33139	1,87771314
223		9633,42		4,098772	3,320005	79,68013	2,65600438
232		14921,01		6,124441	4,960797	119,0591	3,96863758
245		11605,23		4,949799	4,009337	96,2241	3,20746992
262		13910,58		5,055465	4,094927	98,27825	3,27594159
311		15391,89		6,36263	5,15373	123,6895	4,12298399
355	knäckte ut åt sidan 1/4 lossnade	13057,11		5,84036	4,730691	113,5366	3,78455311
366		12125,16		5,222634	4,230334	101,528	3,38426688
375		11036,25		4,639066	3,757644	90,18345	3,00611494
393		17353,89		6,975322	5,650011	135,6003	4,52000858
384		18040,59		7,62005	6,172241	148,1338	4,93779248
402		17020,35		6,109271	4,948509	118,7642	3,95880733
439		13547,61		5,028309	4,07293	97,75033	3,25834433
480		19943,73		7,818141	6,332694	151,9847	5,06615559



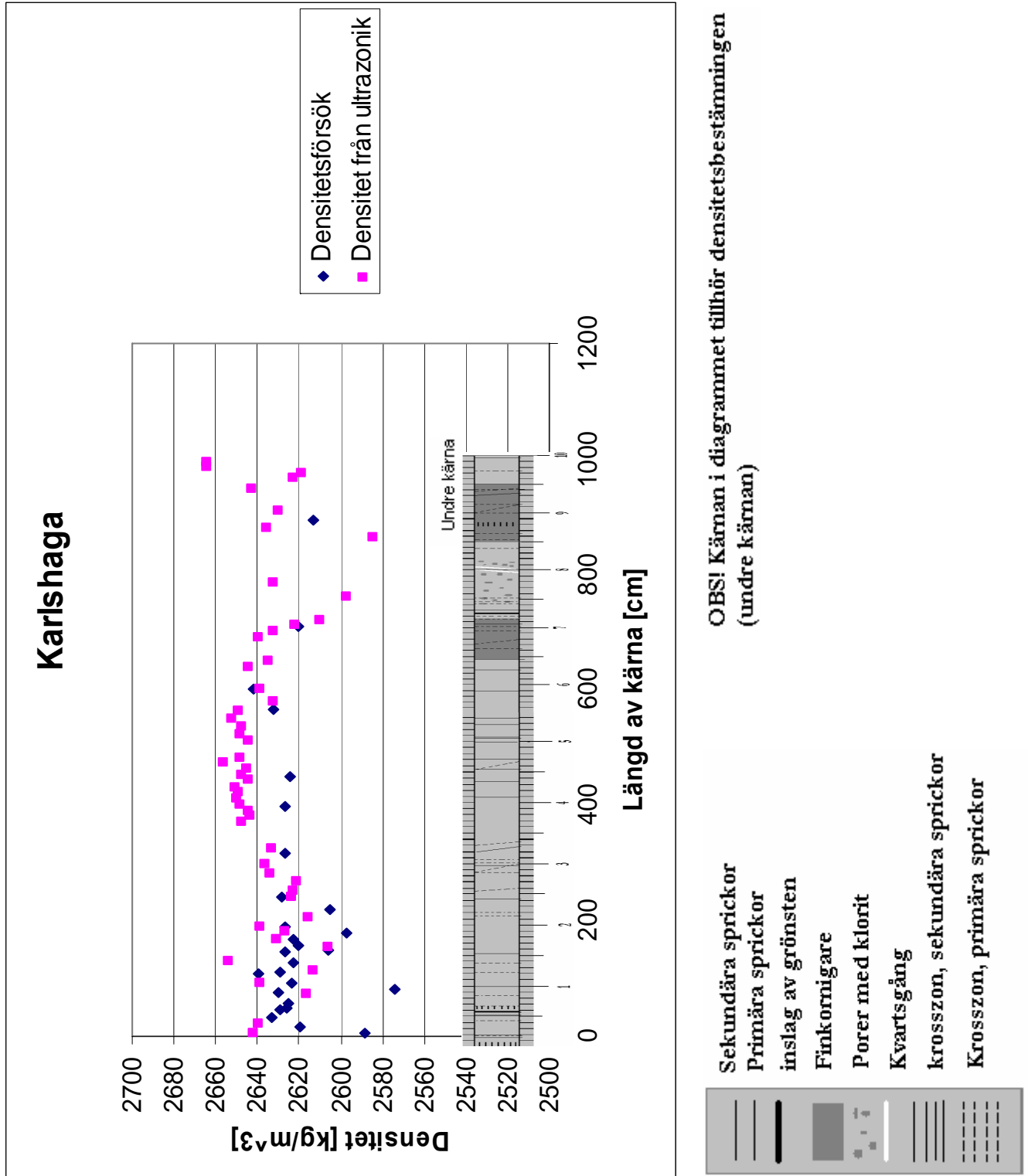
Bilaga 20

Resultat Brasilien dragtest, Karlshaga

Nummer, undre kärna	Kommentar	Diameter [mm]	Tjocklek [mm]	Kraft [kg]	Kraft [kN]	σ_t [MPa]
31,3		45	24,7	1559	15293,79	8,759889
43	gammal hopläkt spricka	45	24,8	1448	14204,88	8,103382
53		45	25,5	1789	17550,09	9,736875
80		45	24,2	2073	20336,13	11,88867
92		45	25,3	1069	10486,89	5,864171
107		45	25,3	1840	18050,4	10,09361
112		45	25,9	1474	14459,94	7,898546
126		45	38,3	2170	21287,7	7,8634
145		45	24	1981	19433,61	11,45573
153		45	24,7	1470	14420,7	8,259805
160		45	27,3	2009	19708,29	10,21331
169		45	24,9	2175	21336,75	12,12298
189	liten knäck ev lagd i fel rikt från de små sprickorna, svårt att se	45	24,9	1279	12546,99	7,128869
199	liten knäck ev lagd i fel rikt från de små sprickorna, svårt att se	45	27,2	1329	13037,49	6,781184
208	gammal hopläkt spricka	45	25,1	1285	12605,85	7,105241
316		45	26,9	1414	13871,34	7,295357
398		45	23,5	1908	18717,48	11,26834
510	svårt att se sprickriktning	45	25,5	2094	20542,14	11,39688
602	svårt att se sprickriktning	45	28	2482	24348,42	12,30249
710	finkornig	45	25,5	1643	16117,83	8,94225
800		45	27,7	1392	13655,52	6,974433
900	halva finkornig	45	21,9	1701	16686,81	10,77977

Resultat Densitetsbestämning, Karlshaga

I diagrammet nedan finns resultat från både densitetsbestämning, som är mer noggrant framtaget, men även resultat av densiteten framtagen under de ultrasoniska mätningarna finns representerade, dessa är mindre noggranna. Dock kompletterar dessa resultatet från densitetsbestämningen då det ger oss fler mätpunkter.



Bilaga 21

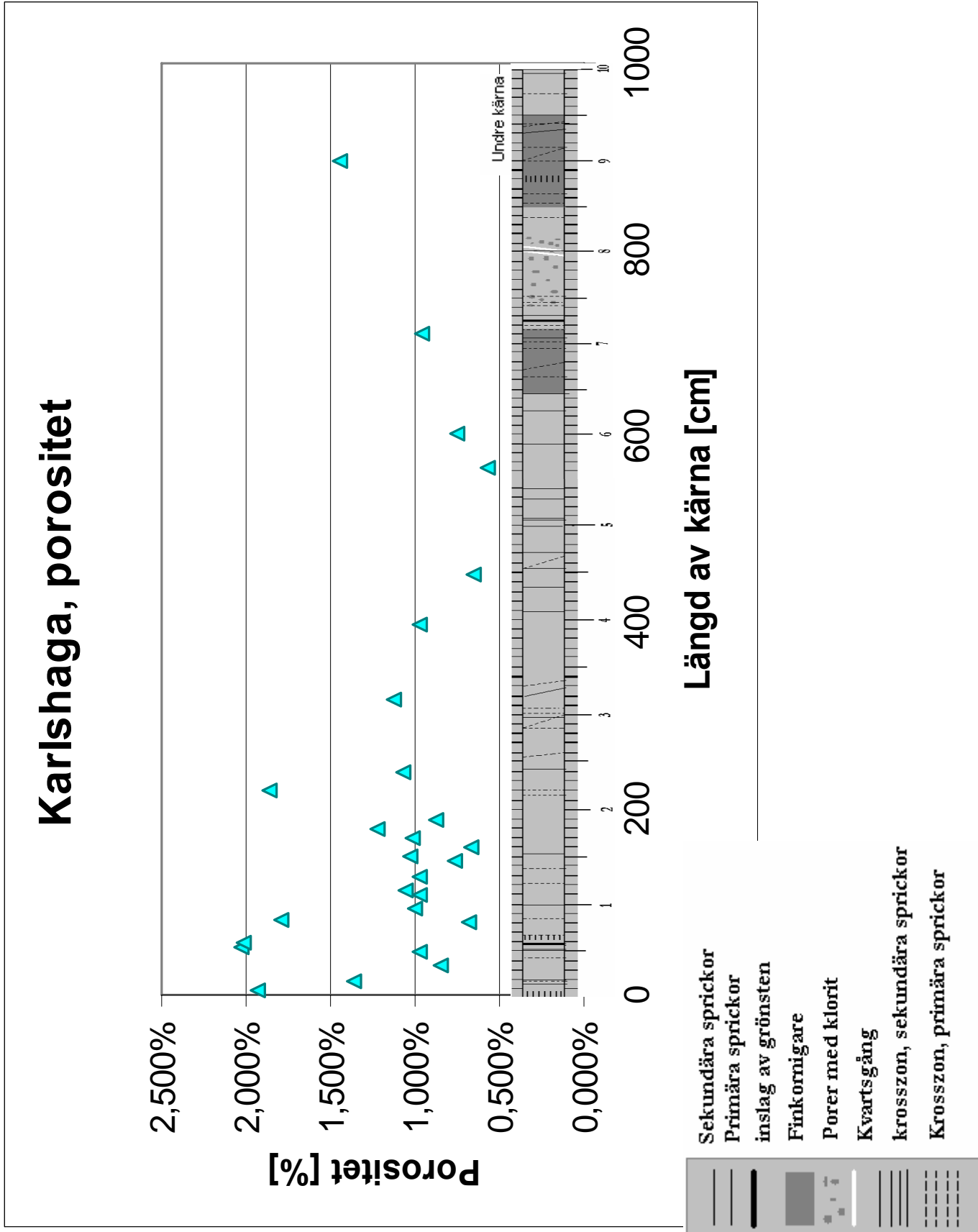
Resultat Densitetsbestämning, Karlshaga

Nummer, undre kärna	Bergart	Längd [cm]	Längd [m]	Vikt [g]	Vikt [kg]	Densitet [kg/m ³]
9		8,69	0,0869	365,1	0,3651	2641,6614
24		7,07	0,0707	296,8	0,2968	2639,5481
77		5,02	0,0502	208,9	0,2089	2616,4944
96		7,16	0,0716	300,5	0,3005	2638,8612
116		4,86	0,0486	202	0,202	2613,3657
132		9,26	0,0926	390,8	0,3908	2653,5585
158		5,94	0,0594	246,2	0,2462	2606,0737
170		7,77	0,0777	325,1	0,3251	2630,7589
183		9,71	0,0971	405,7	0,4057	2627,0653
193		9,36	0,0936	392,8	0,3928	2638,6435
208		7,15	0,0715	297,4	0,2974	2615,2910
244		8,01	0,0801	334,2	0,3342	2623,3668
254		8,59	0,0859	358,3	0,3583	2622,6403
272		4,8	0,048	200,1	0,2001	2621,1444
284		10,15	0,1015	425,2	0,4252	2633,9790
302		8,62	0,0862	361,4	0,3614	2636,1248
327		6,89	0,0689	288,5	0,2885	2632,7625
361		8,04	0,0804	303,5	0,3035	2373,4918
373		10,13	0,1013	426,5	0,4265	2647,2483
384		8,93	0,0893	375,4	0,3754	2643,1871
394		9,71	0,0971	408,4	0,4084	2644,5489
404		9,56	0,0956	402,6	0,4026	2647,8963
414		8,98	0,0898	378,4	0,3784	2649,4753
424		9,79	0,0979	412,5	0,4125	2649,2708
434		9,48	0,0948	399,6	0,3996	2650,3439
446		6,29	0,0629	264,5	0,2645	2643,9919
456		10,12	0,1012	426,1	0,4261	2647,3790
466		9,1	0,091	382,8	0,3828	2644,9388
478		8,2	0,082	346,4	0,3464	2656,1287
486		7,46	0,0746	314,2	0,3142	2648,2101
515		9,82	0,0982	413	0,413	2644,3787
525		8,05	0,0805	339	0,339	2647,8227
538		9,39	0,0939	395,4	0,3954	2647,6231
553		10,14	0,1014	427,7	0,4277	2652,0786
565		10,12	0,1012	426,3	0,4263	2648,6216
583		5,04	0,0504	211	0,211	2632,3099
603		5,03	0,0503	211,1	0,2111	2638,7931
642		9,84	0,0984	413,8	0,4138	2644,1158
653		9,58	0,0958	401,4	0,4014	2634,4924
686		8,82	0,0882	411,5	0,4115	2933,5017
694		3,95	0,0395	165,8	0,1658	2639,2013
705		9,84	0,0984	412	0,412	2632,6141
714		6,57	0,0657	274	0,274	2622,2270
724		4,11	0,0411	170,6	0,1706	2609,8906
765		9,61	0,0961	397	0,397	2597,4800
788		9,54	0,0954	399,4	0,3994	2632,3569
844		9,94	0,0994	399	0,399	2523,8969
852		5,49	0,0549	220,4	0,2204	2524,2033
867		9,74	0,0974	400,3	0,4003	2584,1143

Bilaga 21**Resultat Densitetsbestämning, Karlshaga**

Nummer, undre kärna	Bergart	Längd [cm]	Längd [m]	Vikt [g]	Vikt [kg]	Densitet [kg/m³]
882		9,99	0,0999	418,7	0,4187	2635,2545
914		4,32	0,0432	180,7	0,1807	2630,0227
952		8,95	0,0895	376,2	0,3762	2642,9007
970		10,03	0,1003	418,4	0,4184	2622,8644
978		6,33	0,0633	263,6	0,2636	2618,3445
988		8,83	0,0883	374,1	0,3741	2663,8643
997		7,25	0,0725	307,2	0,3072	2664,2090

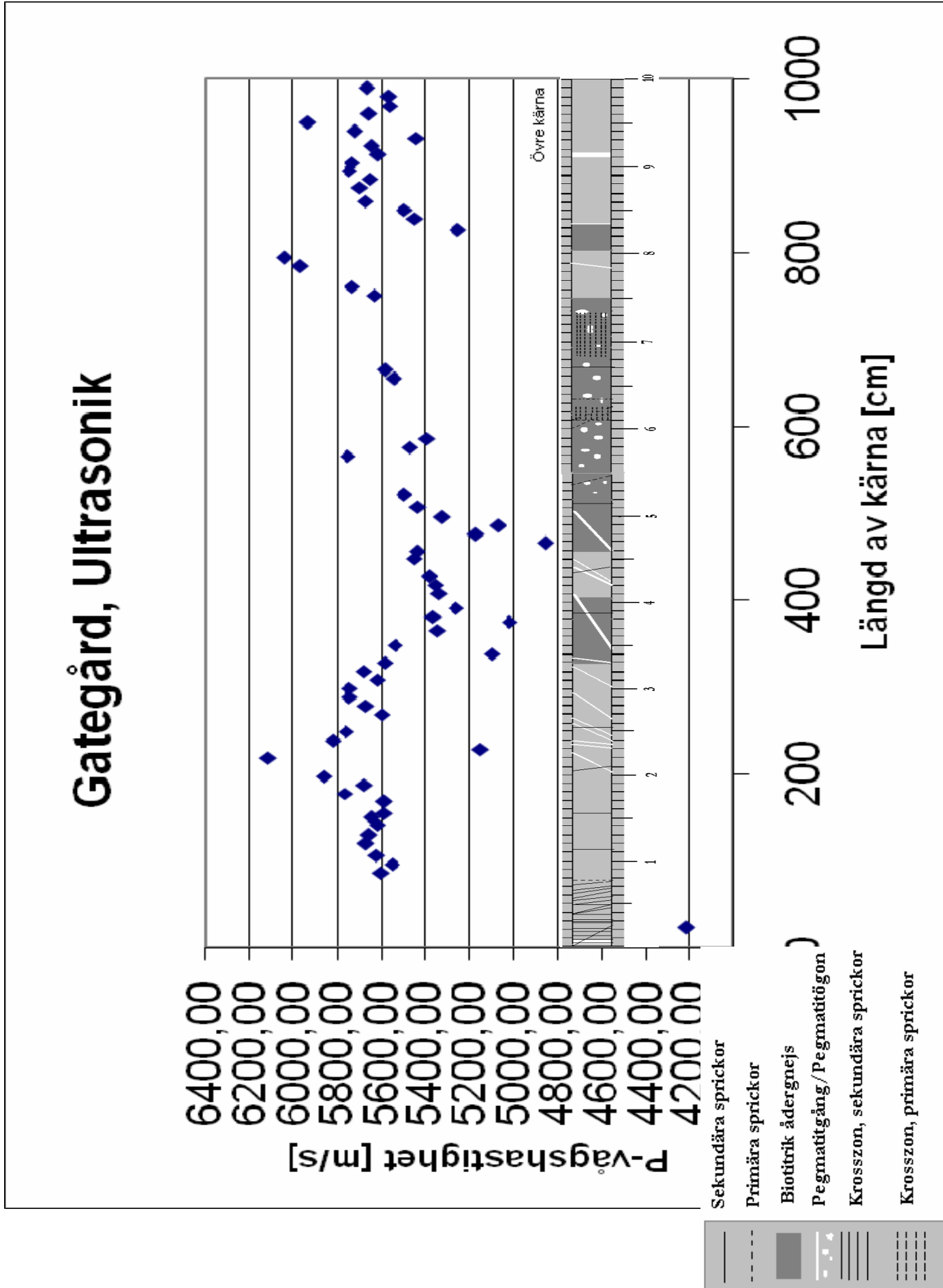
Resultat Porositetsbestämning, Karlshaga



Resultat Porositetsbestämning, Karlshaga

Nummer, undre kärna	vikt, vattenmättad [g]	vikt efter 1 dygn i ugn [g]	Volym porer [cm ³]	volym sten [cm ³]	Porositet [%]
5	44,351	44,021	0,33	17,04	0,019366
15	117,91	117,3	0,61	44,89	0,013589
31,3	57,901	57,714	0,187	21,96	0,008515
46	110,92	110,51	0,41	42,12	0,009734
50	150,56	149,4	1,16	57,25	0,020262
56	132,63	131,62	1,01	50,31	0,020076
77	189,75	189,26	0,49	72,08	0,006798
80	128,32	127,43	0,89	49,64	0,017929
92	68,463	68,204	0,259	26,04	0,009946
107	64,68	64,442	0,238	24,46	0,00973
112	65,484	65,22	0,264	24,86	0,010619
126	53,417	53,22	0,197	20,33	0,00969
145	66,882	66,687	0,195	25,43	0,007668
150	121,38	120,9	0,48	46,48	0,010327
158	140,51	140,15	0,36	53,58	0,006719
169	58,526	58,3	0,226	22,28	0,010144
179	183,82	182,96	0,86	70,6	0,012181
189	59,607	59,409	0,198	22,66	0,008738
220	214,07	212,55	1,52	81,8	0,018582
240	113,69	113,23	0,46	43,17	0,010656
316	60,084	59,828	0,256	22,83	0,011213
398	56,817	56,608	0,209	21,6	0,009676
450	165,61	165,2	0,41	63,05	0,006503
565	157	156,66	0,34	59,61	0,005704
602	60,093	59,922	0,171	22,72	0,007526
709	111,99	111,58	0,41	42,64	0,009615
895	185,33	184,31	1,02	70,69	0,014429

Resultat Ultrasonik, Gategård



Bilaga 23

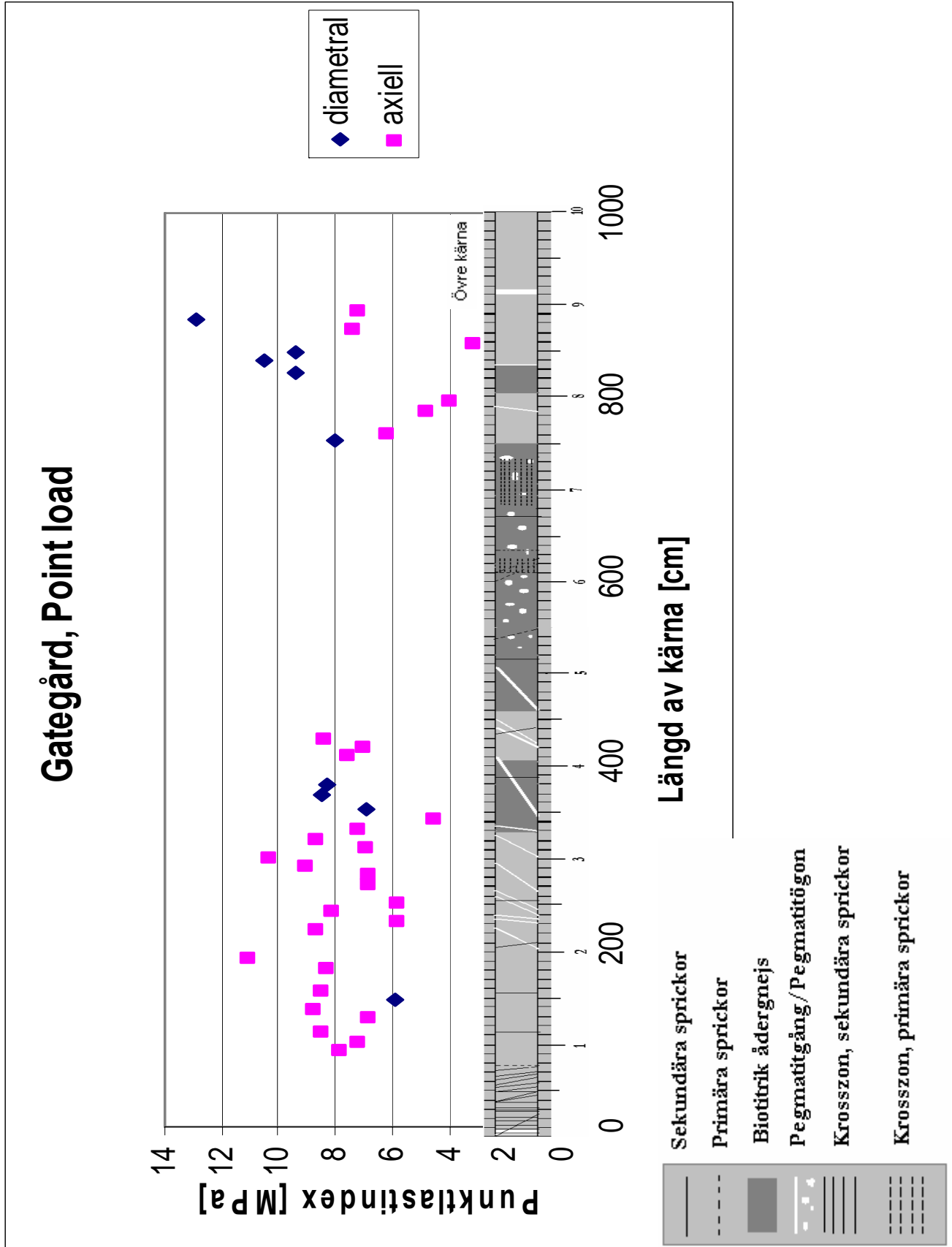
Resultat Ultrasonik, Gategård

Nummer, övre kärna	Bergart (gnejsig granodiorit)	Längd [cm]	Vikt [g]	Densitet [kg/m ³]	Tid [µs]	E-modul [GPa]	Vp [m/s]
23		3,98	163,8	2587,7119	9,45	45,90	4211,64
85		9,88	417,7	2658,2304	17,6300	83,48	5604,08
95		9,88	417,5	2656,9576	17,7930	81,92	5552,75
105		9,8	414,1	2656,8329	17,4230	84,06	5624,75
120		9,88	416,6	2651,2300	17,4230	85,25	5670,67
130		9,8	413,4	2652,3418	17,3240	84,88	5656,89
140		9,83	415,8	2659,5984	17,4960	83,95	5618,43
149,5		7,525	318,3	2659,5933	13,3240	84,83	5647,70
153		6,8	287,6	2659,2861	12,1630	83,12	5590,73
168		4,25	180,2	2665,9435	7,6050	83,26	5588,43
176		9,75	413,4	2665,9435	16,9080	88,65	5766,50
186		9,72	413,4	2674,1718	17,1190	86,21	5677,90
196		9,775	415,4	2671,9899	16,6750	91,82	5862,07
217		9,84	417,3	2666,4803	16,0900	99,73	6115,60
227		9,81	417,2	2673,9937	19,0500	70,91	5149,61
237		9,74	409,2	2641,5678	16,7290	89,54	5822,22
247		10,24	433,5	2661,7927	17,7700	88,39	5762,52
267		9,87	418,7	2667,2941	17,6200	83,69	5601,59
277		10,02	427,2	2680,7025	17,6720	86,18	5669,99
287		10,055	426,1	2664,4928	17,5040	87,92	5744,40
297		9,91	421,3	2673,0242	17,2470	88,25	5745,93
307		9,82	418,5	2679,5944	17,4670	84,69	5622,03
317		9,97	425	2680,2720	17,5440	86,56	5682,85
327		9,97	423	2667,6589	17,8510	83,21	5585,12
337	ådergnejs	9,315	427,2	2883,5898	18,2610	75,03	5101,03
347	ådergnejs	9,315	400,8	2705,3904	16,8130	83,04	5540,36
364	ådergnejs	9,88	429,3	2732,0525	18,4820	78,07	5345,74
374	ådergnejs	9,83	424,2	2713,3276	19,5810	68,38	5020,17
380		6,44	273,8	2673,2075	12,0020	76,97	5365,77
390		7,72	328,2	2673,0456	14,6720	74,01	5261,72
407		9,88	420,6	2676,6859	18,5050	76,30	5339,10
417		9,88	421,9	2684,9591	18,4390	77,09	5358,21
427		9,93	420,9	2665,1077	18,4390	77,29	5385,32
447		7,78	329,7	2664,5535	14,2670	79,24	5453,14
456	biotitrik ådergnejs	10,52	444,3	2655,4961	19,3480	78,51	5437,25
466	biotitrik ådergnejs	9,66	417	2714,2136	19,8820	64,07	4858,67
476	biotitrik ådergnejs	9,51	413,1	2731,2394	18,3930	73,02	5170,45
486	biotitrik ådergnejs	9,63	418,1	2729,8512	18,9970	70,15	5069,22
496	biotitrik ådergnejs	9,72	414,5	2681,2874	18,2490	76,07	5326,32
506	biotitrik ådergnejs	9,8	423	2713,9346	18,0360	80,13	5433,58
521	biotitrik ådergnejs	7,675	327,9	2686,2605	13,9600	81,20	5497,85
565	biotitrik ådergnejs	9,37	409,5	2747,8904	16,2810	91,02	5755,17
575	biotitrik ådergnejs	9,64	419,5	2736,1508	17,6190	81,91	5471,37
585	biotitrik ådergnejs	9,55	417	2745,4768	17,7040	79,89	5394,26
655	biotitrik ådergnejs	9,53	418,3	2759,8155	17,1950	84,77	5542,31
665	biotitrik ådergnejs	9,55	413,2	2720,4580	17,0990	84,86	5585,12
750	biotitrik ådergnejs	9,48	405,6	2690,1389	16,8320	85,33	5632,13
760		10,1	414,9	2582,8974	17,6070	84,99	5736,35

Resultat Ultrasonik, Gategård

Nummer, övre kärna	Bergart (gnejsig granodiorit)	Längd [cm]	Vikt [g]	Densitet [kg/m ³]	Tid [µs]	E-modul [GPa]	Vp [m/s]
785		10,03	410,4	2572,7140	16,8080	91,61	5967,40
795		10,13	414,7	2574,0067	16,7600	94,03	6044,15
826	biotitrik ådergnejs	9,82	413,8	2649,5010	18,6950	73,10	5252,74
838	biotitrik ådergnejs	9,12	388,8	2680,5043	16,7360	79,60	5449,33
848		9,81	418,4	2681,6850	17,8480	81,02	5496,41
858		9,76	414,7	2671,5869	17,1950	86,07	5676,07
874		9,62	408	2666,6756	16,8810	86,60	5698,71
884		9,45	400,7	2666,0766	16,7120	85,25	5654,62
894		9,41	397,8	2658,0323	16,3730	87,80	5747,27
902,5		4,81	201,5	2633,9957	8,3870	86,63	5735,07
913		9,66	409,2	2663,4441	17,2010	84,00	5615,95
923		9,58	405,1	2658,7765	16,9690	84,74	5645,59
930,5		4,73	199,9	2657,2765	8,6910	78,71	5442,41
940		9,53	404,5	2668,7674	16,6560	87,37	5721,66
950		10	407,4	2561,5693	16,8540	90,18	5933,31
960		9,67	410,9	2671,7435	17,0930	85,51	5657,29
968		5,59	236,3	2657,8900	10,0410	82,38	5567,17
980		9,455	401,8	2671,9818	16,9750	82,90	5569,96
990		9,8	417,2	2676,7223	17,2950	85,94	5666,38

Resultat Punktlasttest, Gategård

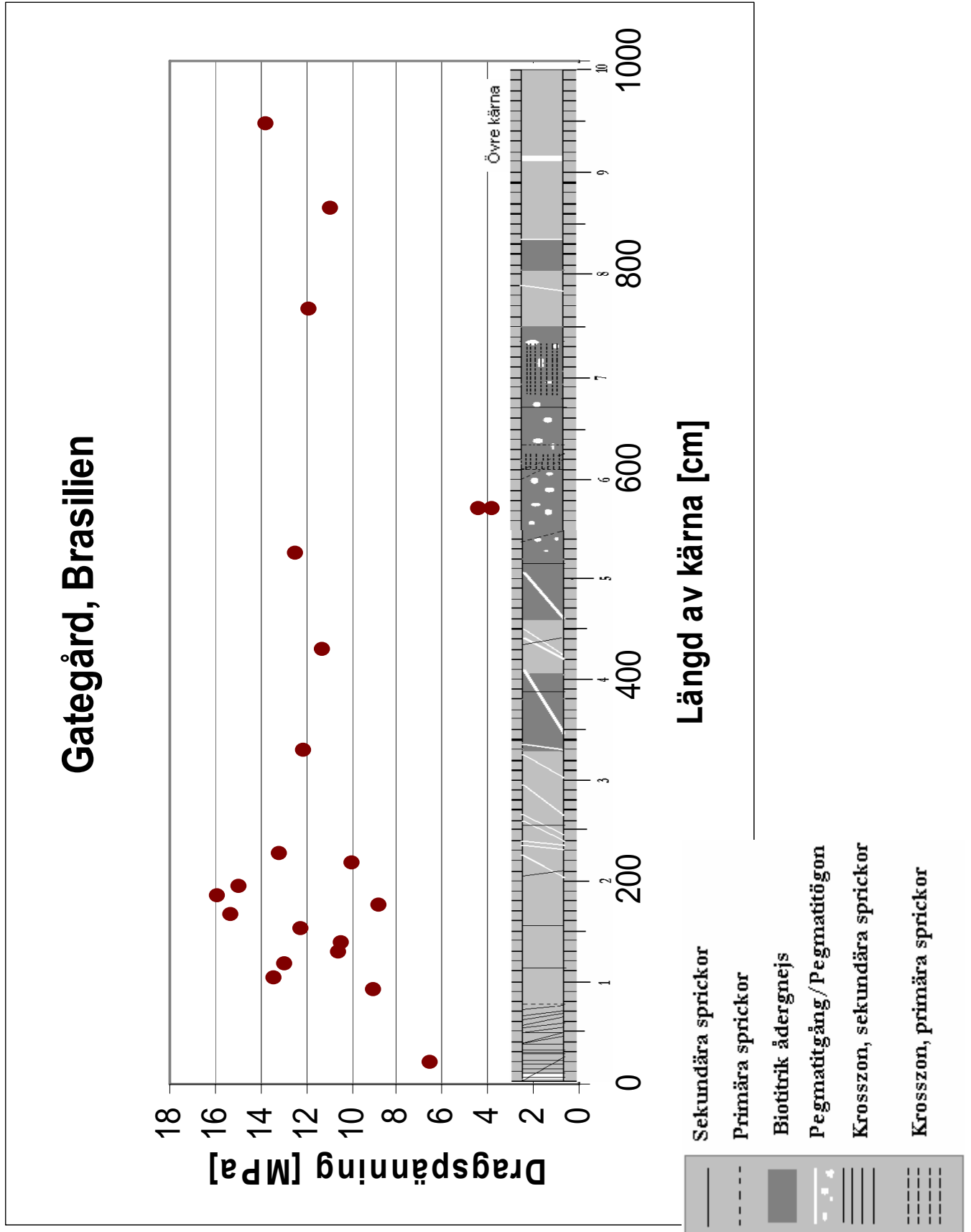


Bilaga 24

Resultat Punklasttest, Gategård

Nummer, övre kärna	Kommentar	Ax/Rad	Kraft [kN]	I _s diametral [MPa]	I _s axiellt [MPa]	I _{s(50)} [MPa]	σ _c (tryck) [MPa]	σ _t (drag) [MPa]
85		Ax	20287,08		7,795085	6,314019	151,5364	5,051215
95		Ax	18658,62		7,185193	5,820007	139,6802	4,656005
105		Ax	21729,15		8,451571	6,845772	164,2985	5,476618
120		Ax	18168,12		6,8452	5,544612	133,0707	4,43569
130		Ax	23073,12		8,712073	7,056779	169,3627	5,645423
140		Rad	11958,39	5,905378		4,783356	114,8005	3,826685
149,5		Ax	22337,37		8,48939	6,876406	165,0337	5,501125
176		Ax	20836,44		8,298633	6,721893	161,3254	5,377514
186		Ax	28449		11,02838	8,932986	214,3917	7,146389
217	pegmatitådra där punktbelastningen verkade	Ax	22396,23		8,624499	6,985844	167,6603	5,588675
227	halva punktbelastningen genom pegmatit	Ax	15215,31		5,757541	4,663608	111,9266	3,730886
237	pegmatitögon	Ax	21071,88		8,061124	6,52951	156,7082	5,223608
247	pegmatit	Ax	15176,07		5,81842	4,71292	113,1101	3,770336
267	pegmatit	Ax	17579,52		6,814777	5,519969	132,4793	4,415975
277	pegmatit i ena hörnet	Ax	17658		6,769978	5,483682	131,6084	4,386946
287	pegmatit i ena hörnet	Ax	23288,94		9,028058	7,312727	175,5055	5,850182
297	pegmatit	Ax	27183,51		10,28636	8,331952	199,9669	6,665562
307		Ax	18315,27		6,945646	5,625973	135,0234	4,500779
317	gnejsig i ena änden	Ax	22396,23		8,624499	6,985844	167,6603	5,588675
327		Ax	18589,95		7,158749	5,798587	139,1661	4,63887
338	gnejsig halva	Ax	11556,18		4,509869	3,652994	87,67185	2,922395
348	radiell gnejs	Rad	13949,82	6,8888		5,579928	133,9183	4,463942
364	radiell gnejs	Rad	17098,83	8,443867		6,839532	164,1488	5,471626
374	radiell gnejs	Rad	16843,77	8,317911		6,737508	161,7002	5,390006
407	pegmatit	Ax	19413,99		7,525917	6,095993	146,3038	4,876794
417		Ax	18256,41		6,999405	5,669518	136,0684	4,535614
427		Ax	21925,35		8,406056	6,808905	163,4137	5,447124
750	radiell gnejs	Rad	16196,31	7,998178		6,478524	155,4846	5,182819
760		Ax	15794,1		6,136287	4,970393	119,2894	3,976314
785		Ax	12635,28		4,812564	3,898177	93,55625	3,118542
795		Ax	10506,51		3,97571	3,220325	77,2878	2,57626
826	radiell gnejs	Rad	19011,78	9,388533		7,604712	182,5131	6,08377
838	radiell gnejs, mkt pegmatit	Rad	21169,98	10,45431		8,467992	203,2318	6,774394
848		Rad	19080,45	9,422444		7,63218	183,1723	6,105744
858		Ax	8407,17		3,160742	2,560201	61,44482	2,048161
874		Ax	19678,86		7,366669	5,967002	143,208	4,773602
884		Rad	26173,08	12,92498		10,46923	251,2616	8,375386
894		Ax	19188,36		7,152356	5,793409	139,0418	4,634727

Resultat Brasilien dragtest, Gategård

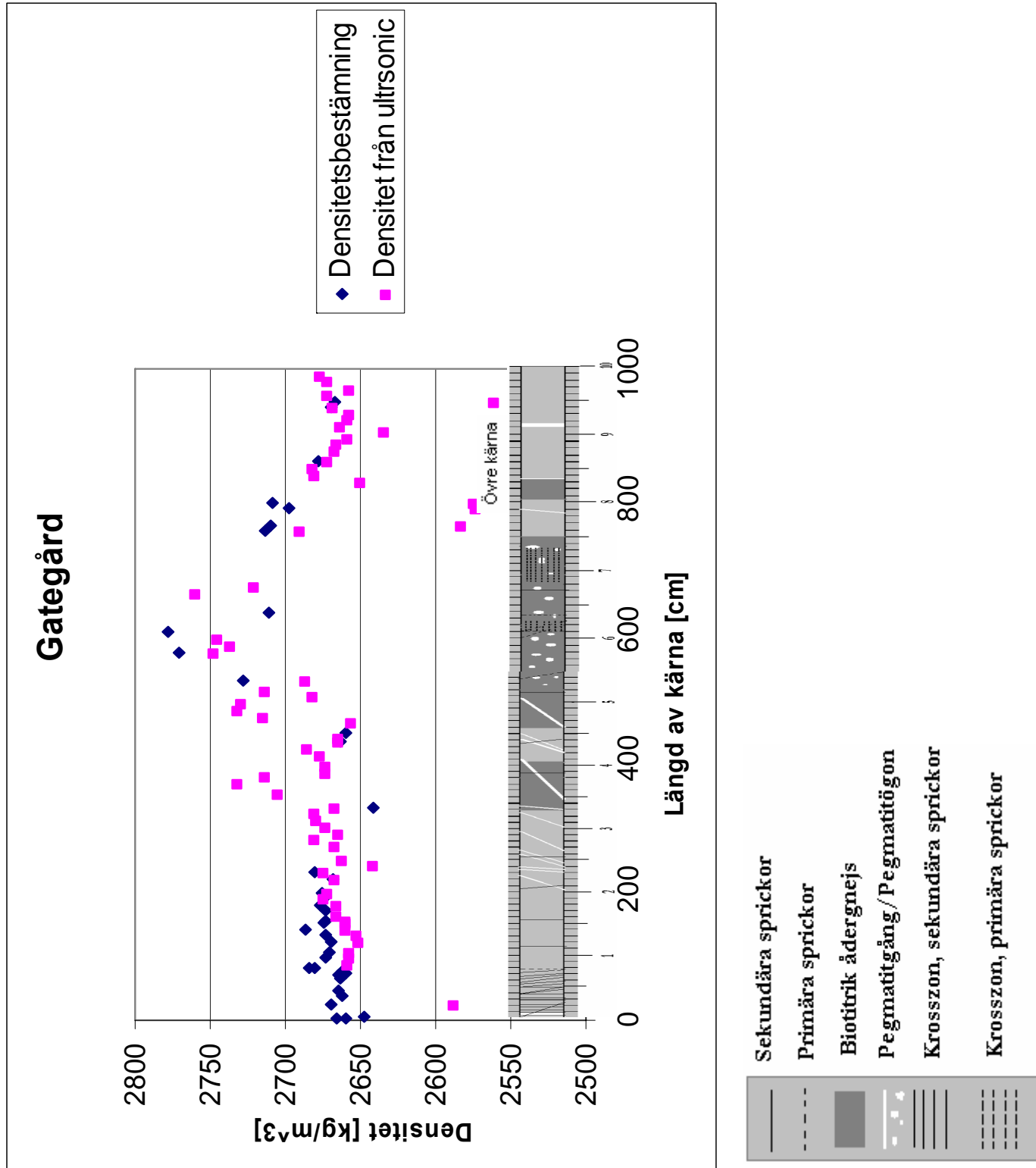


Resultat Brasilien dragtest, Gategård

Nummer, övre kärna	Kommentar	Diameter [mm]	Tjocklek [mm]	Kraft [kg]	Kraft [kN]	σ_t [MPa]
23		45	31,9	1497	14685,57	6,512992
95		45	23,4	1516	14871,96	8,991513
105		45	25,6	2476	24289,56	13,42332
120		45	23,4	2170	21287,7	12,87044
130		45	25,5	1927	18903,87	10,48796
140		45	27	2017	19786,77	10,36792
153		45	24,2	2130	20895,3	12,21557
168		45	21,9	2415	23691,15	15,30462
176		45	21,6	1372	13459,32	8,815558
186		45	23,2	2654	26035,74	15,87678
196		45	25,2	2719	26673,39	14,9747
217	pegmatit	45	23,3	1676	16441,56	9,983148
227	lite pegmatit	45	23,9	2273	22298,13	13,1993
327	Liten pegmatit gång, 4mm	45	24,2	2097	20571,57	12,02631
427		45	24,1	1959	19217,79	11,2815
521	mörkare ton, biotit, på kanterna	45	27	2419	23730,39	12,43431
565	ådergnejsränder horisontellt, knäckte i gammal 45 gradig spricka	45	21,3	671	6582,51	4,372123
565	Ådergnejsränder, knäckte vertikalt i gammal spricka	45	21,6	597	5856,57	3,835924
760		45	25,2	2142	21013,02	11,79691
858		45	24,5	1926	18894,06	10,91037
940		45	24,4	2421	23750,01	13,77065

Resultat Densitetsbestämning, Gategård

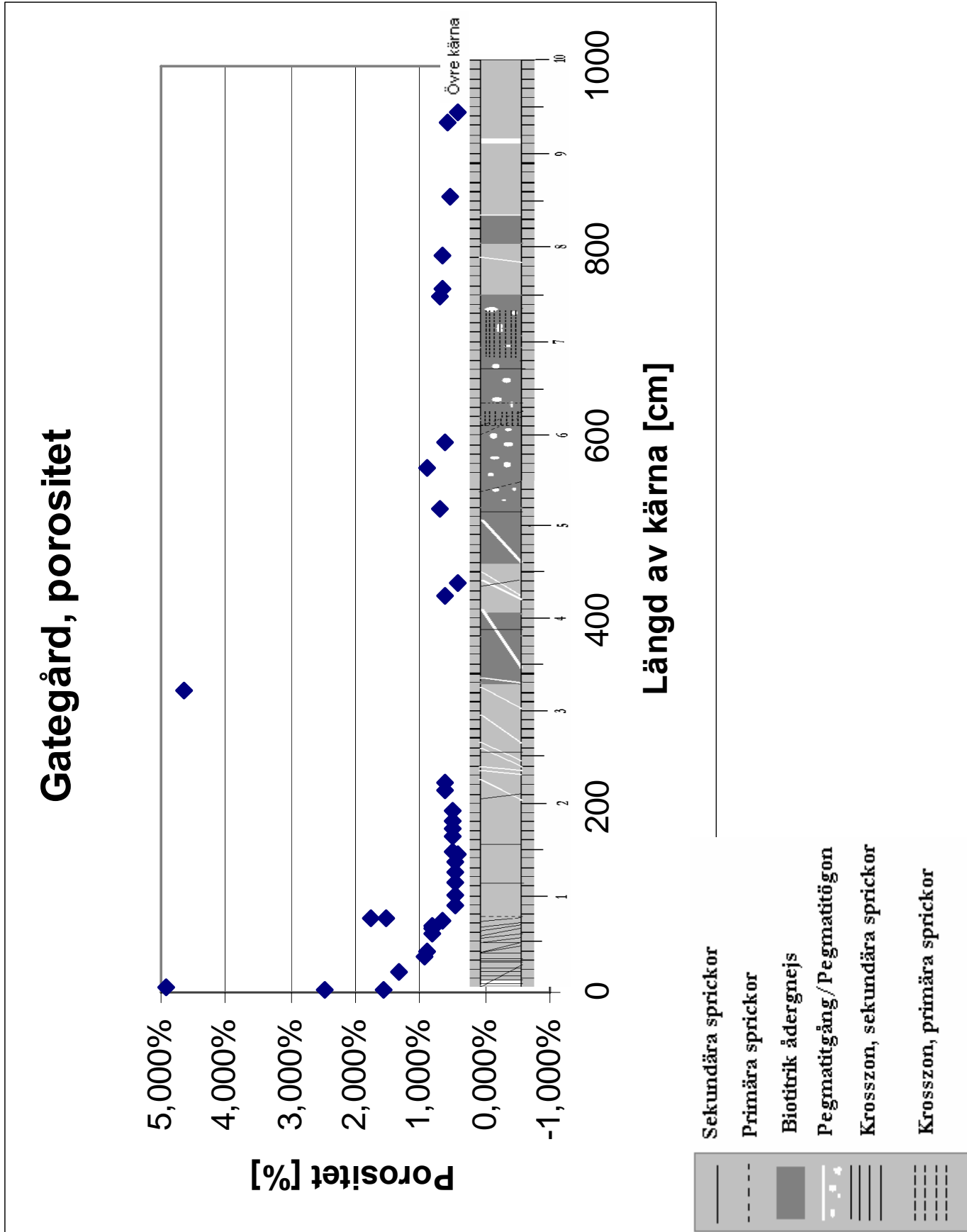
I diagrammet nedan finns resultat från både densitetsbestämning, som är mer noggrant framtaget, men även resultat av densiteten framtagen under de ultrasoniska mätningarna finns representerade, dessa är mindre noggranna. Dock kompletterar dessa resultatet från densitetsbestämningen då det ger oss fler mätpunkter.



Resultat Densitetsbestämning, Gategård

Nummer, övre kärna	vikt i luft [g]	vikt i vatten [g]	volym [cm ³]	densitet [kg/m ³]
3	101,46	63,32	38,14	2660,199266
3	71,198	44,49	26,708	2665,793021
5	52,994	32,98	20,014	2647,846507
23	47,149	29,49	17,659	2669,969987
38	207,39	129,48	77,91	2661,917597
45	220,56	137,78	82,78	2664,411694
63	108,06	67,49	40,57	2663,544491
69	139,35	87,06	52,29	2664,945496
72	170,41	106,35	64,06	2660,162348
76	224,35	140,07	84,28	2661,960133
80	42,114	26,4	15,714	2680,030546
80	38,327	24,05	14,277	2684,527562
95	67,504	42,25	25,254	2673,002297
105	68,488	42,84	25,648	2670,305677
120	65,14	40,74	24,4	2669,672131
130	58,928	36,88	22,048	2672,714078
140	55,359	34,75	20,609	2686,156534
150	111,38	69,74	41,64	2674,831892
153	79,594	49,82	29,774	2673,271982
168	74,988	46,94	28,048	2673,559612
176	79,856	50,02	29,836	2676,49819
186	69,039	43,22	25,819	2673,961036
196	57,175	35,81	21,365	2676,10578
217	69,013	43,15	25,863	2668,406604
227	69,892	43,82	26,072	2680,730285
327	64,531	40,1	24,431	2641,357292
427	61,973	38,7	23,273	2662,871138
442	188,44	117,59	70,85	2659,703599
521	76,622	48,53	28,092	2727,538089
565	198,87	127,1	71,77	2770,934931
595	394,81	252,71	142,1	2778,395496
625	44,94	28,36	16,58	2710,494572
750	172,22	108,74	63,48	2712,980466
760	60,472	38,16	22,312	2710,290427
785	178,99	112,63	66,36	2697,257384
795	181,57	114,53	67,04	2708,383055
858	62,062	38,89	23,172	2678,31866
940	62,589	39,14	23,449	2669,154335
950	177,62	111,01	66,61	2666,566582

Resultat Porositetsbestämning, Gategård

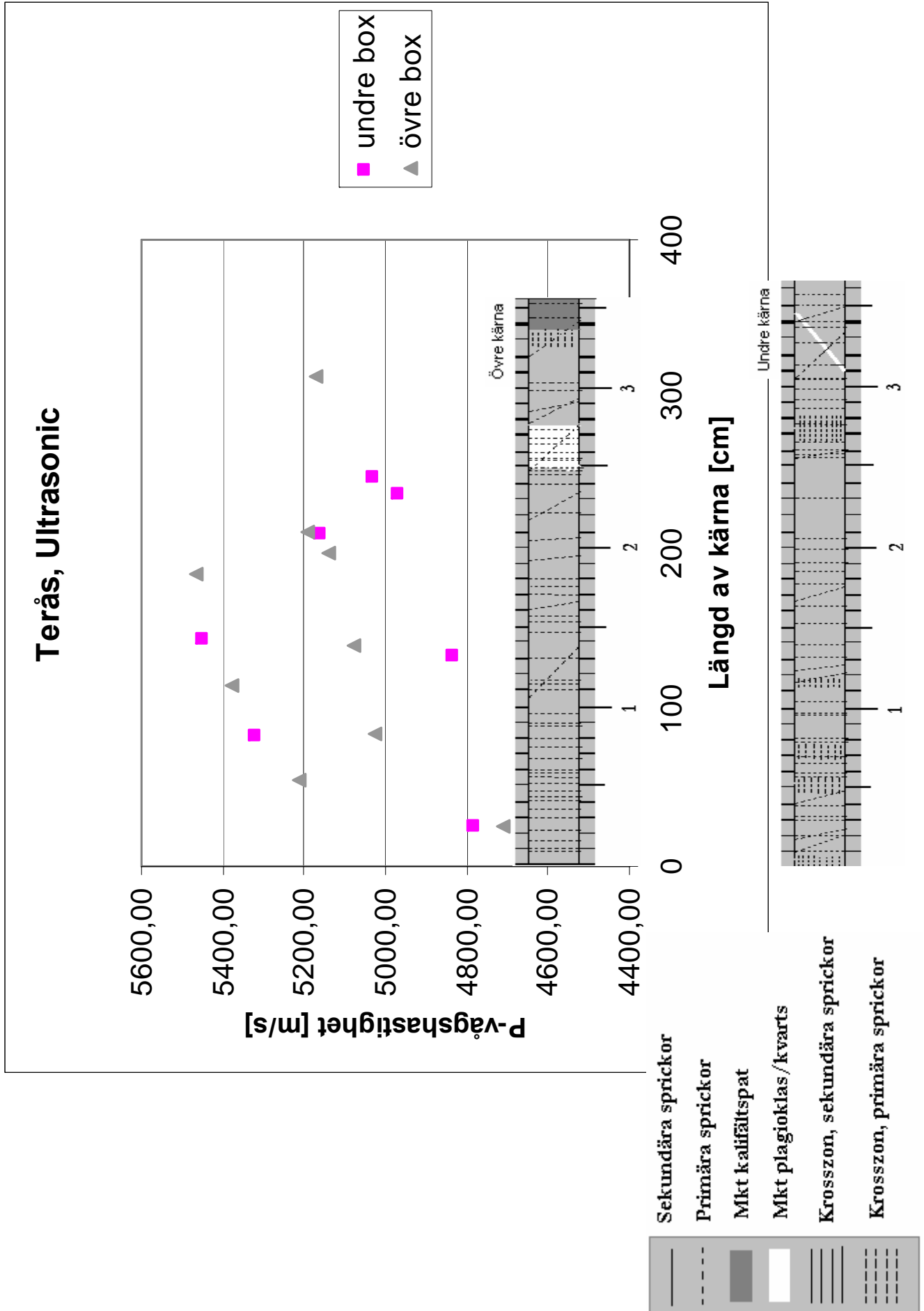


Bilaga 27

Resultat Porositetsbestämning, Gategård

Nummer, övre kärna	vikt, vattenmättad [g]	vikt efter 1 dygn i ugn [g]	Volym porer [cm ³]	volym sten [cm ³]	Porositet [%]
3	102,14	101,2	0,94	38,14	0,024646
3	71,519	71,099	0,42	26,708	0,015726
5	53,747	52,76	0,987	20,014	0,049315
23	47,342	47,108	0,234	17,659	0,013251
38	207,99	207,26	0,73	77,91	0,00937
45	221,14	220,39	0,75	82,78	0,00906
63	108,29	107,96	0,33	40,57	0,008134
69	139,71	139,29	0,42	52,29	0,008032
72	170,8	170,27	0,53	64,06	0,008273
76	224,66	224,12	0,54	84,28	0,006407
80	42,24	42,002	0,238	15,714	0,015146
80	38,478	38,226	0,252	14,277	0,017651
95	67,559	67,438	0,121	25,254	0,004791
105	68,548	68,426	0,122	25,648	0,004757
120	65,188	65,08	0,108	24,4	0,004426
130	58,977	58,873	0,104	22,048	0,004717
140	55,399	55,303	0,096	20,609	0,004658
150	111,47	111,29	0,18	41,64	0,004323
153	79,652	79,501	0,151	29,774	0,005072
168	75,04	74,903	0,137	28,048	0,004884
176	79,912	79,766	0,146	29,836	0,004893
186	69,095	68,97	0,125	25,819	0,004841
196	57,217	57,111	0,106	21,365	0,004961
217	69,087	68,929	0,158	25,863	0,006109
227	69,97	69,809	0,161	26,072	0,006175
327	65,58	64,443	1,137	24,431	0,046539
427	62,03	61,889	0,141	23,273	0,006059
442	188,6	188,29	0,31	70,85	0,004375
521	76,738	76,543	0,195	28,092	0,006941
565	199,25	198,61	0,64	71,77	0,008917
595	395,51	394,61	0,9	142,1	0,006334
750	172,54	172,09	0,45	63,48	0,007089
760	60,553	60,409	0,144	22,312	0,006454
795	181,83	181,4	0,43	67,04	0,006414
858	62,126	62	0,126	23,172	0,005438
940	62,652	62,52	0,132	23,449	0,005629
950	194,48	194,19	0,29	66,61	0,004354

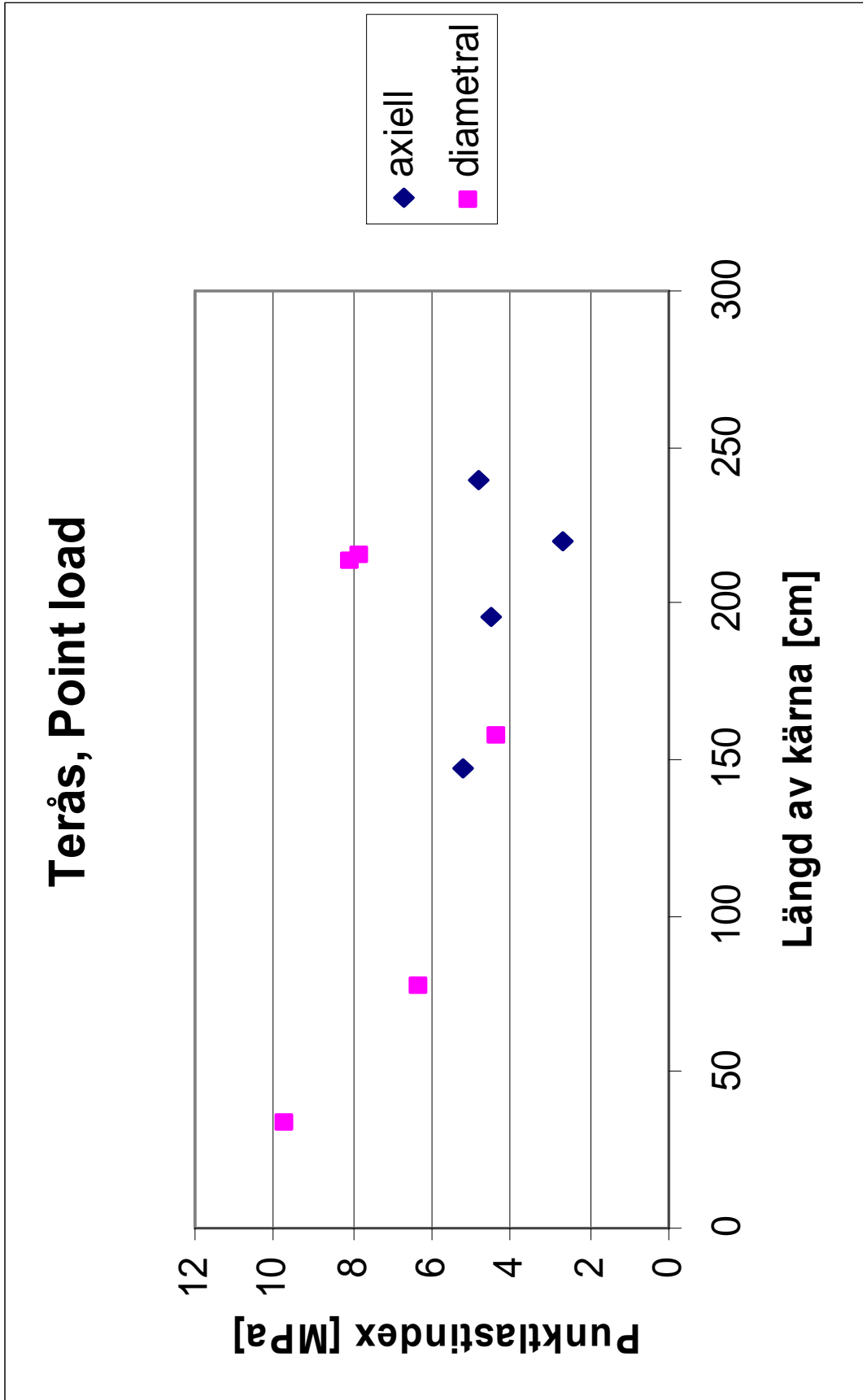
Resultat Ultrasonik, Terås



Resultat Ultrasonik, Terås

Nummer	Bergart (alkaligranit)	Längd [cm]	Vikt [g]	Densitet [kg/m ³]	Tid [μ]	Vp [m/s]	E-modul [GPa]
undre box							
27	tydlig hopläkt spricka	4,51	192,2	2679,5504	9,4270	4784,13	61,33
84	tydlig hopläkt spricka i längdsled	6,05	232,6	2417,3494	11,3680	5321,96	68,47
135		4,43	185,1	2627,1676	9,1680	4832,02	61,34
146		8,36	332,3	2499,2469	15,3440	5448,38	74,19
213	spricka, stora porer FeOH	6,84	286,4	2632,7038	13,2590	5158,76	70,06
239		9,75	406,3	2620,1569	19,6160	4970,43	64,73
249		7,74	325,3	2642,5803	15,3850	5030,87	66,88
övre box							
26		4,64	192,4	2607,1870	9,8540	4708,75	57,81
54,5		4,25	176,8	2615,6427	8,1510	5214,08	71,11
84,5	2-3 tydliga hopläkta sprickor	4,6	191,7	2620,2901	9,1480	5028,42	66,25
115	småkornig, tydlig hopläkt spricka	7,25	301,4	2613,9082	13,4830	5377,14	75,58
141		7,93	332	2632,3885	15,6110	5079,75	67,93
187		8,01	336,1	2638,2812	14,6580	5464,59	78,78
200	tydlig hopläkt spricka	7,82	327,4	2632,4311	15,2160	5139,33	69,53
214	2-3 tydliga hopläkta sprickor	9,94	415,6	2628,9011	19,1410	5193,04	70,90
313	tydlig hopläkt spricka	13,01	543,5	2626,6811	25,1520	5172,55	70,28

Resultat Punktlasttest, Terås

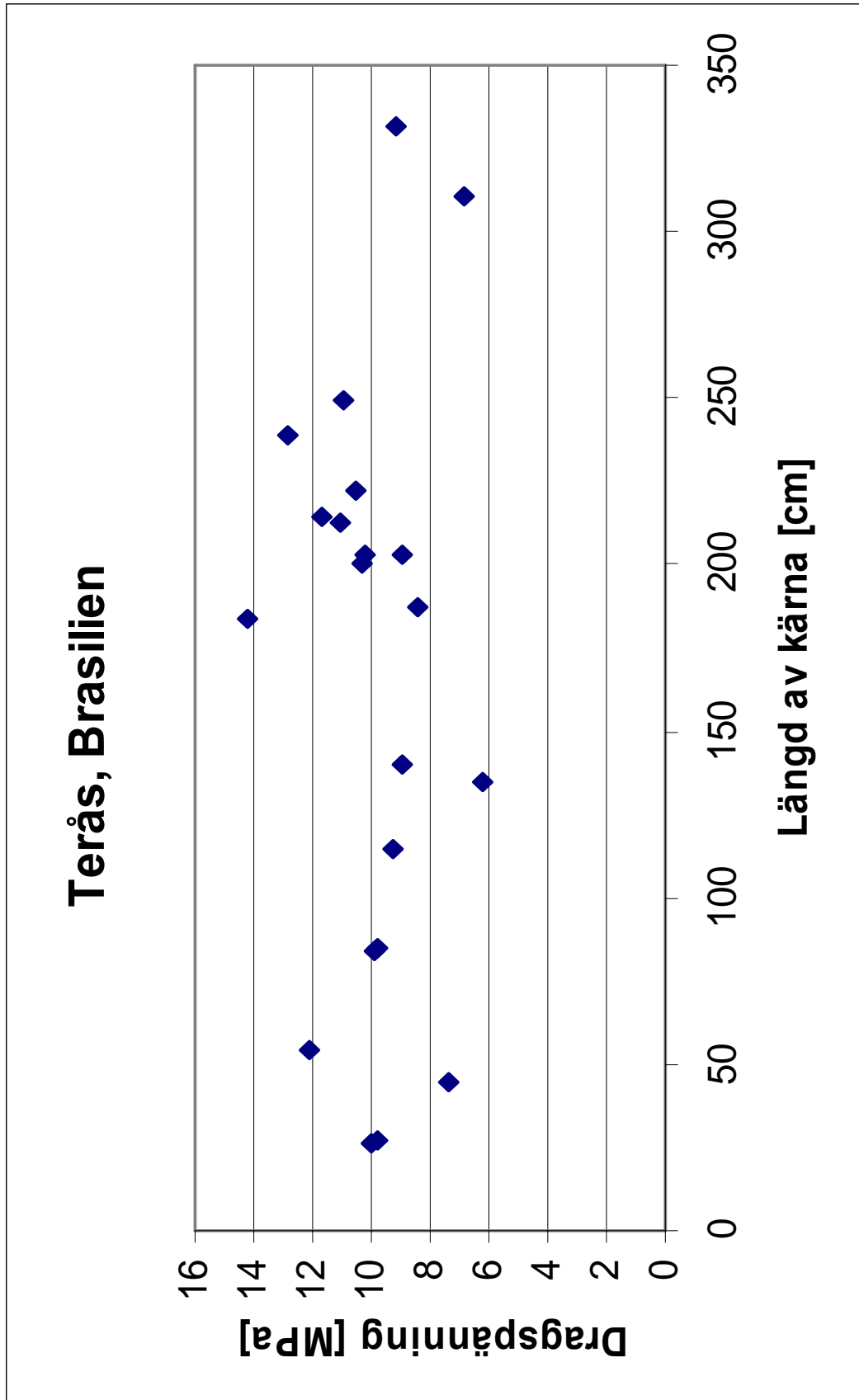


Bilaga 29

Resultat Punktlasttest, Terås

Nummer, undre	Kommentar	Kraft [kN]	I _s diametral [MPa]	I _s axiellt [MPa]	I _{s(50)} [MPa]	σ _c (tryck) [MPa]	σ _t (drag) [MPa]
34,5	Kantbit saknas på provkropp, sprickor	19639,62	9,698578		7,855848	188,5404	6,284678
78	Kantbit saknas på provkropp, sprickor, knäckte i befintlig spricka	12831,48	6,336533		5,132592	123,1822	4,106074
158	kantbit saknas på provkropp, knäckte snett 1/4	8779,95	4,335778		3,51198	84,28752	2,809584
195,5	kantbit saknas på provkropp	12429,27		4,48906232	3,63614	87,26737	2,908912
216	Kantbit på provkropp saknas, delvis FeOH i brott yta	15813,72	7,809244		6,325488	151,8117	5,06039
220	Kantbit på provkropp saknas, knäckte i befintlig spricka	6621,75		2,67390625	2,165864	51,98074	1,732691
239		12331,17		4,78023133	3,871987	92,9277	3,09759
övre							
147	Knäckte i befintlig spricka	13420,08		5,202352	4,213905		
214		16274,79	8,036933		6,509916	156,238	5,207933

Resultat Brasilien dragtest, Terås

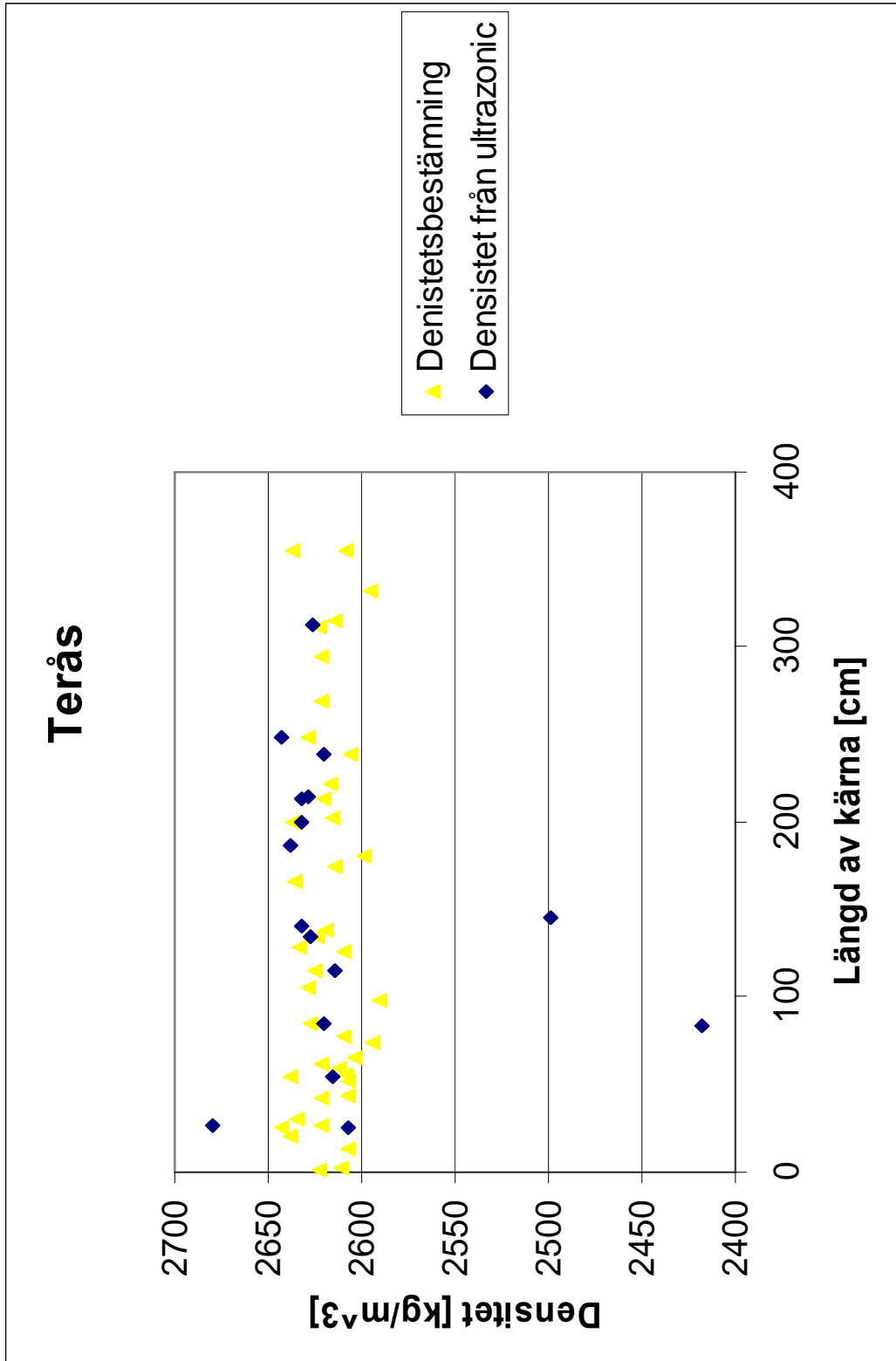


Resultat Brasilien dragtest, Terås

Nummer	Kommentar	Diameter [mm]	Tjocklek [mm]	Kraft [kg]	Kraft [kN]	σ _t [MPa]
övre						
26	två sprickor, 4 bitar, olika sprickriktning	45	24,2	1737	17039,97	9,96171
44,5		45	23,9	1273	12488,13	7,392306
54,5	Inte tillräckligt snabb på att stänga av apparaten	45	25,7	2233	21905,73	12,05883
84,5		45	28	1976	19384,56	9,794411
115		45	27,8	1845	18099,45	9,210877
184	ljud av förknäckning	45	30,2	3092	30332,52	14,2096
187		45	25,6	1561	15313,41	8,462767
200	spricka	45	27	2009	19708,29	10,3268
203		45	27,7	1779	17451,99	8,913445
214		45	28	2356	23112,36	11,67795
311	små sprickor	45	25,6	1256	12321,36	6,809247
		45				
undre						
27	spricka	45	23,5	1662	16304,22	9,815504
84	spricka	45	26,9	1908	18717,48	9,844089
135		45	23,8	1073	10526,13	6,257087
140		45	28,3	1831	17962,11	8,979483
203	spricka	45	26,3	1926	18894,06	10,16366
213		45	26,9	2147	21062,07	11,07718
222	tydligt mönster	45	24,3	1848	18128,88	10,55468
239	tydligt mönster	45	27,2	2521	24731,01	12,86333
249	tydligt mönster	45	28	2208	21660,48	10,94436
332	Kvartsgång i ena kanten	45	26,7	1756	17226,36	9,127728

Resultat Densitetsbestämning, Terås

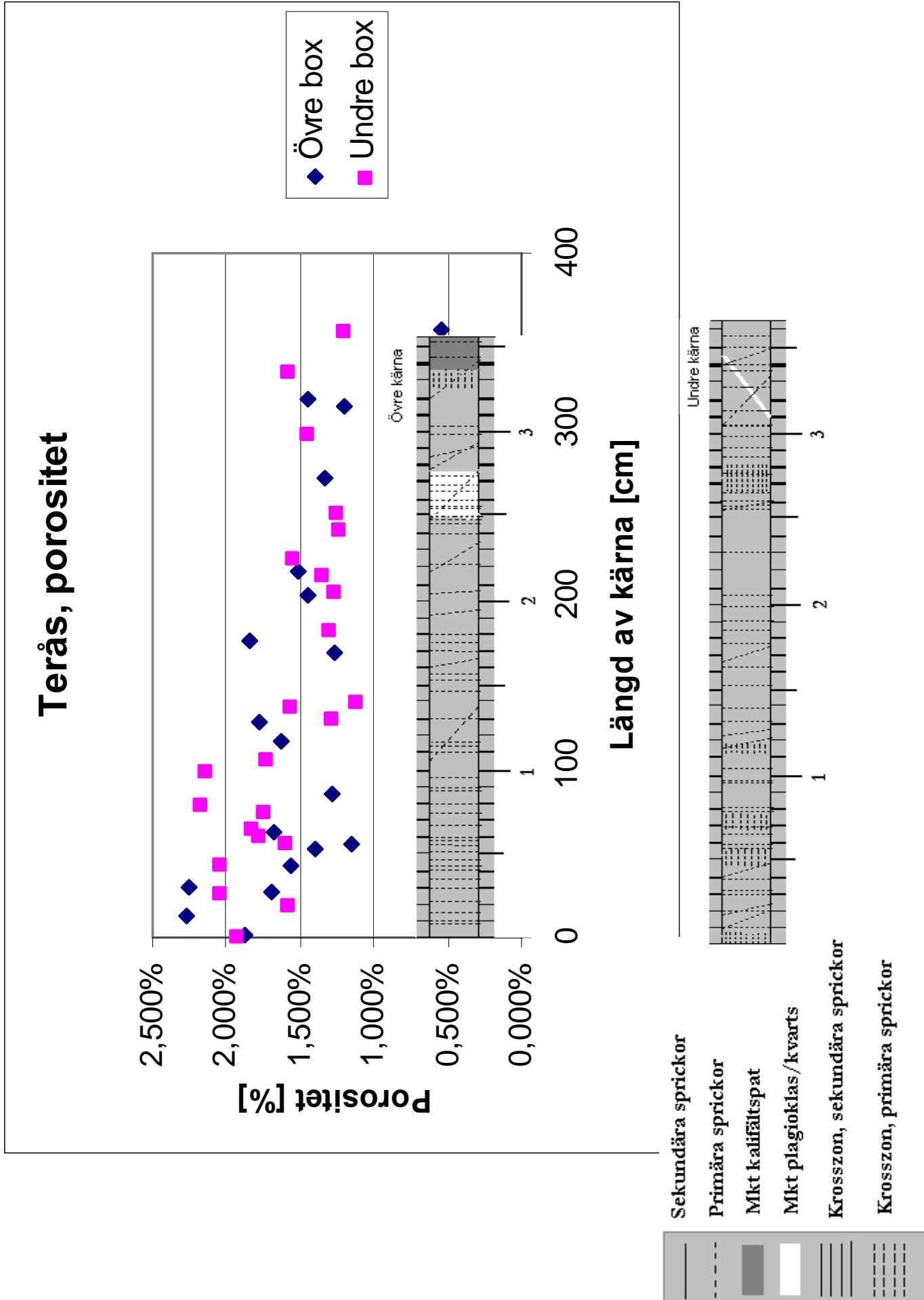
I diagrammet nedan finns resultat från både densitetsbestämning, som är mer noggrant framtaget, men även resultat av densiteten framtagen under de ultrasoniska mätningarna finns representerade, dessa är mindre noggranna. Dock kompletterar dessa resultatet från densitetsbestämningen då det ger oss fler mätpunkter.



Resultat Densitetsbestämning, Terås

Nummer, Terås övre	vikt i luft [g]	vikt i vatten [g]	volym [cm ³]	densitet [kg/m ³]
1	34,1	21,1	13	2623,076923
13	92,94	57,29	35,65	2607,012623
26	79,03	49,13	29,9	2643,143813
30	51,14	31,73	19,41	2634,724369
42	73,31	45,35	27,96	2621,959943
52	95,04	58,58	36,46	2606,692265
54,5	56,73	35,23	21,5	2638,604651
62	107,31	66,37	40,94	2621,152907
84,5	68,61	42,5	26,11	2627,72884
115	74,9	46,37	28,53	2625,306695
126	130,32	80,38	49,94	2609,531438
166	187,55	116,38	71,17	2635,239567
174	153,16	94,57	58,59	2614,097969
200	74,85	46,46	28,39	2636,491722
214	56,95	35,3	21,65	2630,484988
269	145,01	89,7	55,31	2621,768216
311	70,1	43,37	26,73	2622,521511
315	62,89	38,83	24,06	2613,881962
355	235,39	146,11	89,28	2636,536738
Terås undre				
2	35,33	21,8	13,53	2611,234294
20	164,07	101,87	62,2	2637,78135
27	81,98	50,7	31,28	2620,84399
44	83,39	51,4	31,99	2606,75211
56	138,56	85,43	53,13	2607,942782
59,5	160,15	98,84	61,31	2612,135051
65	147,48	90,84	56,64	2603,813559
74	235,32	144,6	90,72	2593,915344
78	168,44	103,9	64,54	2609,854354
98	190,42	116,91	73,51	2590,395865
105	121,3	75,15	46,15	2628,385699
128	224,79	139,41	85,38	2632,81799
135	73,32	45,37	27,95	2623,255814
138	112,64	69,64	43	2619,534884
180,5	230,87	142,04	88,83	2599,009344
203	65,4	40,4	25	2616
213	83,6	51,7	31,9	2620,689655
222	63,77	39,4	24,37	2616,741896
239	66,21	40,8	25,41	2605,66706
249	196,16	121,53	74,63	2628,433606
295	201,96	124,91	77,05	2621,155094
332	76,43	46,98	29,45	2595,24618
355	275,55	169,93	105,62	2608,880894

Resultat Porositetsbestämning, Terås

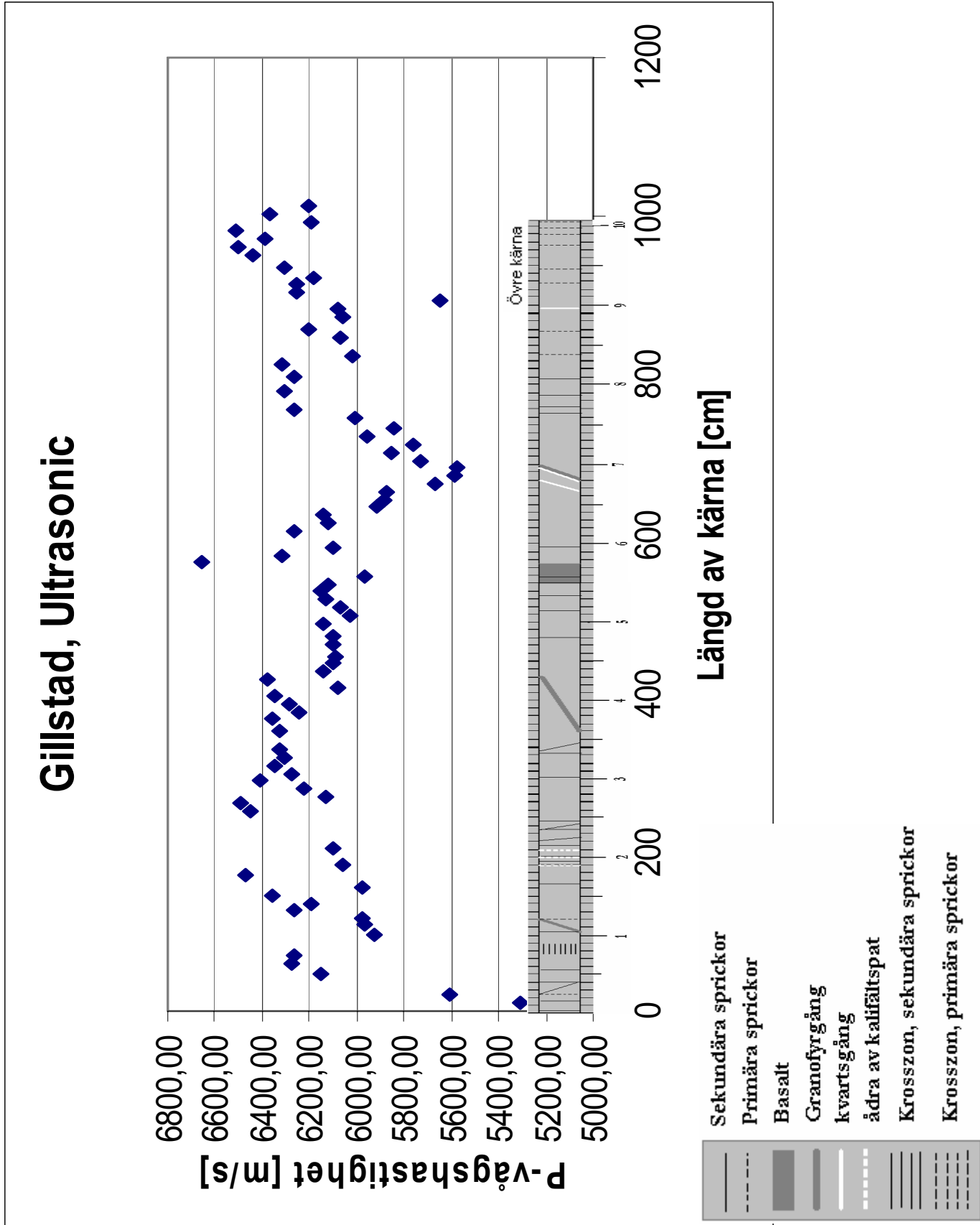


Bilaga 32

Resultat Porositetsbestämning, Terås

nummer	vikt, vattenmättad [g]	vikt efter 1 dygn i ugn [g]	Volym porer [cm ³]	volym sten [cm ³]	Porositet [%]
övre					
1	34,249	34,006	0,243	13	1,869%
13	93,42	92,61	0,81	35,65	2,272%
26	79,323	78,818	0,505	29,9	1,689%
30	51,4	50,963	0,437	19,41	2,251%
42	73,563	73,127	0,436	27,96	1,559%
52	95,36	94,85	0,51	36,46	1,399%
54,5	56,856	56,609	0,247	21,5	1,149%
62	107,68	106,99	0,69	40,94	1,685%
84,5	68,76	68,424	0,336	26,11	1,287%
115	75,134	74,669	0,465	28,53	1,630%
126	130,9	130,01	0,89	49,94	1,782%
166	188,04	187,14	0,9	71,17	1,265%
174	153,98	152,9	1,08	58,59	1,843%
200	75,083	74,672	0,411	28,39	1,448%
214	57,121	56,792	0,329	21,65	1,520%
269	145,5	144,76	0,74	55,31	1,338%
311	70,303	69,983	0,32	26,73	1,197%
315	63,125	62,778	0,347	24,06	1,442%
355	235,63	235,15	0,48	89,28	0,538%
undre					
2	35,488	35,228	0,26	13,53	1,922%
20	164,59	163,61	0,98	62,2	1,576%
27	82,29	81,65	0,64	31,28	2,046%
44	83,77	83,12	0,65	31,99	2,032%
56	138,99	138,14	0,85	53,13	1,600%
59,5	160,75	159,66	1,09	61,31	1,778%
65	148,08	147,05	1,03	56,64	1,819%
74	236,34	234,76	1,58	90,72	1,742%
78	169,24	167,84	1,4	64,54	2,169%
98	191,38	189,81	1,57	73,51	2,136%
105	121,6	120,8	0,8	46,15	1,733%
128	225,36	224,26	1,1	85,38	1,288%
135	73,604	73,167	0,437	27,95	1,564%
138	112,87	112,39	0,48	43	1,116%
180,5	231,61	230,46	1,15	88,83	1,295%
203	65,603	65,285	0,318	25	1,272%
213	83,86	83,43	0,43	31,9	1,348%
222	64,017	63,639	0,378	24,37	1,551%
239	66,391	66,077	0,314	25,41	1,236%
249	196,66	195,73	0,93	74,63	1,246%
295	202,56	201,45	1,11	77,05	1,441%
332	76,777	76,312	0,465	29,45	1,579%
355	276,37	275,1	1,27	105,62	1,202%

Resultat Ultrasonik, Gillstad



Bilaga 33

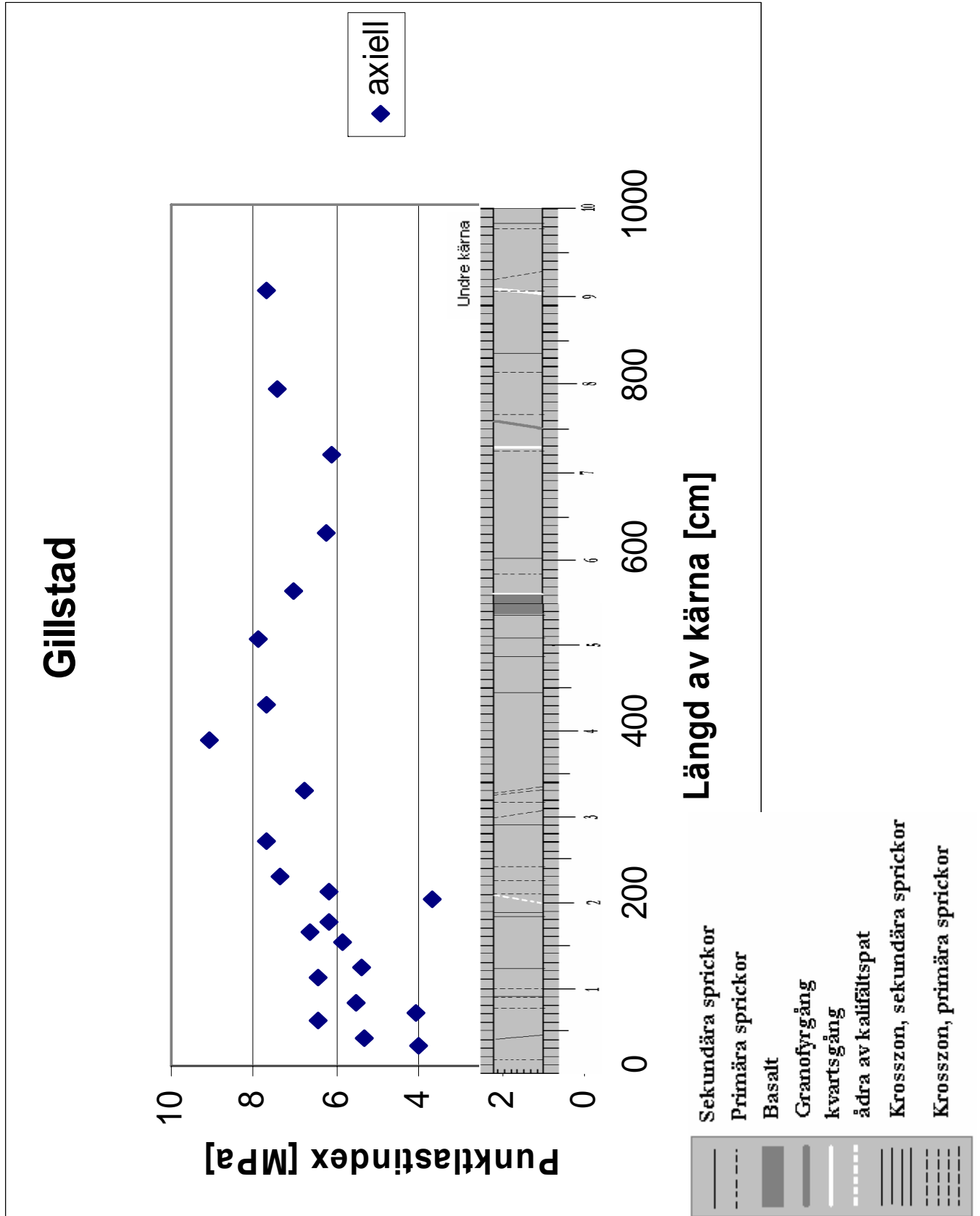
Resultat Ultrasonik, Gillstad

Nummer, övre kärna	Bergart (gnejsig granodiorit)	Längd (cm)	Vikt (g)	Densitet [kg/m ³]	Tid [µs]	E-modul [GPa]	Vp [m/s]
11		9,64	445,1	954,2285	18,1550	26,90	5309,83
21		3,14	146,3	8912,7769	5,6030	279,92	5604,14
46		9,95	445,1	2812,6753	16,1780	106,39	6150,33
60		9,13	420,7	2897,2557	14,5480	114,11	6275,78
69		8,24	381	2907,2532	13,1580	114,01	6262,35
96		7,81	360,4	2901,4750	13,1800	101,88	5925,64
109	Granofyrgång	9,95	450	2843,6394	16,6760	101,24	5966,66
117	Granofyrgång	5,88	270,9	2896,7884	9,8330	103,59	5979,86
126		9,86	458,6	2924,4367	15,7440	114,70	6262,70
136		9,65	444,2	2894,2519	15,5940	110,83	6188,28
146		9,4	438,9	2935,7753	14,7830	118,70	6358,66
156		9,46	434	2884,5873	15,8380	102,91	5972,98
171		9,84	456,7	2918,2400	15,1990	122,32	6474,11
184	ljusare	5,01	228,7	2870,2091	8,2710	105,31	6057,31
206	synlig spricka, ljusare	9,97	453,1	2857,4852	16,3460	106,30	6099,35
252		9,82	444,1	2843,5075	15,2230	118,33	6450,77
262		9,84	446,6	2853,7026	15,1530	120,34	6493,76
270		4,76	214,1	2828,1003	7,7670	106,22	6128,49
279		9,69	439	2848,5630	15,5760	110,25	6221,11
289		9,6	442,5	2898,1919	14,9670	119,23	6414,11
298		7,94	364	2882,4778	12,6470	113,61	6278,17
309		10,11	463,6	2883,2172	15,9230	116,23	6349,31
319		9,55	440,3	2898,8811	15,1410	115,33	6307,38
328		5,91	270,3	2875,7005	9,3400	115,14	6327,62
352	hopläkt spricka fylld med epidot	9,98	461,5	2907,5437	15,7820	116,27	6323,66
367	hopläkt spricka fylld med epidot	10,05	463	2896,6767	15,8080	117,08	6357,54
377	hopläkt spricka fylld med epidot	9,43	433,8	2892,4306	15,1040	112,75	6243,38
387	hopläkt spricka fylld med epidot	9,41	434,1	2900,5827	14,9730	114,56	6284,65
397	hopläkt spricka fylld med epidot	9,53	438,9	2895,7280	15,0100	116,73	6349,10
407	hopläkt spricka fylld med epidot	10,08	465	2900,5310	16,5670	107,38	6084,38
417	Granofyrgång	9,57	446,8	2935,5286	15,0070	119,38	6377,02
427		9,72	450,3	2912,8678	15,8330	109,78	6139,08
437		9,45	435,9	2900,2815	15,5020	107,78	6095,99
447		9,66	442,7	2881,4925	15,8490	107,05	6095,02
462		10,01	452,9	2844,8104	16,4190	105,74	6096,60
472		9,85	449,4	2868,6788	16,1500	106,71	6099,07
488		10,14	457,3	2835,6220	16,5110	106,95	6141,36
498		9,93	449,1	2843,6680	16,4830	103,21	6024,39
508		8,48	388,3	2879,0992	13,9610	106,22	6074,06
519		10,005	465,4	2924,7879	16,3230	109,88	6129,39
528		7,93	360,7	2859,9474	12,8970	108,13	6148,72
537		6,66	302,2	2853,0233	10,8730	107,04	6125,26
547	ena änden basalt	8,78	399,1	2858,0663	14,7140	101,77	5967,11
564	basalt	9,85	468,6	2991,2392	14,8030	132,44	6654,06

Resultat Ultrasonik, Gillstad

Nummer, övre kärna	Bergart (gnejsig granodiorit)	Längd (cm)	Vikt (g)	Densitet [kg/m ³]	Tid [µs]	E-modul [GPa]	Vp [m/s]
573	halva basalt	9,66	454,4	2957,6466	15,2940	117,99	6316,20
583		9,83	459	2935,9203	16,1150	109,24	6099,91
605		9,8	457,3	2934,0007	15,6450	115,12	6263,98
615		9,83	456,2	2918,0105	16,0720	109,16	6116,23
625		9,72	451,9	2923,2178	15,8300	110,21	6140,24
635		9,7	451,6	2927,3004	16,3880	102,56	5918,97
643		4,8	223,9	2932,9047	8,1580	101,53	5883,80
653		9,87	456,1	2905,5477	16,8050	100,23	5873,25
663	kvartsådra	9,58	441	2894,3975	16,9100	92,90	5665,29
673	kvartsådra	9,52	435,1	2873,6722	17,0570	89,52	5581,29
683	Granofyrgång	10,08	467,5	2916,1253	18,0690	90,75	5578,62
693	Granofyrgång	9,56	437,9	2880,0640	16,6720	94,70	5734,17
703		9,66	440,3	2865,8711	16,5090	98,12	5851,35
713		9,58	436,5	2864,8628	16,6140	95,25	5766,22
723		9,86	452	2882,3493	16,5400	102,43	5961,31
733		9,67	439,7	2859,0061	16,5550	97,55	5841,14
747		10,1	459,8	2862,4156	16,8110	103,32	6007,97
757		9,86	444,2	2832,6096	15,7400	111,16	6264,29
781		9,74	446,5	2882,3559	15,4390	114,72	6308,70
797		9,77	445,6	2867,7132	15,5830	112,73	6269,65
815		10,2	466,4	2875,0372	16,1360	114,88	6321,27
825		9,66	439,3	2859,3622	16,0510	103,57	6018,32
847		9,76	454,3	2926,6987	16,0770	107,86	6070,78
857		10,01	465,9	2926,4676	16,1460	112,48	6199,68
874		9,96	462,3	2918,4325	16,4340	107,20	6060,61
884		9,82	454,3	2908,8166	16,1460	107,60	6082,00
894	kvartsådra	9,68	443,7	2882,0344	17,1330	92,00	5649,92
904		9,71	454,9	2945,6544	15,5130	115,41	6259,27
914		9,75	454,7	2932,2799	15,5940	114,63	6252,40
923		6,18	285,1	2900,6400	10,0030	110,72	6178,15
935		10,34	478,9	2912,1208	16,4000	115,76	6304,88
952		9,91	460,1	2919,1988	15,4000	120,88	6435,06
962		9,64	449,4	2931,1708	14,8350	123,77	6498,15
971		7,16	331,5	2911,0898	11,2040	118,89	6390,57
983		10,13	470,5	2920,3525	15,5670	123,66	6507,36
993		6,42	296,9	2907,7714	10,3590	111,68	6197,51
1003		6,67	308	2903,4207	10,4720	117,79	6369,37
1014		7,47	344,7	2901,3877	12,0450	111,59	6201,74

Resultat Punktlasttest, Gillstad

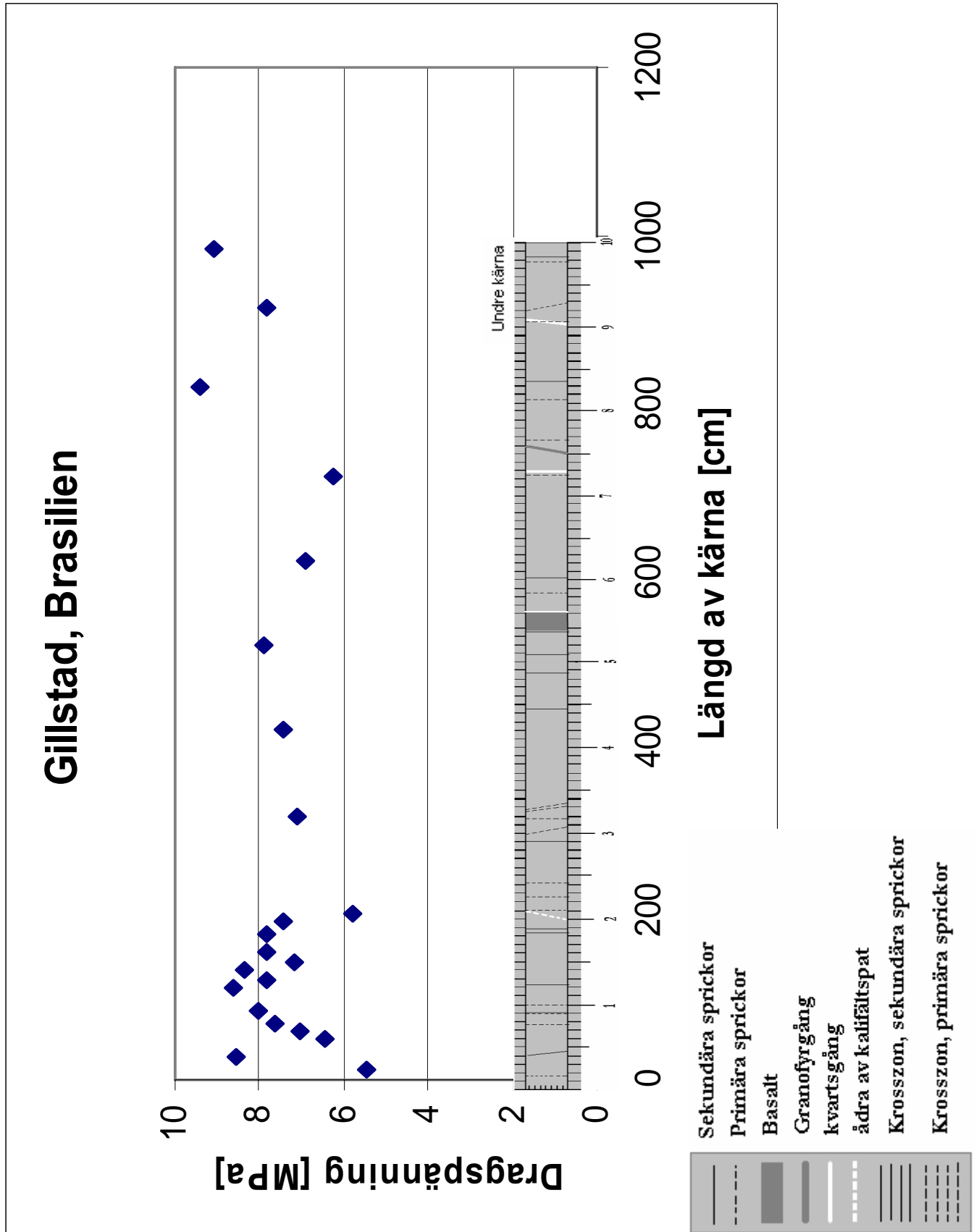


Bilaga 34

Resultat Punklasttest, Gillstad

Nummer, undre kärna	Kommentar	Kraft [kN]	I _s diametral [MPa]	I _s axiellt [MPa]	I _{s(50)} [MPa]	σ _c (tryck) [MPa]	σ _t (drag) [MPa]
22,5		14185,26		4,94908	4,008754	96,21011	3,207004
32,5		16618,14		6,543888	5,300549	127,2132	4,240439
52		21807,63		7,992059	6,473567	155,3656	5,178854
62		14420,7		5,031222	4,07529	97,80696	3,260232
72		17834,58		6,822683	5,526373	132,633	4,421099
103	inslag av annan bergart	19727,91		7,96626	6,452671	154,8641	5,162136
113	inslag av annan bergart	18746,91		6,633457	5,3731	128,9544	4,29848
125,5		6229,35		2,441967	1,977994	47,47185	1,582395
135,5		7131,87		2,687074	2,17653	52,23671	1,741224
145		17903,25		7,196135	5,828869	139,8929	4,663095
155	mörk brottyta	22759,2		8,202926	6,64437	159,4649	5,315496
167,5		20208,6		7,597582	6,154041	147,697	4,923233
192,5		11526,75		4,580359	3,710091	89,04217	2,968072
202,5		20032,02		7,629857	6,180184	148,3244	4,944147
220		24112,98		9,065464	7,343026	176,2326	5,874421
262		25123,41		9,50681	7,700516	184,8124	6,160413
320		21209,22		8,389639	6,795607	163,0946	5,436486
377		27006,93		11,19052	9,064321	217,5437	7,251457
420		23387,04		9,465752	7,667259	184,0142	6,133807
495		24220,89		9,735483	7,885741	189,2578	6,308593
552		22612,05		8,669333	7,02216	168,5318	5,617728
620		20061,45		7,691447	6,230072	149,5217	4,984058
709		19080,45		7,564724	6,127426	147,0582	4,901941
787		24681,96		9,180449	7,436164	178,4679	5,948931
901		24485,76		9,513151	7,705652	184,9357	6,164522

Resultat Brasilien dragtest, Gillstad

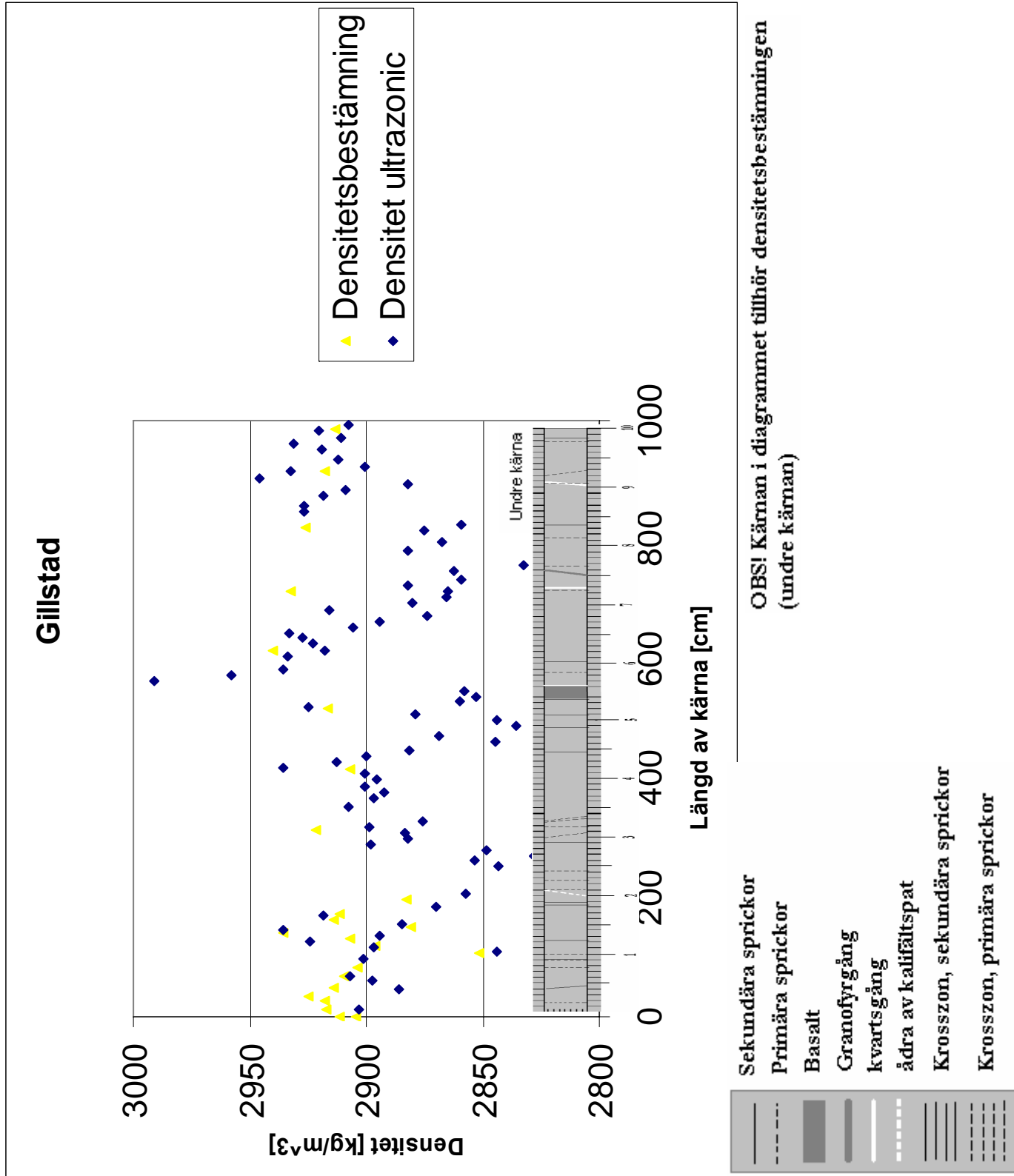


Resultat Brasilien dragtest, Gillstad

Nummer, Undre kärna	Bergart	Diameter [mm]	Tjocklek [mm]	Kraft [kg]	Kraft [kN]	σ_t [MPa]
12,5	Skjuvspricka, drog isär	45	25,7	1011	9917,91	5,459683
27	drog isär	45	25	1540	15107,4	8,549292
47,5	flera små sprickor, drog isär	45	25,1	1163	11409,03	6,430658
57	flera små sprickor, drog isär	45	26,2	1333	13076,73	7,061196
67	2 sprickor, stoppade möjligtvis apparaten försent	45	24,9	1369	13429,89	7,630509
82,5	drog isär	45	26,7	1545	15156,45	8,030945
108	granofyr, drog isär	45	24,8	1544	15146,64	8,640623
118	granofyr, på ena kant	45	27,6	1557	15274,17	7,829409
130,5		45	26,4	1584	15539,04	8,327232
140	drog isär förhand	45	26	1342	13165,02	7,163555
150	drog isär förhand	45	26,1	1467	14391,27	7,800798
172	drog isär förhand	45	24,1	1356	13302,36	7,80894
188		45	23,5	1258	12340,98	7,429545
197,5	Ådra av annan kornstorlek, drog isär	45	26,9	1123	11016,63	5,793979
312		45	26	1332	13066,92	7,110175
415	drog isär	45	25,7	1372	13459,32	7,409185
516		45	25,6	1451	14234,31	7,866415
615		45	27,7	1374	13478,94	6,884246
714	drog isär	45	26,6	1196	11732,76	6,240207
820	drog isär	45	24,6	1665	16333,65	9,393524
915		45	26,3	1478	14499,18	7,799524
985		45	26,4	1722	16892,82	9,052711

Resultat Densitetsbestämning, Gillstad

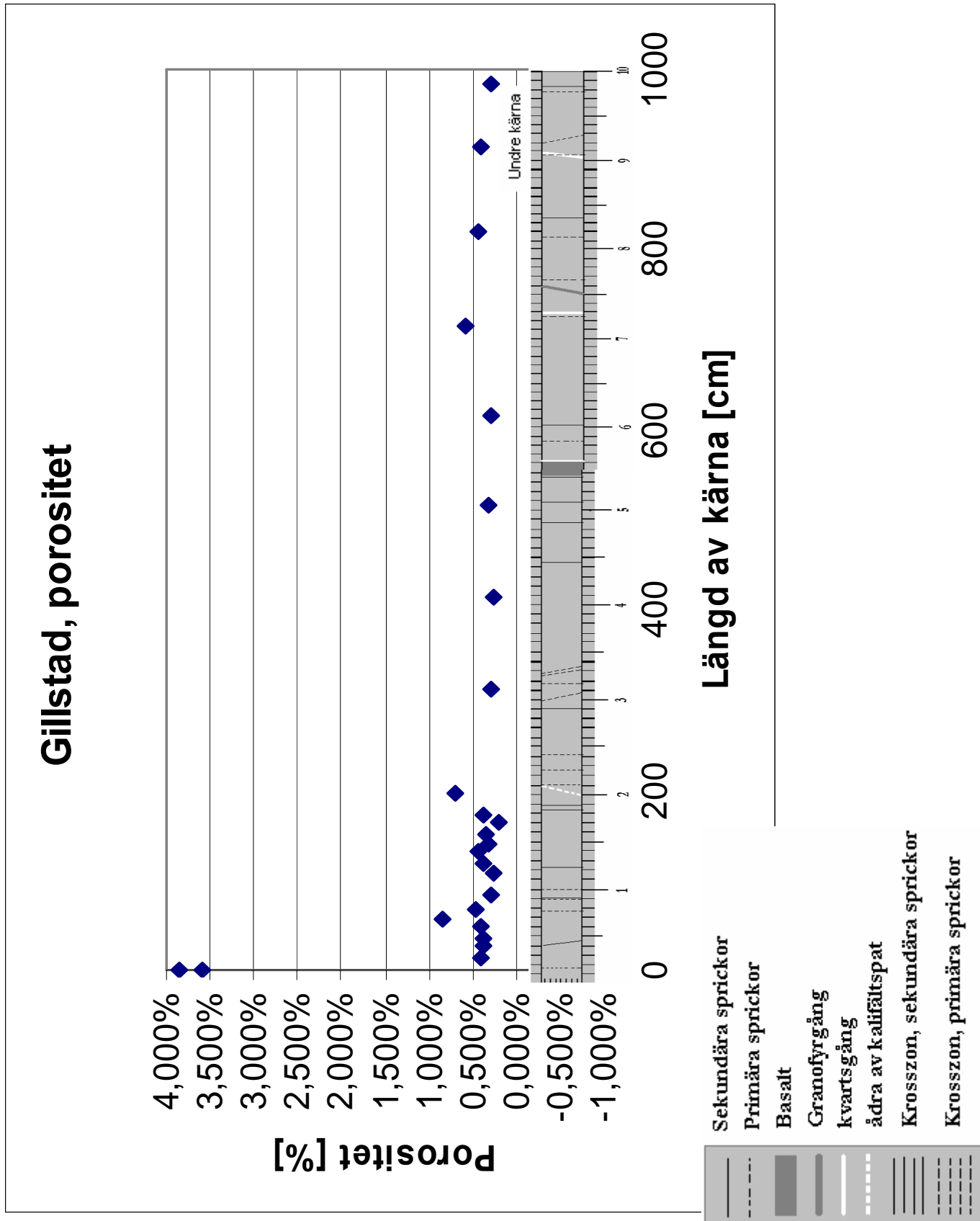
I diagrammet nedan finns resultat från både densitetsbestämning, som är mer noggrant framtaget, men även resultat av densiteten framtagen under de ultrasoniska mätningarna finns representerade, dessa är mindre noggranna. Dock kompletterar dessa resultatet från densitetsbestämningen då det ger oss fler mätpunkter.



Resultat Densitetsbestämning, Gillstad

Nummer, undre kärna	Kommentar	vikt i luft [g]	vikt i vatten [g]	volym [cm ³]	densitet [kg/m ³]
1		39,01	25,61	13,4	2911,19403
1		71,6	46,95	24,65	2904,665314
12,5		77,22	50,75	26,47	2917,264828
27		88,64	58,26	30,38	2917,709019
35		102,01	67,13	34,88	2924,598624
47,5		77,57	50,95	26,62	2913,974455
57		86,91	57,05	29,86	2910,582719
67		72,45	47,55	24,9	2909,638554
82,5		81,17	53,22	27,95	2904,11449
108		78,16	50,75	27,41	2851,514046
118		59,46	38,93	20,53	2896,249391
130,5		87,79	57,59	30,2	2906,953642
140		65,35	43,09	22,26	2935,759209
150		73,49	47,98	25,51	2880,831047
163		162,91	107	55,91	2913,79002
172		100,7	66,11	34,59	2911,246025
197,5		79,97	52,23	27,74	2882,840663
312		68,05	44,76	23,29	2921,854873
415		78,06	51,21	26,85	2907,26257
516		66,59	43,76	22,83	2916,776172
615		67,86	44,78	23,08	2940,207972
714		82,44	54,33	28,11	2932,764141
820		64,75	42,62	22,13	2925,892454
915		70,2	46,14	24,06	2917,705736
985		67,36	44,24	23,12	2913,49481

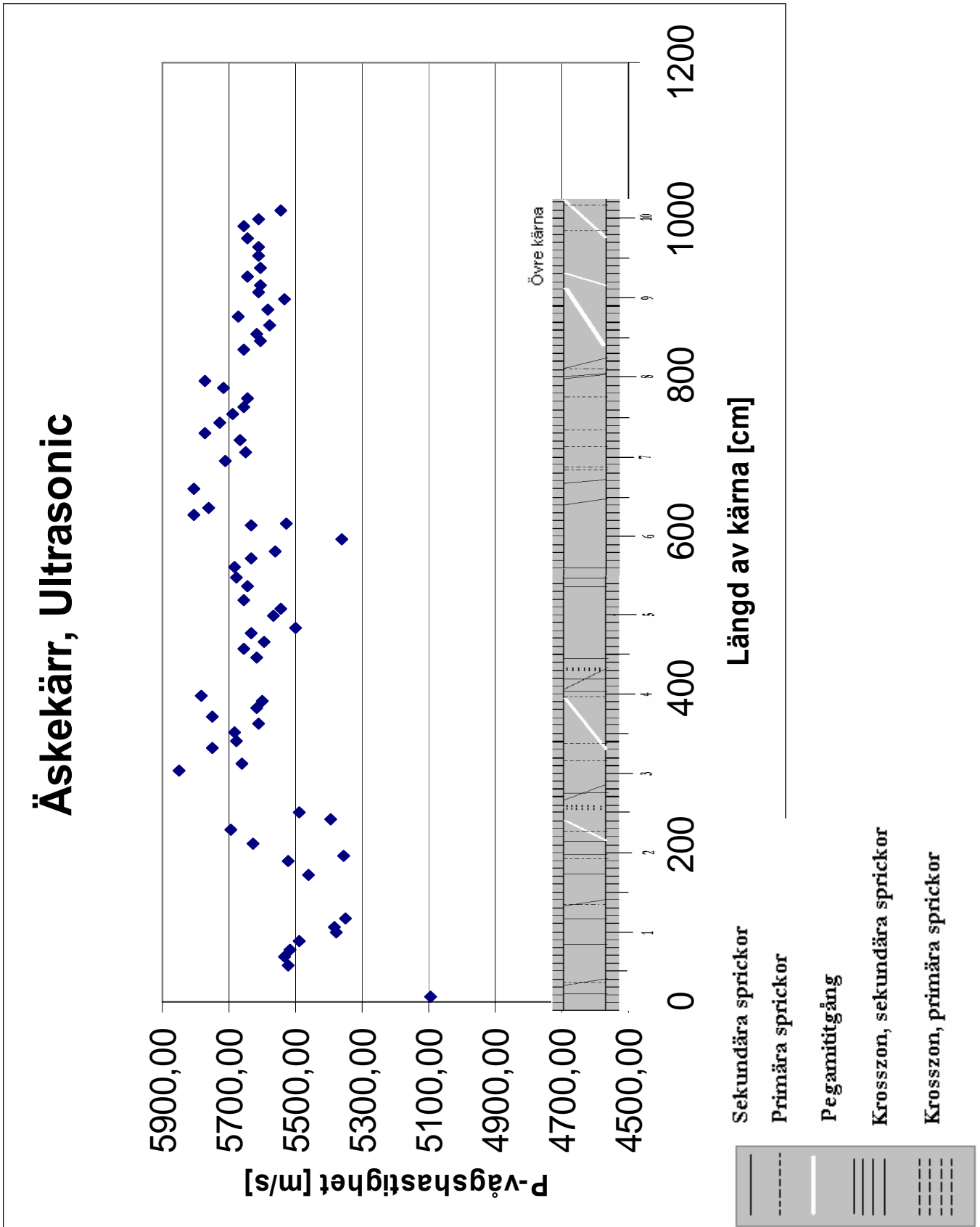
Resultat Porositetsbestämning, Gillstad



Resultat Porositetsbestämning, Gillstad

Nummer, undre kärna	vikt, vattenmättad [g]	vikt efter 1 dygn i ugn [g]	Volym porer [cm ³]	volym sten [cm ³]	Porositet [%]
1	39,395	38,915	0,48	13,4	0,035821
1	72,416	71,458	0,952	24,65	0,038621
12,5	77,163	77,049	0,109	26,47	0,004118
27	88,68	88,57	0,11	30,38	0,003621
35	102,07	101,93	0,13	34,88	0,003727
47,5	77,597	77,49	0,106	26,62	0,003982
57	86,92	86,82	0,1	29,86	0,003349
67	72,474	72,356	0,115	24,9	0,004618
82,5	81,18	81,09	0,08	27,95	0,002862
108	78,182	78,106	0,073	27,41	0,002663
118	59,483	59,406	0,076	20,53	0,003702
130,5	87,82	87,68	0,13	30,2	0,004305
140	65,368	65,293	0,072	22,26	0,003235
150	73,507	73,413	0,088	25,51	0,00345
163	162,91	162,79	0,11	55,91	0,001967
172	100,73	100,59	0,13	34,59	0,003758
197,5	80,03	79,838	0,19	27,74	0,006849
312	68,049	67,978	0,069	23,29	0,002963
415	78,074	77,999	0,071	26,85	0,002644
516	66,61	66,536	0,071	22,83	0,00311
615	67,838	67,77	0,065	23,08	0,002816
714	82,49	82,33	0,16	28,11	0,005692
820	64,771	64,669	0,099	22,13	0,004474
915	70,225	70,126	0,097	24,06	0,004032
985	67,359	67,293	0,064	23,12	0,002768

Resultat Ultrasonik, Äskekärr



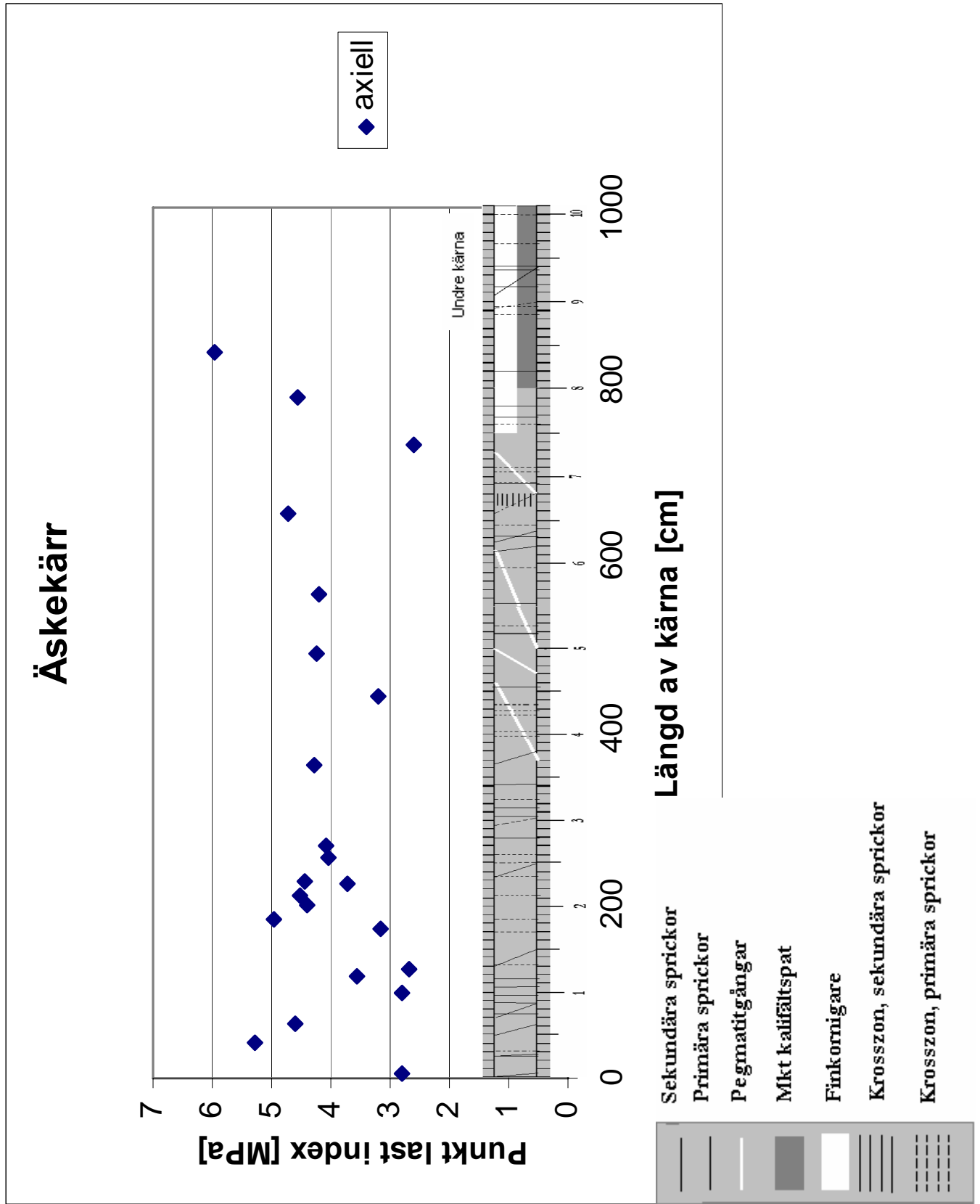
Resultat Ultrasonik, Äskekärr

Nummer, övre kärna	Bergart (gnejsig granodiorit)	Längd [cm]	Vikt [g]	Densitet [kg/m ³]	Tid [µs]	E-modul [GPa]	Vp [m/s]
6		7,1	307,1	2719,6096	13,9390	70,56	5093,62
15,5	tydlig längsgående spricka	6,41	274	2687,6804	14,1090	55,48	4543,20
47		9,75	420,5	2711,7302	17,6580	82,67	5521,58
57		9,82	423,9	2714,1698	17,7440	83,13	5534,27
67		9,36	403,8	2712,5363	16,9640	82,58	5517,57
77		9,12	394,3	2718,4230	16,6190	81,86	5487,69
88		9,64	411,7	2685,2760	17,9170	77,73	5380,37
96	tydlig längsgående spricka	4,94	212,4	2703,4146	9,1750	78,37	5384,20
107	tydlig längsgående spricka	9,49	409,2	2711,1560	17,7440	77,55	5348,29
163		8,04	347,7	2719,1536	14,7150	81,18	5463,81
187		5,1	220,1	2713,5321	9,5210	77,86	5356,58
179	tydlig längsgående spricka	9,99	432,2	2720,2221	18,0900	82,96	5522,39
203		10,13	438,2	2719,8692	18,0040	86,11	5626,53
220		9,61	415,6	2719,1755	16,8790	88,14	5693,47
233	tydlig längsgående spricka	9,48	411,6	2729,9338	17,5710	79,46	5395,25
243	tydlig längsgående spricka	9,93	433	2741,7240	18,0900	82,61	5489,22
295		9,77	423	2722,2681	16,7060	93,11	5848,20
304,5	spricka	9,21	399,2	2725,3105	16,2730	87,30	5659,68
324		9,56	411,7	2707,7469	16,6190	89,60	5752,45
334		8,26	356,8	2716,0008	14,5420	87,63	5680,10
345	stora mörka och rosa fläckar	9,49	410,1	2717,1189	16,7060	87,68	5680,59
355	stora mörka och rosa fläckar	10,1	438,3	2728,5706	18,0040	85,87	5609,86
365		9,41	409,7	2737,5460	16,3590	90,58	5752,19
375		9,53	411,2	2712,9719	16,9650	85,61	5617,45
385		5,48	236,5	2713,5366	9,7810	85,18	5602,70
392		8,46	363,8	2703,8178	14,6280	90,44	5783,43
440		6,42	277,7	2719,7309	11,4260	85,86	5618,76
450		9,45	408,7	2719,3050	16,7060	87,01	5656,65
460		9,68	419,5	2724,8443	17,3110	85,20	5591,82
470		9,75	422	2721,4034	17,3110	86,33	5632,26
478		4,76	205,5	2714,5007	8,6560	82,09	5499,08
493		8,96	386,9	2715,0374	16,1000	84,09	5565,22
503		9,98	431,1	2716,0176	18,0040	83,46	5543,21
513		10,08	434,2	2708,4098	17,8310	86,55	5653,08
532		7,33	315,3	2704,6127	12,9840	86,20	5645,41
542		6,93	300,6	2727,3497	12,2050	87,93	5678,00
555		6,25	271,2	2728,3166	10,9930	88,19	5685,44
566		9,51	412,7	2728,5948	16,8790	86,62	5634,22
576		10,11	434,2	2700,3730	18,1770	83,54	5561,97
590		9,7	416,9	2702,3727	18,0900	77,70	5362,08
609		9,12	392,5	2706,0132	16,1860	85,91	5634,50
610		6,89	295,6	2697,5549	12,4640	82,43	5527,92
622		13,82	597,4	2717,9550	23,8030	91,62	5805,99
632		10,47	451,4	2710,8155	18,1770	89,94	5760,03
655		9,9	424,5	2696,0478	17,0520	90,88	5805,77
692		9,89	428	2721,0252	17,3110	88,81	5713,13
703		9,83	424,3	2713,9673	17,3980	86,64	5650,07

Resultat Ultrasonik, Äskekärr

Nummer, övre kärna	Bergart (gnejsig granodiorit)	Längd [cm]	Vikt [g]	Densitet [kg/m ³]	Tid [µs]	E-modul [GPa]	Vp [m/s]
717		10,1	435,5	2711,1396	17,8310	86,98	5664,29
727		9,19	391,3	2677,1914	15,9270	89,13	5770,08
741		8,03	346,4	2712,3606	14,0220	88,95	5726,72
750		10,05	433,5	2712,1152	17,6580	87,85	5691,47
760		9,89	426,7	2712,7604	17,4850	86,79	5656,28
770		8,63	372,9	2716,8564	15,2870	86,59	5645,32
784		7,37	318,2	2714,6746	12,8880	88,77	5718,50
794		10,07	434,2	2711,0994	17,4480	90,31	5771,44
834		10,05	432,6	2706,4845	17,7700	86,57	5655,60
844	pegmatit	9,74	419,9	2710,6410	17,3680	85,25	5608,01
854	pegmatit	9,66	415,5	2704,4502	17,2070	85,24	5613,99
865	pegmatit	9,62	409,7	2677,7867	17,2470	83,31	5577,78
875	pegmatit	10,52	446,3	2667,4497	18,5540	85,75	5669,94
885	pegmatit	9,73	413,6	2672,7158	17,4280	83,31	5582,97
897	pegmatit	9,91	424,5	2693,3273	17,9110	82,45	5532,91
907	lite pegmatit	9,73	420,7	2718,5966	17,3480	85,52	5608,72
916	pegmatit	10,18	437,9	2704,6574	18,1520	85,07	5608,20
927	pegmatit	9,88	423,5	2695,1414	17,5090	85,82	5642,81
938		13,73	592,3	2712,4159	24,4980	85,20	5604,54
953		10,3	443	2704,2796	18,3630	85,08	5609,11
964		9,39	403,6	2702,5308	16,7310	85,13	5612,34
975		10,29	442	2700,7973	18,2360	85,99	5642,68
990	pegmatit	8,81	376,8	2689,1813	15,5840	85,94	5653,23
1000	pegmatit	9,89	420,5	2673,3437	17,6240	84,19	5611,67
1010	pegmatit	9,8	416,8	2674,1559	17,6750	82,21	5544,55

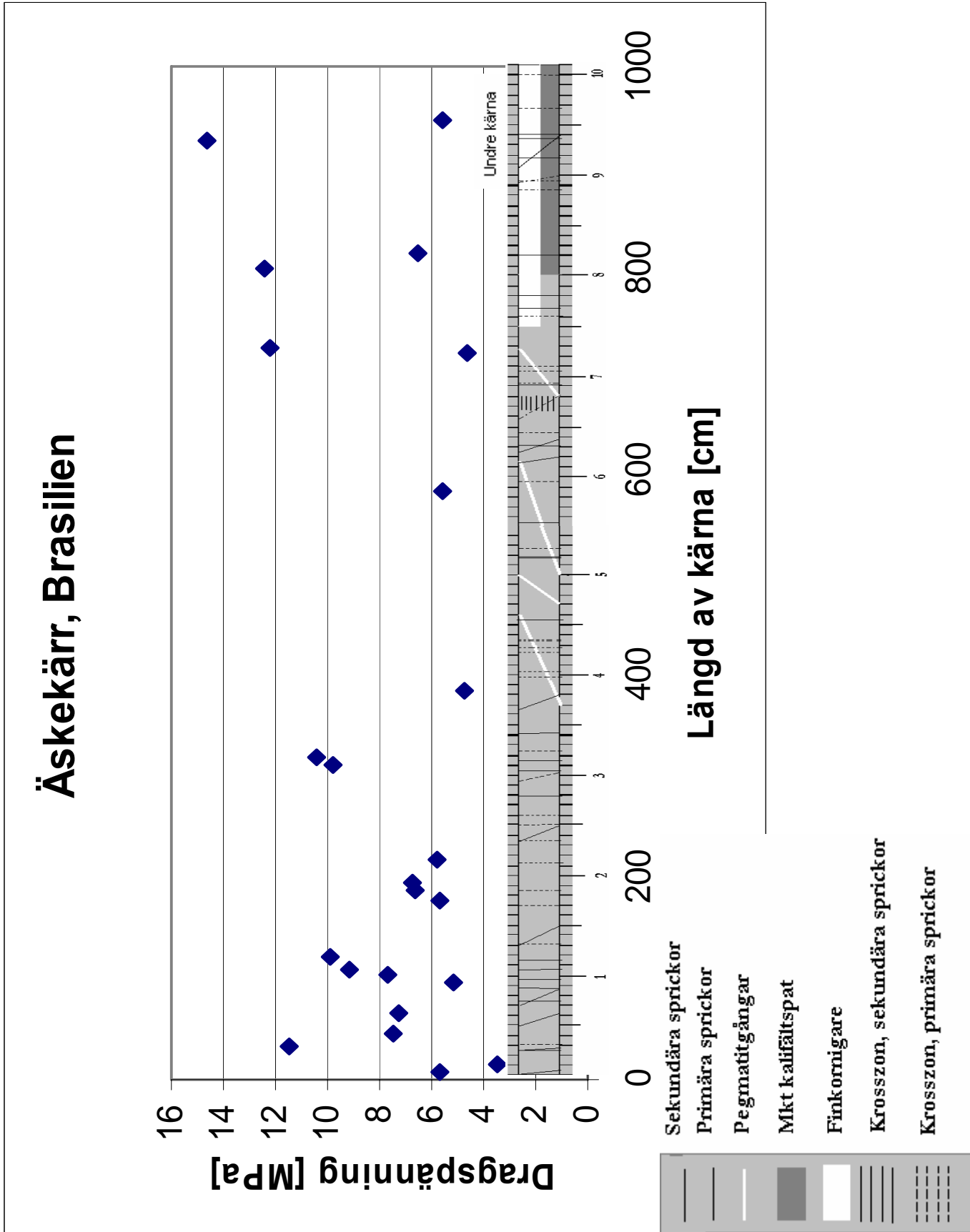
Resultat Punktlasttest, Äskekärr



Resultat Punktlasttest, Äskekärr

Nummer, undre kärna	Kommentar	Kraft [kN]	Is diametral [MPa]	Is axiellt [MPa]	Is(50) [MPa]	σ_c (tryck) [MPa]	σ_t (drag) [MPa]
6		8946,72	4,41813333	3,468235	2,80927	67,42248	2,247416
42		16431,75	8,11444444	6,529448	5,288853	126,9325	4,231082
63		14813,1	7,31511111	5,691769	4,610333	110,648	3,688266
98		8730,9	4,31155556	3,44583	2,791123	66,98694	2,232898
116		11575,8	5,71644444	4,389857	3,555784	85,33881	2,844627
126		8122,68	4,0112	3,318399	2,687903	64,50968	2,150323
172		9986,58	4,93164444	3,923656	3,178162	76,27588	2,542529
182		15097,59	7,4556	6,124862	4,961138	119,0673	3,968911
200		14302,98	7,0632	5,412311	4,383972	105,2153	3,507178
209		14783,67	7,30057778	5,582098	4,521499	108,516	3,617199
223		12596,04	6,22026667	4,606518	3,73128	89,55071	2,985024
227		13900,77	6,86457778	5,486226	4,443843	106,6522	3,555075
253		12968,82	6,40435556	4,983125	4,036331	96,87194	3,229065
266		12703,95	6,27355556	5,013877	4,06124	97,46976	3,248992
440		10084,68	4,98008889	3,926822	3,180726	76,33743	2,544581
489		13439,7	6,63688889	5,256684	4,257914	102,1899	3,406331
360		13547,61	6,69017778	5,287036	4,2825	102,78	3,426
555		12233,07	6,04102222	5,17959	4,195468	100,6912	3,356374
648		14891,58	7,35386667	5,850796	4,739145	113,7395	3,791316
727		8328,69	4,11293333	3,228653	2,615209	62,76501	2,092167
782		14567,85	7,194	5,64729	4,574305	109,7833	3,659444
835		18707,67	9,23835556	7,333593	5,940211	142,5651	4,752169

Resultat Brasilien dragtest, Äskekärr



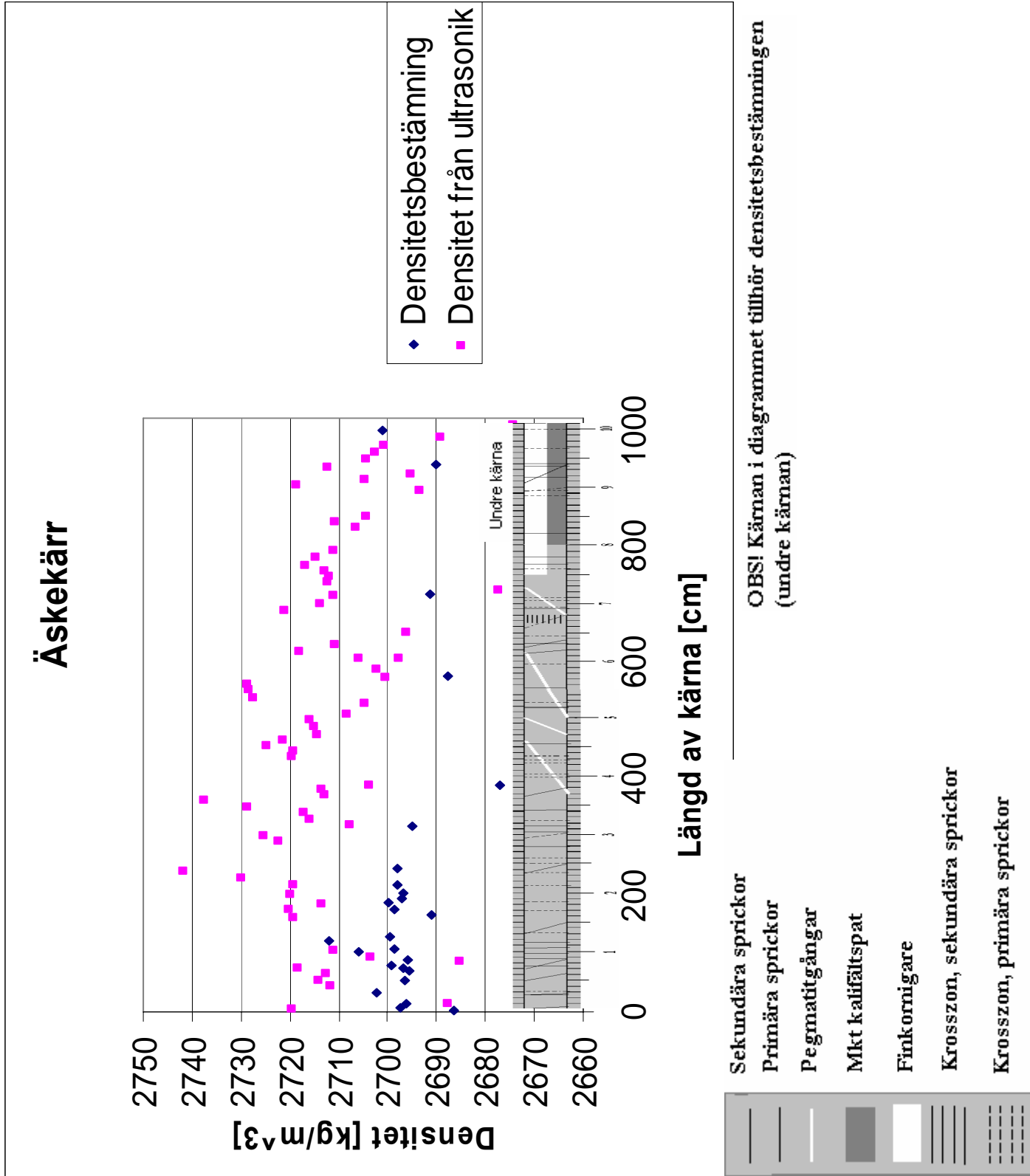
Bilaga 40

Resultat Brasilien dragtest, Äskekärr

Nummer, undre kärna	Bergart	Diameter [mm]	Tjocklek [mm]	Kraft [kg]	Kraft [kN]	σ_t [MPa]
8	drog isär	45	23	950	9319,5	5,732515
14	tydlig befintlig spricka	45	24	604	5925,24	3,492811
33		45	25	2058	20188,98	11,42496
45		45	21,3	1150	11281,5	7,493206
66		45	24,4	1274	12497,94	7,246512
95	tydlig befintlig spricka	45	25	920	9025,2	5,107369
108	drog isär förhand	45	24,9	1636	16049,16	9,118709
122		45	26,9	1918	18815,58	9,895682
176	drog isär förhand	45	26,2	1081	10604,61	5,726296
187	drog isär förhand	45	27,4	1313	12880,53	6,650642
195	drog isär förhand	45	26,6	1284	12596,04	6,699352
104		45	24,2	1349	13233,69	7,736526
218	drog isär förhand	45	25,4	1056	10359,36	5,770051
311		45	23,5	1649	16176,69	9,738728
319	drog isär förhand	45	26,6	1997	19590,57	10,41948
385	befintlig spricka, pegmatit	45	24,7	835	8191,35	4,691794
485	pegmatit	45	22,7	389	3816,09	2,378336
581	lite pegmatit, drog isär	45	24,6	998	9790,38	5,630473
717	drog isär förhand	45	26,5	878	8613,18	4,598308
723		45	24,7	2180	21385,8	12,24923
801		45	25,6	2299	22553,19	12,46374
816	drog isär förhand	45	24,2	1135	11134,35	6,509235
926	sprickor	45	25,5	2691	26398,71	14,64613
947	brott i befintlig spricka, befintlig spricka i kant	45	26,4	1060	10398,6	5,572517

Resultat Densitetsbestämning, Äskekärr

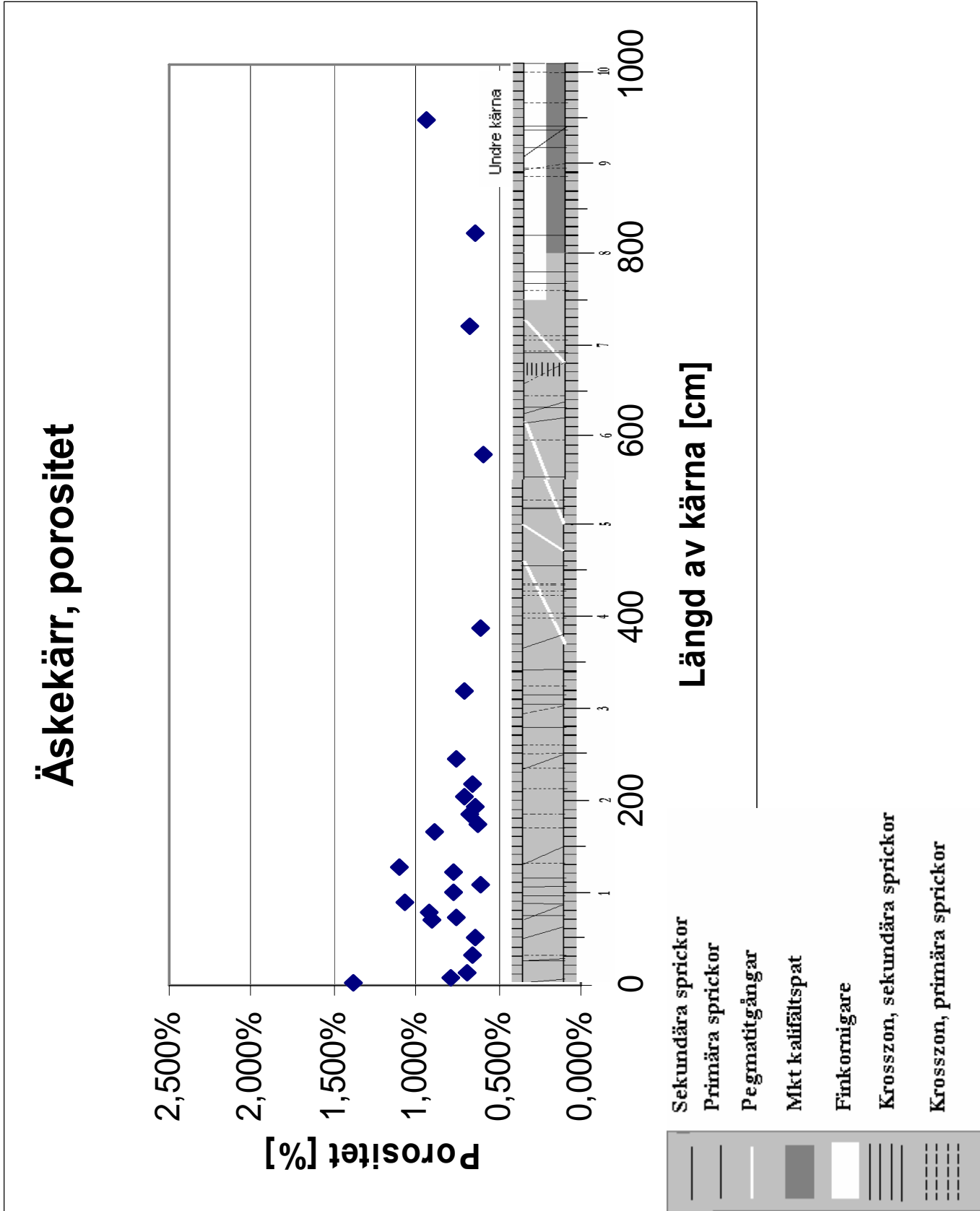
I diagrammet nedan finns resultat från både densitetsbestämning, som är mer noggrant framtaget, men även resultat av densiteten framtagen under de ultrasoniska mätningarna finns representerade, dessa är mindre noggranna. Dock kompletterar dessa resultatet från densitetsbestämningen då det ger oss fler mätpunkter.



Resultat Densitetsbestämning, Äskekärr

Nummer, undre kärna	vikt i luft [g]	vikt i vatten [g]	volym [cm ³]	densitet [kg/m ³]
3	72,13	45,28	26,85	2686,405959
8	76,85	48,36	28,49	2697,437697
14	113,32	71,29	42,03	2696,169403
33	79,45	50,05	29,4	2702,380952
53	378,66	238,24	140,42	2696,624412
70	163,97	103,14	60,83	2695,544961
75	201,82	126,98	74,84	2696,686264
80	132,61	83,48	49,13	2699,165479
90	258,73	162,76	95,97	2695,94665
102	61,4	38,71	22,69	2706,037902
108	77,91	49,04	28,87	2698,649117
122	72,19	45,57	26,62	2711,870774
128	79,12	49,81	29,31	2699,419993
166	60,6	38,08	22,52	2690,941385
176	70,57	44,42	26,15	2698,661568
187	63,74	40,13	23,61	2699,703515
195	62,76	39,49	23,27	2697,034809
204	75	47,19	27,81	2696,871629
218	70,69	44,49	26,2	2698,091603
246	85,01	53,5	31,51	2697,873691
319	62,47	39,29	23,18	2694,995686
389	174,62	109,39	65,23	2676,989115
576	179,88	112,95	66,93	2687,584043
717	57,3	36,01	21,29	2691,404415
816	77,74	48,62	29,12	2669,642857
940	91,22	57,31	33,91	2690,061929
1000	192,47	121,21	71,26	2700,954252

Resultat Porositetsbestämning, Äskekärr

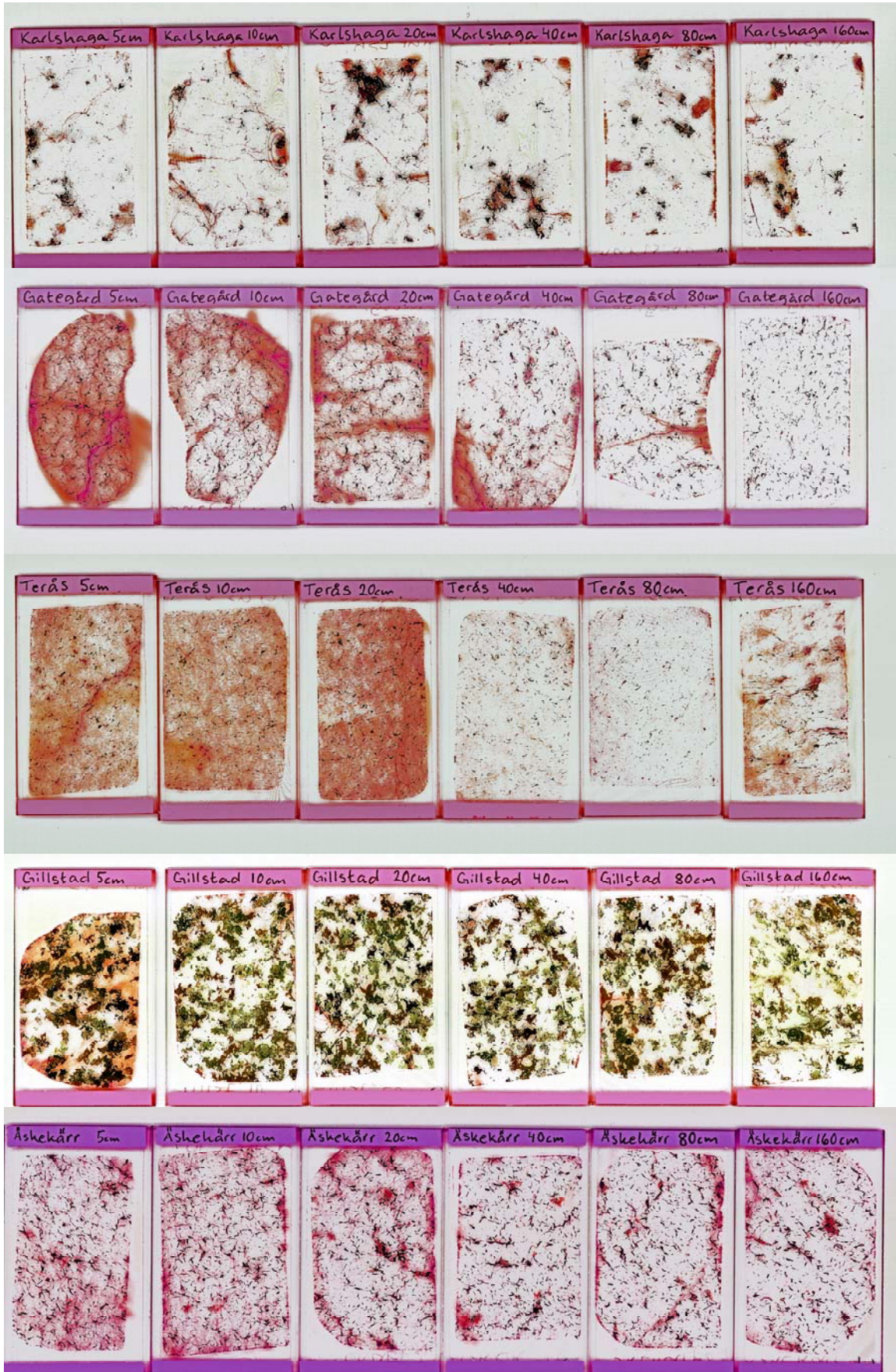


Bilaga 42

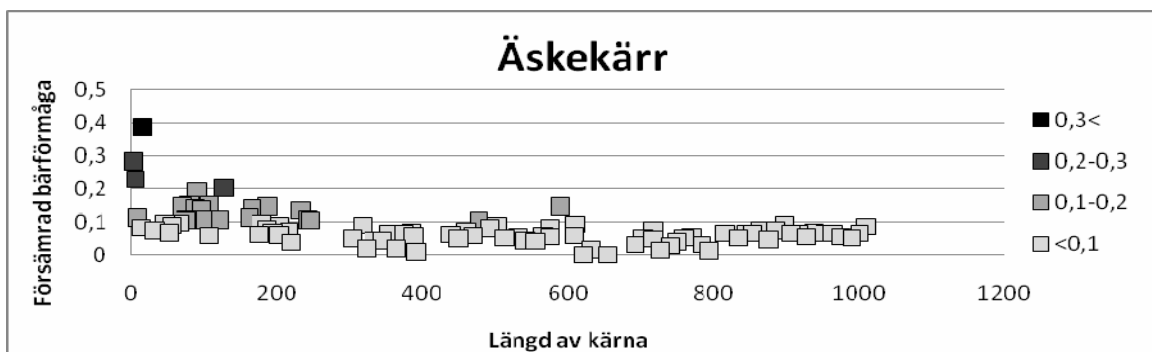
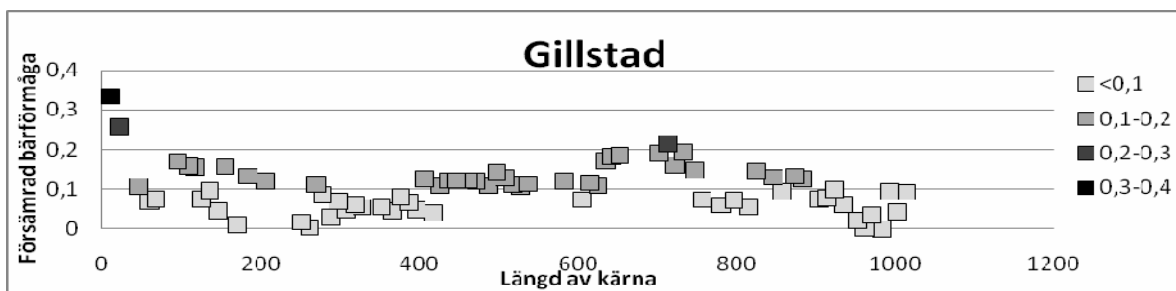
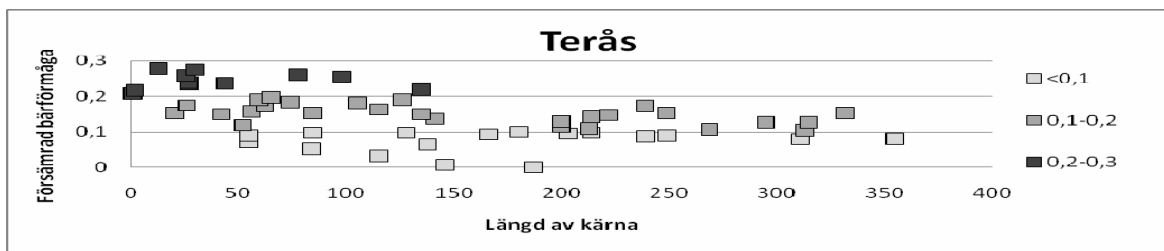
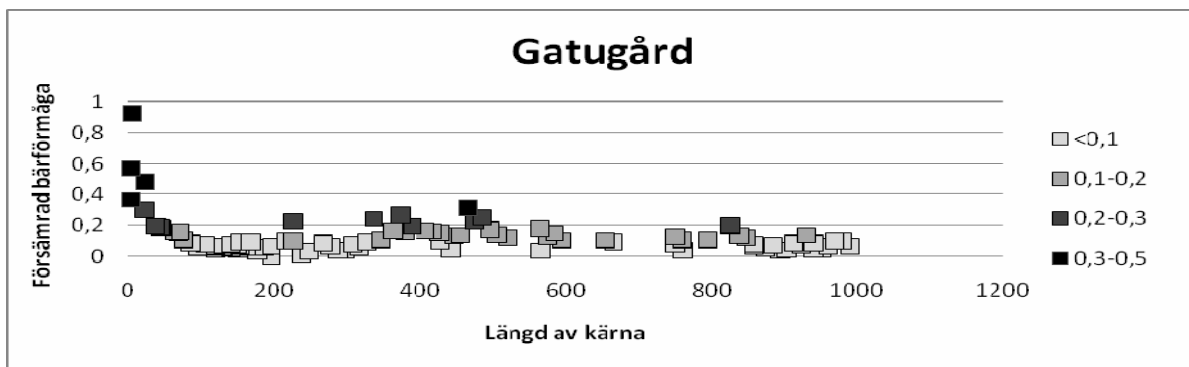
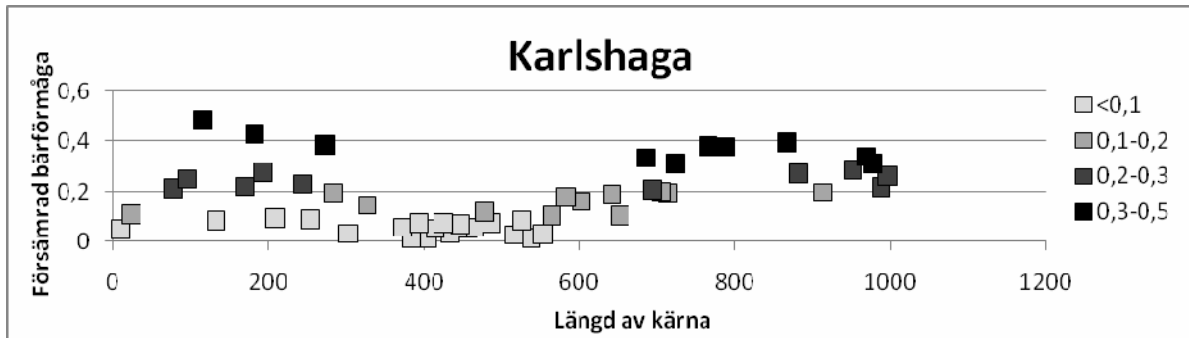
Resultat Porositetsbestämning, Äskekärr

Nummer, undre kärna	vikt, vattenmättad [g]	vikt efter 1 dygn i ugn [g]	Volym porer [cm ³]	volym sten [cm ³]	Porositet [%]
3	72,335	71,96	0,373	26,85	0,013892
8	76,931	76,702	0,225	28,49	0,007898
14	113,44	113,15	0,29	42,03	0,0069
33	79,514	79,317	0,195	29,4	0,006633
53	378,94	378,03	0,9	140,42	0,006409
70	164,26	163,7	0,55	60,83	0,009042
75	202,09	201,52	0,57	74,84	0,007616
80	132,86	132,41	0,45	49,13	0,009159
90	259,35	258,32	1,02	95,97	0,010628
102	61,469	61,291	0,175	22,69	0,007713
108	77,962	77,784	0,177	28,87	0,006131
122	72,261	72,055	0,204	26,62	0,007663
128	79,247	78,925	0,321	29,31	0,010952
166	60,701	60,498	0,199	22,52	0,008837
176	70,606	70,443	0,163	26,15	0,006233
187	63,782	63,62	0,159	23,61	0,006734
195	62,808	62,655	0,151	23,27	0,006489
204	75,065	74,866	0,197	27,81	0,007084
218	70,738	70,563	0,173	26,2	0,006603
246	85,09	84,85	0,24	31,51	0,007617
319	62,526	62,36	0,165	23,18	0,007118
389	174,75	174,34	0,4	65,23	0,006132
576	179,97	179,57	0,4	66,93	0,005976
717	57,327	57,182	0,143	21,29	0,006717
816	77,797	77,611	0,185	29,12	0,006353
940	91,37	91,05	0,32	33,91	0,009437

Bilder på tunnslip från alla fem täkter



Resultat Mikrospricksteori



Determinationskoefficienter

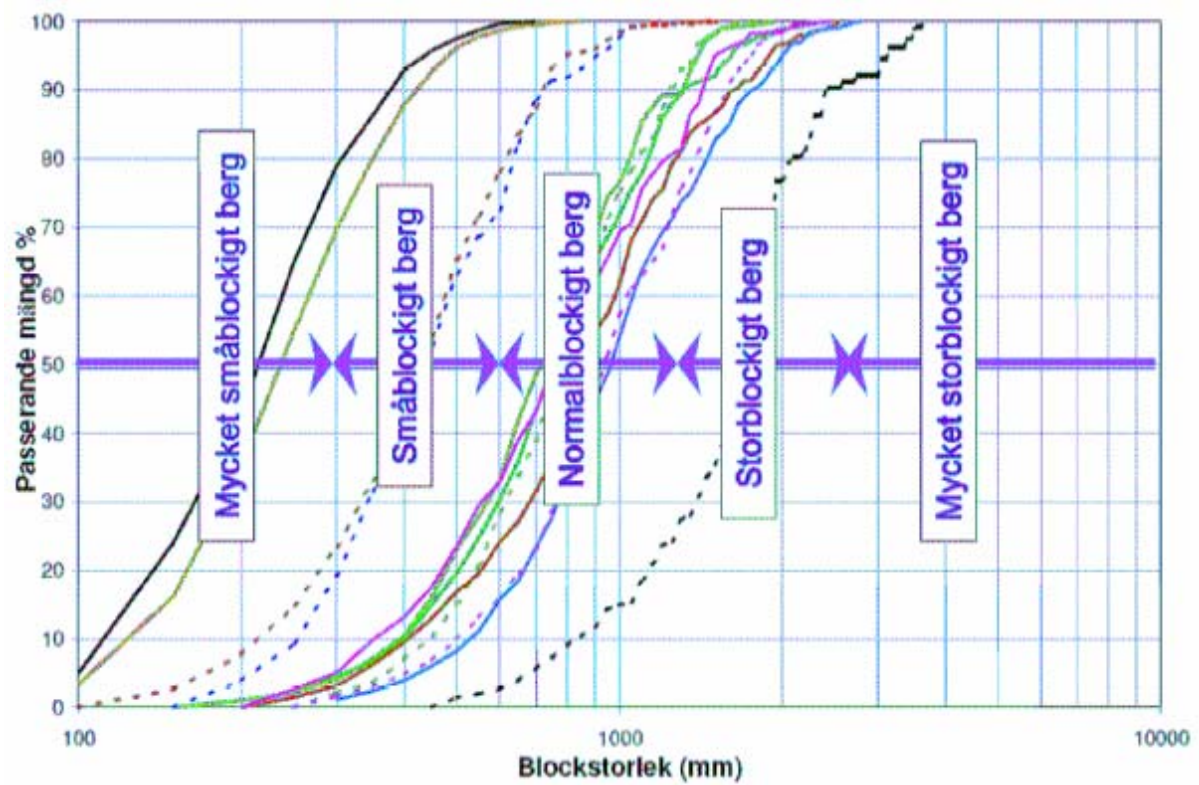
Trendlinjerna i Excel är baserade på linjär regression. Termen regression kommer från sambandet mellan en linjär ekvation, framtagen med hjälp av minsta kvadrat metoden och korrelationskoefficienten. Determinationskoefficienten (R^2) är en koefficient som anger hur stor del av variationerna i den beroende variabeln (y) som kan förklaras av variationer i den oberoende variabeln (x) under förutsättning att sambandet mellan x och y är linjärt.

Vid enkel linjär regression kan determinationskoefficienten även räknas fram genom att kvadrera korrelationskoefficienten (r).

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

Determinationskoefficienten (R^2) kan anta ett värde mellan 0 och 1. Ett värde på 1 innebär perfekt korrelation mellan parametrarna och ett värde på 0 medför att det inte finns någon korrelation överhuvudtaget [3].

Blockstorleksfördelning



Källa: [9]