© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

VIBRATIONSANALYS OCH EXAKTA INTERVALLTIDER ELIMINERAR VIBRATIONSPROBLEM ?

Jan-Olov Bergling Nitro Consult AB, Göteborg
Rolf Ekeroth - " - , - " -
Björn A Jonsson - " - , Stockholm

INLEDNING

Nitro Consult har sedan i början av 70-talet bedrivit konsultverksamhet där en bit av problemlösningen varit att reducera omgivningsstörningar och skaderisker. Detta speciellt i samband med försiktig sprängning i närheten av bebyggelse och känslig utrustning.

Försiktig sprängning har blivit ett begrepp som i sprängarkretsar oftast förknippas med kostsamma och komplicerade åtgärder motiverade av hänsyn till närmiljön.

Under 1980-talet har vibrationsstörningar från bergtäkter uppmärksammats alltmer bl.a. beroende på att man i storstadsområdena tillåter nybyggnad i närheten av redan etablerade täkter.

I Naturvårdsverkets "Branschfakta" rekommenderas vid nyetablering ett skyddsavstånd på mellan 300 - 700 meter, ett krav som väldigt ofta är svårt att uppnå.

För att klara de vibrationsrestriktioner som ställs i täkttillstånden - i bästa fall baserade på Svensk Standard SS 460 4866 - måste modern sprängteknik användas.

Länsstyrelserna begränsar i många fall vibrationernas gränsvärden till 4-8 mm/s och riktvärden till 2-4 mm/s med motiveringen att minska störningarna för de boende.

Här kan påpekas att den s.k. komfortnormen SS 460 4861 ej är tillämplig på sprängningsarbeten.

Med introduktionen av NONEL UNIDET öppnades helt nya möjligheter att spränga med "låga" vibrationer genom att skapa unika intervalltider för varje borrhål. För att nå bästa resultat är det nödvändigt att genomföra provsprängning med enkelskott och efterföljande vibrationsanalys.

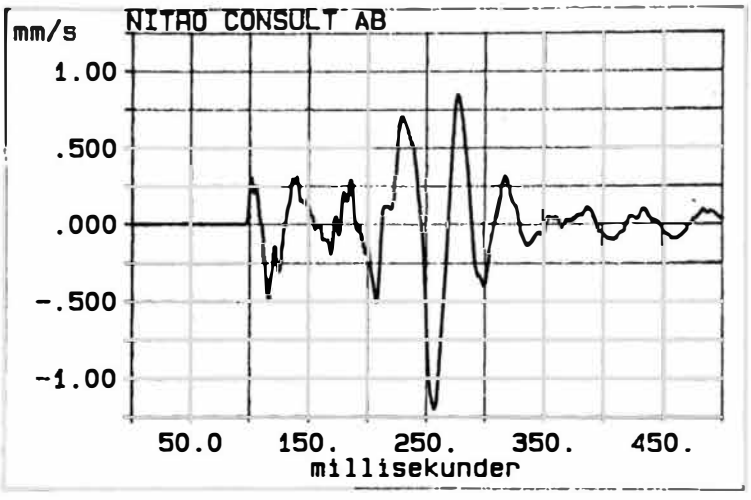
© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

PROVSPRÄNGNINGAR OCH ANALYSER

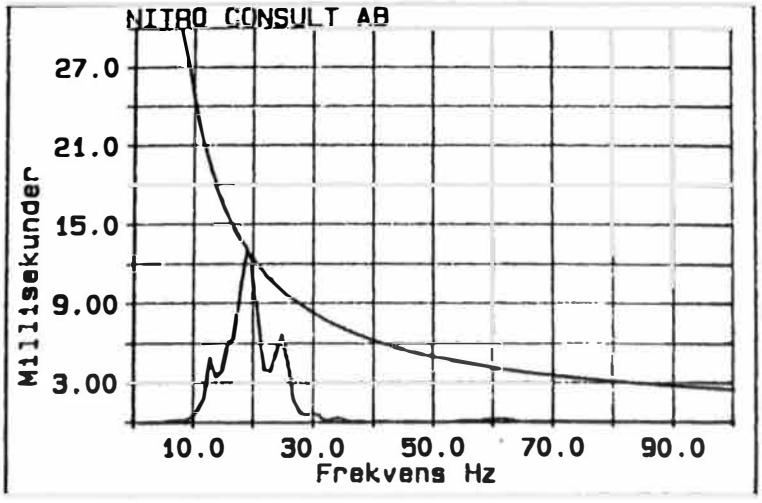
Under 1989 påbörjade vi fältprov vid Angeredverken i Göteborg. Proven inleddes med ett antal "enkelskott", vilket innebar att man kunde göra ingående analyser av ett ostört vibrationsförlopp från dessa. Totalt har mer än 600 registreringar analyserats, allt från enstaka skott till salvor med flera borrhålsladdningar och med varierande fördröjningstider mellan laddningarna.

Parallellt med fältförsöken gjordes syntetiska prov med datasimuleringar av vibrationsförlopp för att testa möjligheterna till vibrationsutsläckning genom interferens.

Genom frekvensanalyser av enkelskotten har vi fått fram de energimässigt dominerande frekvenserna. Med kännedom om dessa kan man teoretiskt bestämma den minsta erforderliga intervalltiden för att undvika samverkan mellan laddningarna. Detta kräver provsprängning av enkelskott med känd laddningsvikt, där hela vibrationsförloppet registreras längs en mätlinje som väl täcker det avsedda undersökningsområdet.



Vibrationsförlopp från enkelskott



Frekvensanalys av enkelskott

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Den framtagna principen för bestämning av minsta fördröjningstid tillämpades i samband med att tändplaner för NONEL UNIDET konstruerades för produktionssprängningar i bl.a. Angered och Jönköping.

Trots 15-40 % reducering av vibrationsnivån på avstånd över 400 meter då optimerade tändplaner användes visade det sig att ytterligare åtgärder måste vidtagas i Jönköpingstäkten för att reducera nivåerna i samband med nybyggnation på industrimark. Beroende på dessa hårda krav inleddes förnyade praktiska fältförsök för att "tvinga" de dominerade vibrationsvågorna att gå i motfas så att en viss utsläckning erhålles. Detta kräver dock ett tändsystem med högre precision. Nitro Nobels elektroniksprängkapsel, där varje intervalltid kan väljas med 1 millisekunds exakthet, uppfyller dessa krav.

Med hjälp av analyser från sprängda enkelskott har information om markstötvågornas frekvensinnehåll (ESD = energitäthetspektrum), ingående vågtyper, utbredningshastigheter etc. erhållits.

Vid vibrationsreducering strävar man efter att finna lämpliga intervalltider så att risken för samverkan mellan olika borrhålsladdningar blir så liten som möjlig. Intervalltiderna bör helst väljas så att de olika markstötvågorna motverkar varandra.

Att få samtliga vågor i motfas är naturligtvis omöjligt. Av största vikt är dock att de dominerande vågorna i markstötförloppet motverkas. Intervalltiden skall även väljas så att den ej skapar vågor med olämpliga frekvenser som exempelvis kan medföra att byggnadskonstruktioner kommer i egensvängning. En fördelning av stötvågsenergin inom ett brett frekvensområde verkar vara att föredra.

FULLSKALEPROV

Fullskaleprov med syfte att reducera vibrationerna ytterligare med hjälp av elektroniksprängkapselns exakta tider inleddes under 1992 vid Bjursells täkt i Jönköping. Den erhållna reduceringen, tabell 1 i bilaga 1, i jämförelse med optimerade NONEL UNIDET salvor, blev större än de förväntningar som vi hade ställt på försöken.

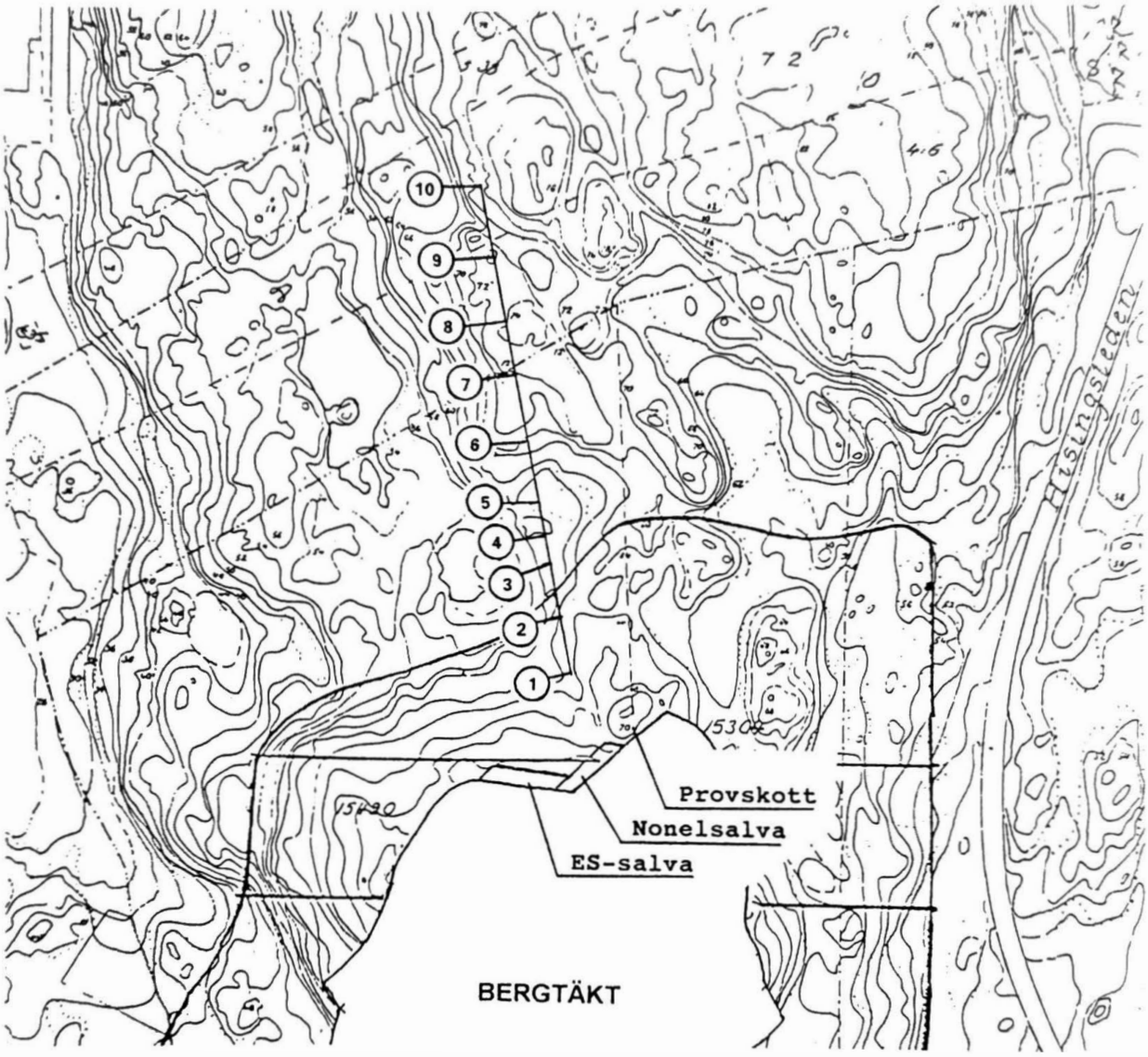
De positiva resultaten medförde att projektgruppen beslutade att genomföra en försöksserie vid flera västsvenska bergtäkter för att undersöka om de uppnådda resultaten kunde reproduceras under andra geologiska och tektoniska förutsättningar. Gemensamt för de valda provplatserna är myndigheternas krav på låga vibrationsnivåer där hänsyn tagits till störningar för de boende.

De fortsatta proven inleddes vid Vikans Kross, belägen på Hisingen nära Volvos anläggningar i Torslanda.

Sprängningarna där sker normalt med 15-meters pallar och med 89 mm borrhålsdiameter. Hålen laddas med bulksprängämne, Emulan 7500 med Dynamex som primer.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Som referenssalva för försöken användes en NONEL UNIDET salva med optimerad tändplan baserad på provskott. Vibrationsnivån från de båda jämförande salvorna registrerades i totalt 17 mätpunkter på 70 - 765 meters avstånd.



Exempel på mätlinje

I tabell 2 i bilaga 1 redovisas toppvärdena för svängningshastigheten i mm/s i de olika mätpunkterna. Av tabellen kan utläsas att man vid avstånd större än 300 meter, där ytvågorna är den dominerande vågtypen, har uppnått i genomsnitt 36 % vibrationsreducering.

Vid den tredje provplatsen i Angered, nordost om Göteborg, utfördes proven på en 8 meters pall som ingick i en tillredning för en högre pall. Borrhålsdiametern var i detta fall 76 mm. Laddningen utgjordes av patronerat sprängämne, typ Dynamex och Triammon.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Försöken vid Angeredverken skiljer sig markant från de försök som gjorts i Jönköping och Vikan. Mest anmärkningsvärt är att P-vågorna ger de högsta vibrationsnivåerna ända upp till c:a 350 meters avstånd jämfört med c:a 200 meter på de andra provplatserna. Detta har resulterat i att vi uppnått vibrationsreduceringar först efter 400 meters avstånd jämfört med vår målsättning att reducera vibrationerna från c:a 300 meter.

Reduceringarna över 400 meter uppgår till i genomsnitt 23 % jämfört med referenssalvan.

I vårt projekt har målsättningen varit att "släcka" ytvågor på långa avstånd eftersom alla tidigare erfarenheter visar att P-vågor endast ger höga vibrationsnivåer på korta avstånd. Vid provet i Angered visade det sig att P-vågorna blev helt dominerande även på långa avstånd. Detta exemplifieras i bilaga 2 där mätning gjorts på 330 meters avstånd och där man tydligt kan urskilja en P-våg från varje borrhålsladdning och där frekvensen 71 Hz exakt motsvarar den valda intervalltiden 14 millisekunder. Vi har aldrig tidigare observerat detta fenomen på så långa avstånd.

Den fjärde provplatsen, Sabemas täkt i Kållered, belägen c:a 2 mil söder om Göteborg, har krav på låga vibrationsnivåer beroende på att många bor inom 100 - 800 meters avstånd från täkten. För att klara de vibrationsrestriktioner som Länsstyrelsen angivit i villkoren måste man utnyttja alla möjligheter till optimering av tändplanerna.

Försökssalvorna uppborrades på en 11 meters pall med 76 mm borrhålsdiameter. Borrhålen laddades med Emulan 7500 med Dynamex som primer.

Mätresultaten redovisas i tabell 3 i bilaga 1, där man uppnådde 26 % vibrationsreducering jämfört med den optimerade tändplanen med NONEL UNIDET:

Sammanlagt har fem provsalvor med elektroniksprängkapslar sprängts vilka har jämförts med fem salvor med optimerade NONEL UNIDET-tändplaner utformade efter samma princip som elektroniksprängkapseltändplanerna. De jämförande salvorna har varit nära nog identiska med provsalvorna vad gäller pallhöjd, laddningar, hålantal etc. Salvstorlekarna vid de fyra olika provplatserna har varierat mellan 1400 - 3600 kg totalladdning och hålantalet har varit mellan 35 - 43 borrhål per salva.

SAMMANFATTNING

De utförda fullskaleproven visar, som framgår av de presenterade mätresultaten, att den princip som använts för vibrationsreducering är riktig och att vi lyckats bestämma lämpliga intervalltider för de undersökta täkterna.

I samband med täktverksamhet på avstånd mellan 300 - 700 meter har det visat sig att ytvågorna reduceras kraftigt genom interferens.

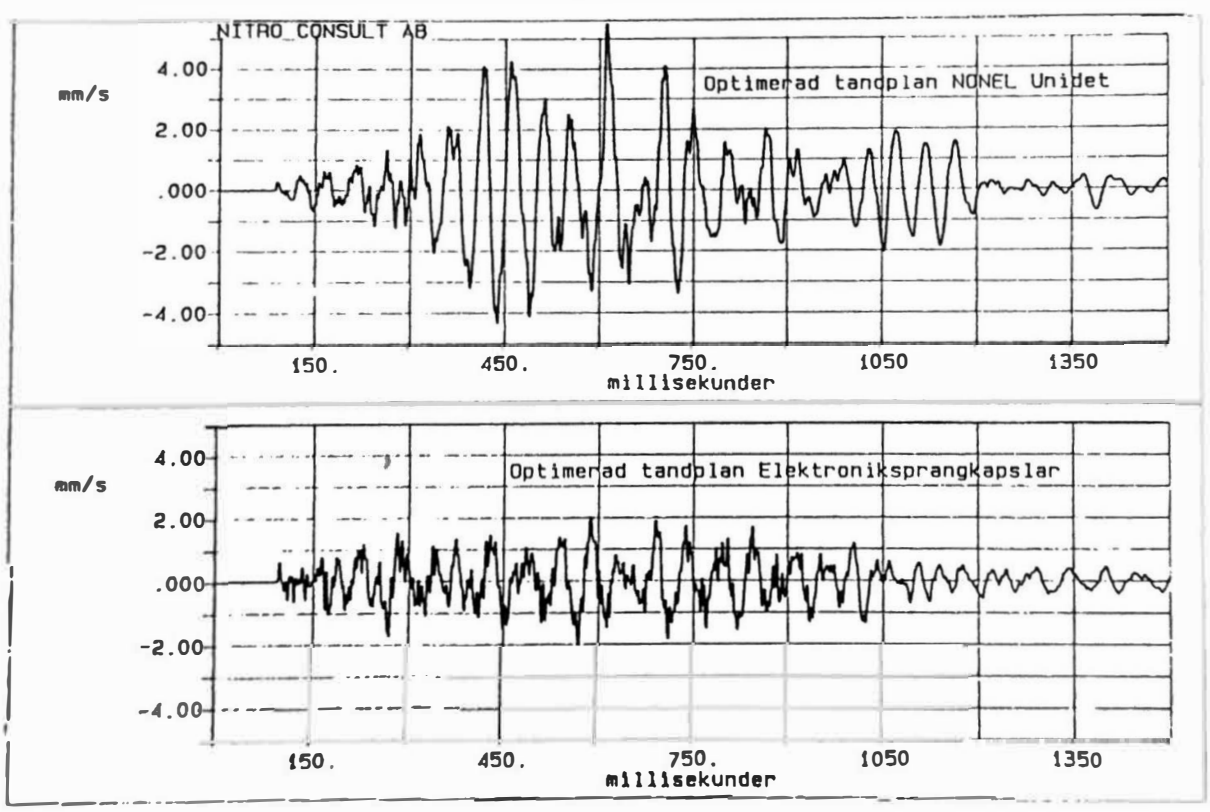
© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Volymvågorna som dominerar svängningshastigheten på kortare avstånd kan inte reduceras effektivt genom interferens. Vibrationens frekvens kan däremot påverkas i gynnsam riktning vilket innebär att volymvågornas accelerationsnivå sänkes. Vid försöken i Angered visade det sig att valet av periodiskt återkommande intervalltider kan medföra att man helt förändrar vibrationens karaktär. Detta fenomen har aldrig tidigare kunnat påvisas beroende av att tidigare sprängkapseltyper har en spridning inom intervallet. Helt periodiskt återkommande exakta intervalltider kan medföra att man inte enbart får den avsedda vibrationsreduceringen utan även oönskade effekter t.ex. de tidigare nämnda egensvängningarna i byggnadskonstruktioner.

Proven visar också att icke periodiska "haltande" intervalltider verkar vara att föredra då stötvågsenergin fördelas över ett bredare frekvensspektra.

Under den tid som projektet pågått 1988 - 1994 har vi gjort jämförelser med konventionella sprängningar med tändplaner som bygger på VA-sprängkapslar med begränsat antal borrhål och NONEL UNIDET sprängkapslar med för täkten erforderligt antal borrhål.

Med dessa som utgångspunkt har vi med hjälp av provsprängningar nått reduceringar på 15 - 40 % med optimerade NONEL UNIDET tändplaner. Med de optimerade tändplanerna som utgångspunkt för salvor med elektroniksprängkapslar har vi uppnått ytterligare reduceringar av vibrationsnivån på 20 - 50 %, vilket innebär att den totala reduceringen från projektstarten uppgår till 40 - 70 % reducering av svängningshastigheten.



Jämförelse mellan vibrationsförlopp från optimerade tändplaner som visar betydelsen av exakta intervalltider.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

I praktiken motsvarar detta att man med bibehållen vibrationsnivå kan öka laddningen 2 - 4 gånger, vilket vanligen innebär avsevärt lägre losshållnings-kostnader.

I samband med nyetablering eller utvidgning av befintliga täkter där vibrations-restriktioner inom området 300 - 700 meter oftast omöjliggör normal produktions-sprängning kan elektroniksprängkapseln innebära att täkter kan nyetableras och äldre täkter bibehållas med en konkurrenskraftig losshållningskostnad.

För att optimalt utnyttja elektroniksprängkapselns fördelar erfordras uppmätningar av vibrationsförlopp från provskott med känd laddningsvikt och noggrannt inmätta avstånd inom det område där man avser att reducera vibrationerna.

De utförda fullskaleförsöken visar att ytterligare förbättringar av tändplaner med elektroniksprängkapslar kan göras men för att nå detta krävs fortsatta försök.

Detta utvecklingsarbete innebär att man måste finna en ny och bättre modell för beräkning av stötvågsenergin. Modellen kan då leda till att man kommer att kunna förutse vibrationsförloppet med tillräcklig noggrannhet.

Kombinationen av exakta intervalltider, friheten att välja lämplig fördröjning samt nya mät- och analysmetoder har gett oss de verktyg som behövs för att styra sprängningsförloppet och därmed ha full kontroll på vibrationernas storlek. Försöken har även visat att dessa verktyg ger oss flera olika tillämpningar även vid konventionell försiktig sprängning på korta avstånd.

FRAMTIDSUTSIKTER

Följande mål bedömer vi realistiska:

* Reduceringen av svängningshastigheten i sprängningens närområde bedömes bli mindre än 25 %

* Reducering av accelerationsnivån kan däremot uppnås i närområdet

* Där ytvågor dominerar kan man påräkna 50 - 75 % vibrationsreducering

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

BILAGA 1

Tabell 1 **Bergtäkt Bjursells i Jönköping AB**

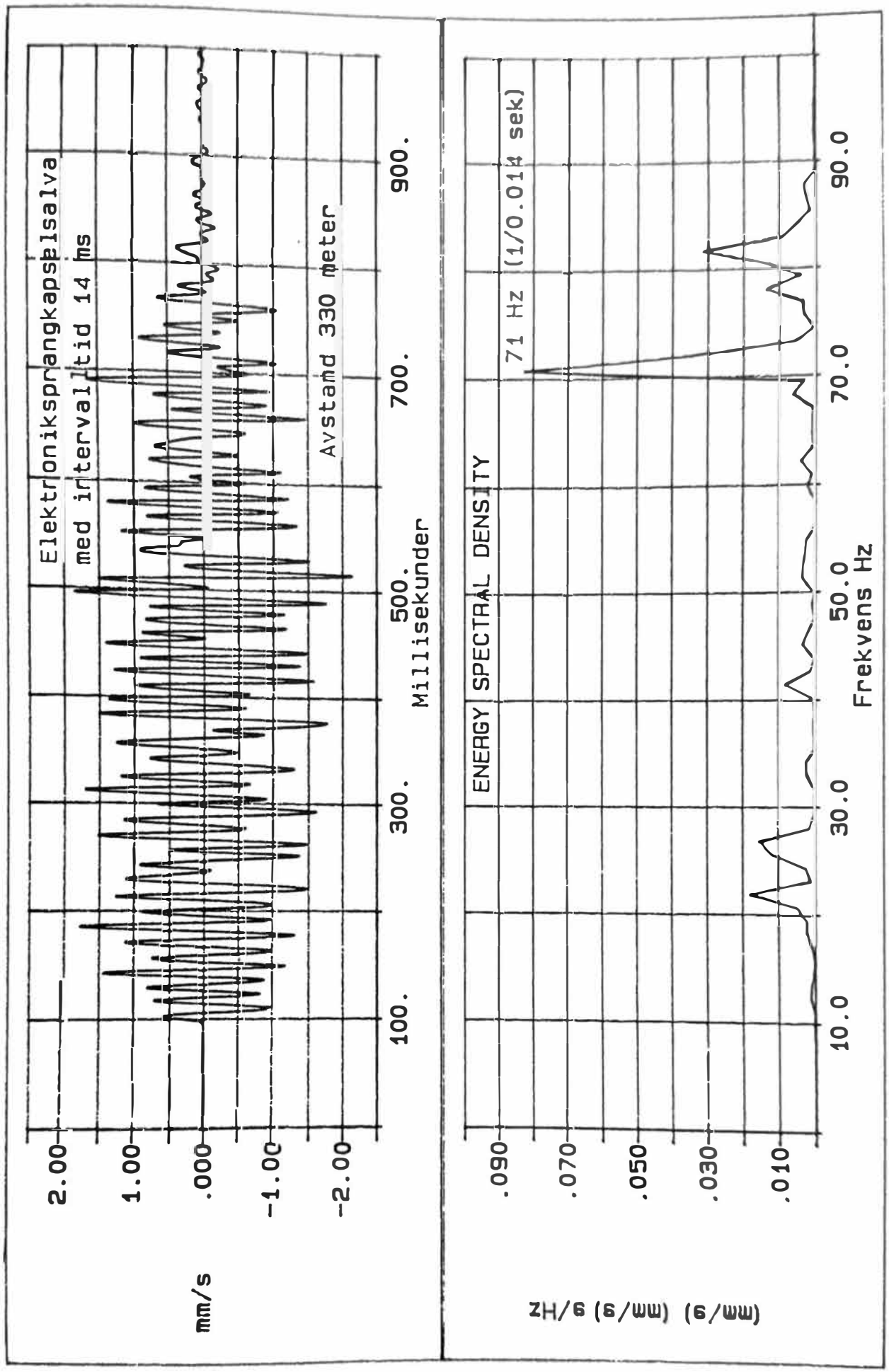
Mätpunkt nr	Avstånd m	NONEL Unidet-sprängkapslar mm/s	Elektronik-sprängkapslar mm/s	Skillnad i procent %
1	450	4,53	2,13	-53
2	503	5,28	2,44	-54
3	559	3,18	2,05	-36
4	616	4,73	3,33	-30
5	549	0,85	0,69	-19
6	585	1,56	1,10	-29
7	760	1,50	1,20	-20
8	1140	0,80	0,60	-25
1	509	4,93	2,74	-44
2	564	5,45	3,21	-41
3	619	5,35	3,30	-38
4	772	2,60	1,20	-54
5	1138	2,10	0,60	-71

Tabell 2 **Bergtäkt Vikans Kross AB, Göteborg**

Mätpunkt nr	Avstånd m	NONEL Unidet-sprängkapslar mm/s	Elektronik-sprängkapslar mm/s	Skillnad i procent %
1	70	46,7	17,8	-62
2	108	11,5	8,0	-30
3	144	9,0	5,8	-36
4	164	8,8	5,4	-39
5	187	6,8	4,9	-28
6	228	4,9	5,3	+ 8
7	274	3,4	2,8	-18
8	310	2,7	2,4	-11
9	353	3,0	1,8	-40
10	401	3,2	2,0	-38
11	668	1,22	0,77	-37
12	670	1,20	0,70	-42
13	675	1,22	0,92	-25
14	737	1,21	0,72	-40
15	747	1,08	0,60	-44
16	756	0,94	0,57	-39
17	765	1,90	0,80	-58

Tabell 3 **Bergtäkt Sabema Material AB, Kållered**

Mätpunkt nr	Avstånd m	NONEL Unidet-sprängkapslar mm/s	Elektronik-sprängkapslar mm/s	Skillnad i procent %
1	342	3,05	1,49	-51
2	464	1,43	1,23	-14
3	464	1,85	1,60	-14
4	602	1,23	0,90	-27
5	622	0,38	0,29	-24
6	678	0,35	0,27	-23
7	795	0,28	0,17	-39

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

BILAGA 2