

SBUF – Projekt 11 408/443

Hur kan miljöpåverkan från sprängning minska?



Objekt: Botniabanan

Projekt: E3541 Offersjön – Bjällstaån

Atte Werneman, Gösta Rundqvist och Petra Carlén
Nitro Consult AB

Sammanfattning

Projektet omfattade ett program för att studera miljöeffekterna av olika sprängtekniska åtgärder vid byggandet av bergtunnlar. Där syftet med projektet var att studera olika sprängtekniska åtgärders effekt på miljön samt om möjligt ge anvisningar för hur man kan minska miljöbelastningen vid bergsprängning genom val av metod och produkter. Projektet kom att utökas för att även jämföra utförandet med olika sprängämnen i arbetstunnlar för nerfarter till Namntalltunneln respektive Björnböletunneln.

Dessa tunnlar ingår i den större entreprenad, E3541 Offersjön – Bjällstaån vid Botniabanan, som Skanska har tilldelats. Projektet utfördes i samverkan mellan Skanska Teknik, Skanska Sverige AB, Dyno Nobel, och Nitro Consult AB. Projektet finansierades av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond – SBUF och inblandade företag.

Projektet är en förstudie i hur tunneldrivning påverkar processvattnet vid en byggplats. Om förstudien indikerar svårigheter med nuvarande metoder kommer ett större forskningsprojekt att etableras för att säkerställa byggmetoderna.

Projektet innefattade olika delmoment där resultatet av åtgärderna beskrivs i termer av kvarstående andel borrhål i kontur, avvikelser från normalsektion, kvävehalt, konduktivitet, pH-värde i processvattnet, vibrationsnivå och luftstöt våg.

Resultatet av projektet visade att för att minska miljöpåverkan från sprängning så bör man vidta följande åtgärder:

- Ta bort all spill på sulan och stoffen.
- Var noga med att avladda samtliga borrhål i salvan så att sprängämnet detonerar i borrhålet i stället för ute i fria luften. Avladdning tar även bort en stor del av risken med att bakåtbrytning bryter loss närliggande odetonerade borrhål.
- Förladdning av borrhål gav i det här försöket ingen miljövinst varken vad gäller kväveutsläpp eller omgivningspåverkan.
- Jobba med att " hitta rätt " borrhål & laddplan där även tiden i mellan upptändningen av närliggande hål beaktas.

I jämförelsen mellan olika sprängämnen dels för att minska miljöpåverkan men även för att ge entreprenören den "bästa" produkten ur andra perspektiv var resultatet följande:

- Kvävemängden i form av kväveutsläpp i processvattnet (mgN/L) visar att SSE är att föredra.
- SSE är ur arbetsmiljö synvinkel att föredra – Inga tunga lyft, inget sprängämne som kan detonera i kross, inga starka ammonikdofter i samband med cementarbeterna och mindre mängd nitroösa gaser.
- SSE är ur totalekonomisk synvinkel att föredra

Ett stort tack riktas till Skanska Sveriges personal på plats med Anders Östberg i täten som efter rådande omständigheter ha bidragit på bästa möjliga sätt. Tack!

Ett tack riktas även till Bengt Niklasson och Magnus Björkman - Skanska Teknik, för deras engagemang och välvilliga kommentarer.

Sammanfattning	2
1 Syfte	4
2 Bakgrund.....	4
3 Sprängteknik och miljöpåverkan	5
3.1 Allmänt.....	5
3.2 Tunnel.....	5
4 Objekt	7
5 Mätmetod	9
5.1 Processvatten	9
5.2 Kvalitet kontur	9
5.3 Tider	9
5.4 Omgivningspåverkan.....	10
6 Model för beräkning av “N”	12
7 Genomförande i teorin	13
8 Genomförande Björnböle.....	14
8.1 Försöksserie 1:1, normalförfarande.....	14
8.2 Försöksserie 1:2, kontrollerad laddningsmängd och avladdningslängd..	21
8.3 Försöksserie 1:3, kontrollerad laddningsmängd och förladdning.....	22
8.4 Försöksserie 1:4, kontrollerad laddningsmängd, förladdning och elektroniska sprängkapslar	24
8.5 Försöksserie 1:5, öppning med hjälp av plogkil eller annan alternativ öppning.....	24
9 Genomförande Namntall.....	25
9.1 Försöksserie 2:1, normalförfarande.....	25
9.2 Försöksserie 2:2, kontrollerad laddningsmängd och avladdningslängd..	30
9.3 Försöksserie 2:3, kontrollerad laddningsmängd och förladdning.....	30
9.4 Försöksserie 2:4, referens med patronerade hål.....	31
9.5 Försöksserie 2:5, öppning med hjälp av plogkil eller annan alternativ öppning.....	31
10 Jämförelse mellan olika sprängämnen	32
11 Resultat.....	34
12 Behov av fortsatt forskning.....	37
Referenser	39
Appendix	40
I. Organisation	40
II. Montering av instrument	41

1 Syfte

Syftet med projektet var att studera olika sprängtekniska åtgärders effekt på miljön samt om möjliga anvisningar för hur man kan minska miljöbelastningen vid bergsprängning genom val av metod.

Flera pågående projekt har av miljötillsynsmyndighet tvingats genomföra omfattande åtgärder för att tillgodose kraven. De nya stora projekten i bl.a. norrland kommer att försvåras om problemen inte löses.

2 Bakgrund

Losshållning av hårt berg sker normalt genom sprängning. Sprängning medför miljöpåverkan med avseende på flera olika parametrar. Större projekt som innefattar sprängning tillståndsprövas normalt enligt miljöbalken på grund av att sådana projekt oftast klassas som vattenverksamhet.

I projekt med bergsprängning som utförs i känslig naturmiljö behöver påverkan minimeras. Att använda metoder som minskar utsläpp av kväve är därför av stort intresse för entreprenören, beställaren, tillverkaren av sprängmedel samt för övriga som värnar om naturmiljön (allmänheten, ekologer, natur- och fiskevård etc.). I känsliga miljöer är det förenat med stora kostnader att ta hand om dessa utsläpp.

En optimal detonation innebär att det finns så lite rester kvar av sprängämne som möjligt, resterna medför nämligen att kväve förs ut med processvattnet. Civila sprängämnen lämnar restprodukter efter detonation.

En skonsam sprängteknik, t.ex. med upptändning med elektronisprängkapslar, kan tänkas medföra att behovet av bland annat efterarbeten och förstärkning av tunnelns tak och väggar kan reduceras vilket i sin tur torde leda till fler salvor per vecka, d.v.s. en bättre framdrift. Det är därför sannolikt att en ökad arbetsinsats vid sprängningen resulterar i att drivningen av tunneln går fortare, vilket är en positiv effekt av ändrad process teknik. I praktiken är det dock inte lika säkert att det har någon betydelse, då bergets egenskaper och ursprung en stor betydelse i kombination med design och utförande av förinjektering.

3 Sprängteknik och miljöpåverkan

Den största miljöpåverkan från sprängning härrör från rester av sprängämne och innebär framför allt utsläpp av kväve, eftersom sprängämnen till största del består av kvävebaserade föreningar.

3.1 Allmänt

Erfarenheter från fullskaleförsök i Sverige och Norge har visat att ca 10 –20 % av tillfört sprängämne i en tunnelsalva återfinns i det losstagna berget och därför inte utnyttjats på tänkt sätt. Det är också klart att det endast är en del av detta odetonerade sprängämne som kommer från laddningen i form av spill eller annat slarv vid rengöring av laddutrustningar.

Filmning av tunnelsalvor har visat att sprängämne kan kastas ut ur borrhål innan detta detonerar. Om sprängämnet detonerar i luften utanför borrhålet ger det upphov till en betydligt större luftstötsvåg än normalt, vilken kan skada byggnader i anslutning till tunnelbygget. Om det inte detonerar så hamnar det i högen av bergmassor efter sprängningen, framförallt om detta varit patronerat. Men det finns anledning att tro att det även blir avbrott i detonationen, på grund av separation, även när man använder bulksprängämne. Ett delmål i det här projektet är därför att titta på sprängtekniken för att se vad som kan göras för att hindra dessa avbrott i borrhålen som ger odetonerat sprängämne.

En huvudorsak till dessa avbrott är att det uppstår en viss bakåtbrytning vid varje hål där sprickor öppnar sig mot bakomliggande hål och kan klippa av laddningen i dessa. Ännu sämre kan det bli om lösa block ramlar ner i delar av hålet. Ett speciellt problem har man även vid hålmynningen där det uppstår en form av krater som kan nå ut till bakomliggande hål. Laddas dessa hål för långt ut får man automatiskt odetonerat sprängämne i salvan.

Genom tändplanen styrs sprängningsförloppet, dvs. krossningen av berget, framflyttningen av den losskjutna bergmassan och delvis även skadezonen i kvarstående berg.

3.2 Tunnel

När man talar om skonsam sprängning ovan jord betonas vikten av att borrhålen inte får vara inspända och att det inte får finnas berg kvar framför den hålråd som står på tur att detonera. Försök har också visat att det är viktigt att uppnå samverkan mellan hål för att minska bakåtbrytning.

Vid tunnelsprängning låter man hålen detonerar separat från varandra och i kilen går man ofta in för att hålen ska alternera mellan höger och vänster sida.

Här skulle man kunna tänka sig att närliggande hål initierades med endast någon ms fördröjning i form av en skärsprängning. Detta under förutsättning att inga köproblem uppstår i detonationen som förhindra att berget kastas ut.

Genom att hålla ihop hålen i cirkulära rader skulle samverkan kunna uppstå även för strosshål. Förhoppningsvis skulle detta bidra till mindre bakåtbrytning även inne i salvan.

Om inte det finns tillgång till elektroniska sprängkapslar kan konturhål kopplas gruppvis med cord för att få samtidig detonation. Hålen ska fortfarande ha en vanlig sprängkapsel i bottenladdningen för säkerhets skull.

Det har tidigare visat sig att väldigt goda resultat med låga kväveutsläpp kunnat uppnås genom användning av så kallad plogkil. Därför borde försök göras med denna variant av öppning. Om tidigare resonemang om kilens roll till kvävespridningen är rätt vore det också logiskt om plogkilen gav lägre utsläpp. I denna är hålavstånden större och risken för bakåtbrytning mindre på grund av vinklingen av hålen.

Det är inte heller uteslutet att plogkilen ger lägre vibrationsnivåer eftersom inspänningsförhållandena kan vara gynnsamma, åtminstone efter den allra första hålraden i öppningen. Den erfarenheten har man i alla fall från pallsprängningen att ökande hållutning minskar inspänningen och därmed också även vibrationsnivåerna och skadorna på kvarstående berg.

Det finns därför tre primära åtgärder att vidta för att minska mängden odetonerat sprängämne i salvan förutom det som spills.

Det gäller att:

- Förhindra att sprängämne kastas ut ur borrhål
- Utforma öppningar så att närliggande hål inte skadar varandra
- Minimera bakåtbrytning
- Ha tillräckligt lång oladdad del i borrhålet

De tre översta punkterna ovan behandlar planering och utformning av tunnelsalvor medan den sista punkten egentligen endast är en disciplinfråga för laddpersonalen.

Risken för bakåtbrytning är störst där hålen är inspända och/eller ligger nära varandra. Detta innebär att det är sannolikt att parallellhålsöppningen i salvan bidrar med en stor andel odetonerat sprängämne. Dessa hål laddas ofta dessutom ända ut utan avladdning och ligger endast några få decimeter från varandra. Att utforma öppningen så att laddade hål separeras så mycket som möjligt är av stor betydelse för funktionaliteten av salvan.

4 Objekt

Terrass och tunnlar Offersjön - Bjällstaån (E 3541)

Namntalltunneln 6 km, Björnböletunneln 5,2 km

Parallella service- och utrymningstunnlar och förbindande tvärtunnlar var 500:e meter

32 km järnväg samt ett antal broar bl.a järnvägsbro över Hinnsjön 100 m och Bjällstaån 110 m.

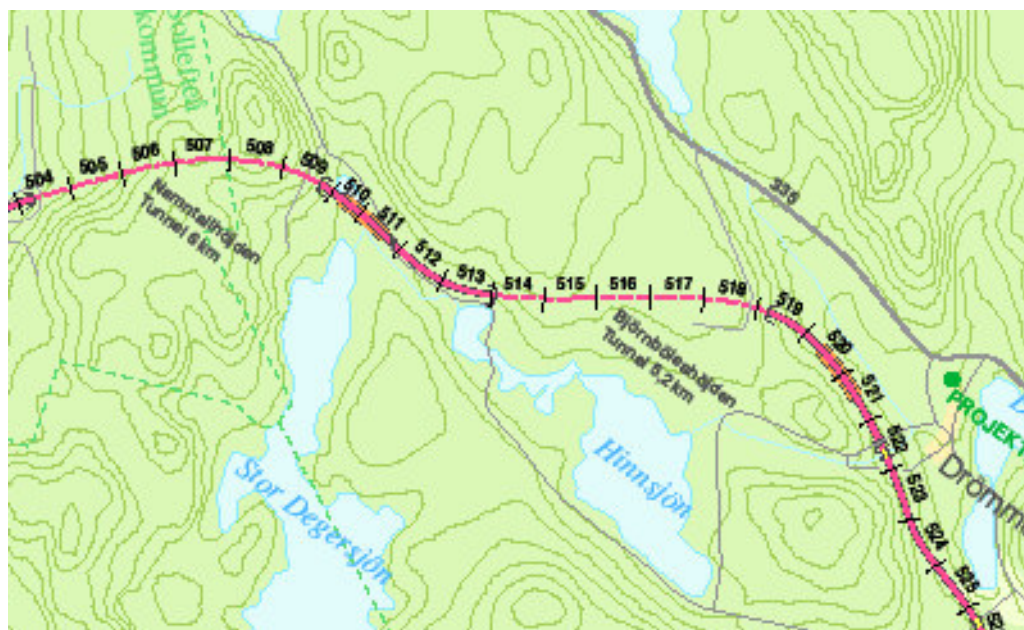
Kontrakt: 1,3 miljarder kronor

Entreprenör: Skanska

Byggstart: november 2003

Tunneldrivning klar under 2006

Färdigställt: våren 2007



Kartbild 4.1. Projekt E 3541 Botniabanan

Projektet utfördes i två arbetstunnlar för nerfarter till Namntalltunneln respektive Björnböletunneln. Dessa tunnlar ingår i den större entreprenad som Skanska har fått och ingår i utbyggnaden av Botniabanan.

I och med att dessa tunnlar drivs samtidigt hade Skanska framfört önskemålet att utnyttja tillfället till att jämföra SSE (Site Sensitised Emulsion) med ANFO (AmmoniumNitrat och diesel FuelOil – i förhållande 94/6). Man kom således att konsekvent använda ANFO i den ena arbetstunneln och SSE i den andra. Tanken var att ovannämnda försöksserier skulle utföras parallellt i de bägge tunnelarna, tyvärr var det vid aktuellt utförande inte möjligt.



Foto 4.1. Björnböletunneln



Foto 4.2. Namntalltunneln

5 Mätmetod

5.1 Processvatten

De parametrar som analyseras i processvattnet från aktuell tunneldel är följande:

- Totalkväve
- Nitrat
- pH
- Konduktivitet
- Vattenmängd

Tonvikten har lagts på de tre sistnämnda som mäts kontinuerligt i 1-minuters intervall med hjälp av automatiska givare. Kvävehalten beräknades utifrån halter av konduktivitet och pH. Kontrollprover togs och analyseras på totalkväve och nitrat för korrelation mot beräknat resultat.

Genom att allt vatten som tillförs tunneln och pumpas ut från tunneln mäts kontinuerligt, kan inläckage beräknas. Provtagning och analys skede av tillfört vatten till tunnlarna och av det vatten som läcker in i dessa.

För att hindra att dagvatten rann ner i tunnlarna kom ett dike med färast att läggas tvärs nerfarten. Dagvattnet som pumpas upp tillförs containersystemet i ett läge som ligger efter den container där mätningarna görs.

5.2 Kvalitet kontur

Kvaliteten på tunnelkonturen beskrivs av andelen kvarstående borrhypor och avvikelser från normalsektion. Insatser i form av förinjektering och förstärkning utförs kontinuerligt.

5.3 Tider

Tidsåtgången för de olika arbetsmomenten, vid laddning, var tänkt att dokumenteras men p.g.a. att det hela tiden uppstod moment som ändrade förutsättningarna kan endast ett generellt utlåtande ges om vad som skiljer de olika laddningsförfarandena åt. På detta projekt var aktiviteterna i tunneln uppdelade på följande sätt:

Dagtidsaktiviteter kl.06.00-17.00: På stuff

- Utsättning vid behov
- Skrotning för hand från korg
- Sondering var tredje salva
- Förinjektering vid överstigande av krav på vattenförlust vid sondering
- Borrning av salva
- Laddning av salva
- Initiering av salva
- Ventilation (ibland på nästa pass om salvan blir sen)
- Kontroll av resultat
- Eventuell omskjutning

Dagtidsaktiviteter kl.06.00-17.00: Bakom stuff

- Bulthålsborrning
- Bultsättning
- Förstärkning med fiberarmerad sprutbetong
- Efterinjektering
- Sektionering
- Framflyttning av försörjning av el, ventilationstub samt slang för vatten in och rör för processvatten ut.
- Tömning av sedimentationskar.

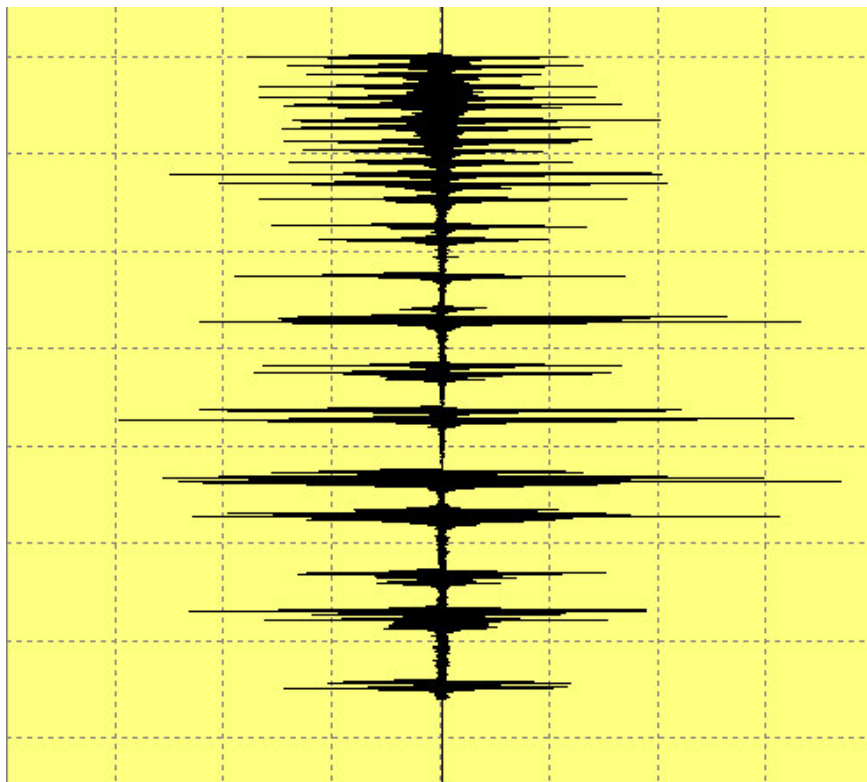
Nattidsaktiviteter kl.17.00-06.00:

- Ventilation av gaser
- Utlastning av salva
- Maskinskrotning av salva
- Skyddsskrotning av föregående salvor som inte sprutats in.
- Rensning av sula inför nästa salva.
- Justering av väg.
- Framdragnig och gångsättning av stuffpump.

5.4 Omgivningspåverkan

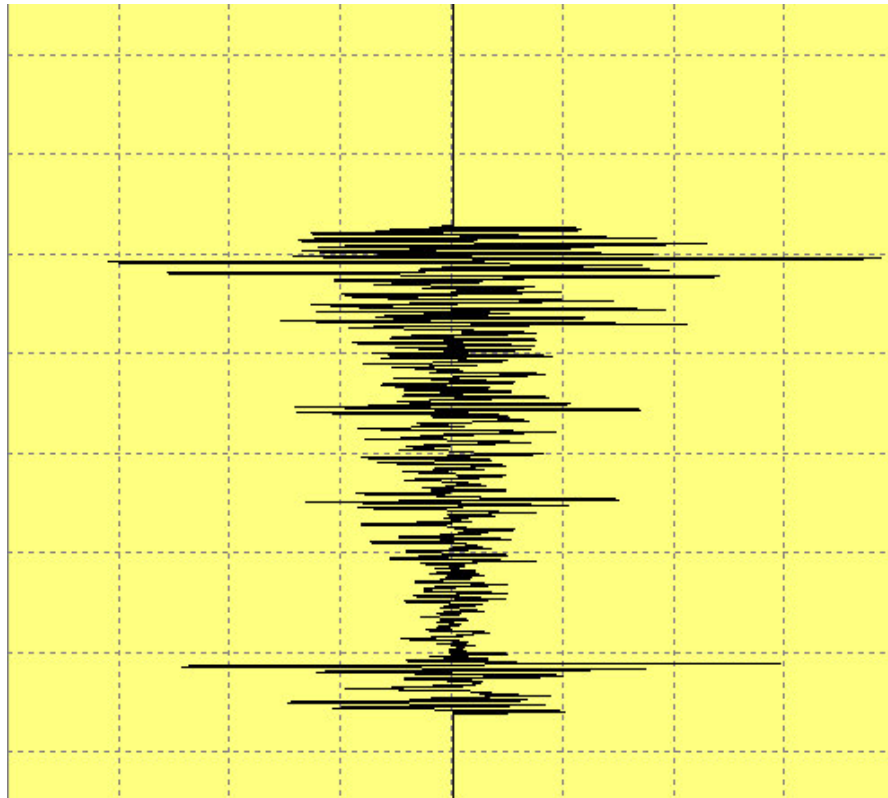
De parametrar som studeras i omgivningen är följande:

- Vibrationer



Vibrationsmätningen har två syften. Dels är det av vikt att veta om de olika föreslagna åtgärderna, kan påverka vibrationsnivåerna i omgivningen, då restriktionerna på tillåtna vibrationsnivåer ofta är det som dimensionerar salvorna. Dessutom kan vibrationsmätningen ge en god information om hur sprängningsförloppet i salvan gått och ge svar på hur respektive tändarenummer som detonerat, om det detonerat och hur kraftig vibration som genererats.

- Luftstötstågor



Luftstötstågen ger ofta upphov till klagomål på långa avstånd från tunnelmynningen. Detta medför att besiktningsområde och mätområde ofta blir utdraget 200 – 400 m från mynningen. Varje åtgärd som kan minska luftstötstågen är av stort värde och dessa försök ska förhoppningsvis ge några svar på detta.

6 Model för beräkning av “N”

Metoden är beskriven i rapporten från Bragernes projektet. Detta avsnitt är hämtat direkt från denna rapport.

Från försöken i Elgskauåsen tunnel, NIVA blev sammanlagt 41 prov analyserade med avseende på konduktivitet, pH och totalt “Kväve”. Genom att använda definitionen på pH, kan pH översättas till koncentrationen av H^+ eller OH^- jonen. Genom att addera koncentrationen av pH till den totala kväve koncentrationen, erhöles en mycket bra korrelation mellan konduktivitet och summan av joner vilket framgår av diagram 6.1 nedan.

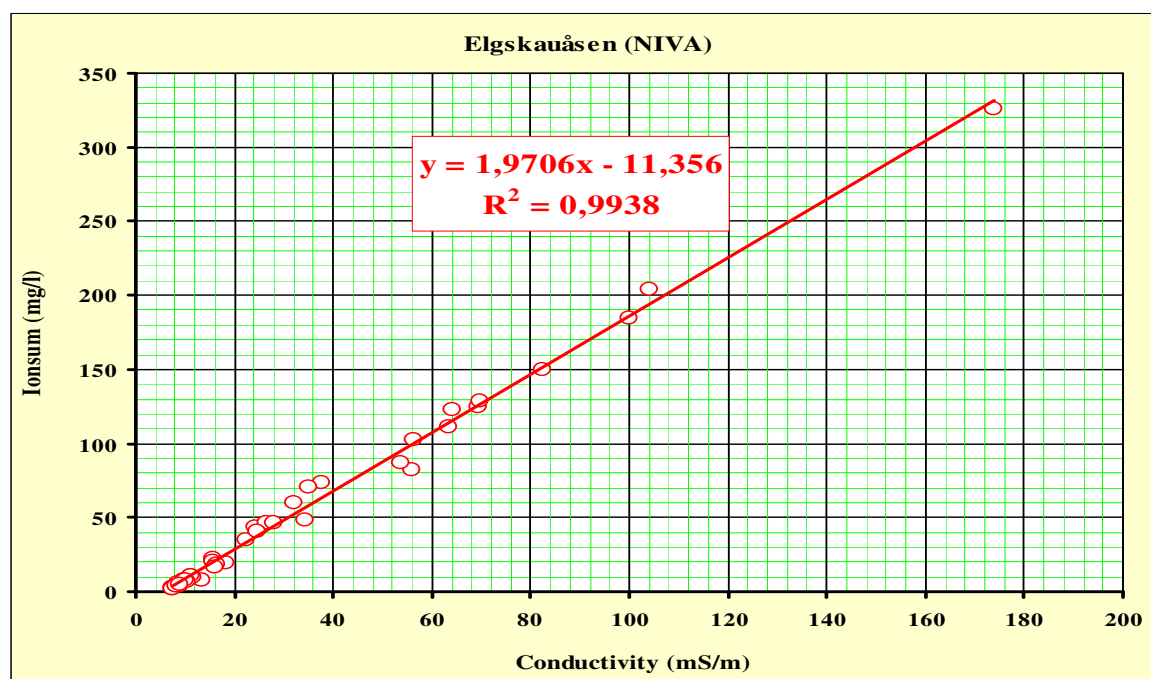


Diagram 6.1.

Diagrammet visar korrelationen mellan koncentrationen av summan av joner och den uppmätta konduktiviteten. Jonsumman beräknas som summan av den totala “N” koncentrationen plus koncentration av OH^- joner. Genom definitionen på pH kan pH skrivas om som en koncentration (mg/liter) genom följande ekvation: $(17500 \cdot 2) / 10^{(14-pH)}$. När sedan denna jonsumma plottas versus den uppmätta konduktiviteten, erhålls en god linjär korrelation. De NIVA resultat som används för anpassningen i figur 5 redovisas i Appendix 1 i Bragernes rapporten.

Den erhållna linjära korrelationen gäller för NIVA’s kalibrerade instrument, och det är nödvändigt att använda en ny linjär anpassning för nya instrument, and nya analytiska resultat. Eftersom pH är en exponentiell funktion, ger pH ett signifikant bidrag till jonsumman vid pH större än 10.5. Vid höga pH värden, bidrar pH mycket starkt till jonsumman. Det är därför viktigt att ha ett korrekt kalibrerat pH instrument.

7 Genomförande i teorin

Försöken var planerade att utföras under våren och sommaren 2004. Fem försöksserier som vardera omfattar fem på varandra följande salvor. Detta fick dock justeras under projektets gång. På grund av olika orsaker gick det inte att sätta igång med försöksserierna förrän i augusti 2004.

Planeringen var från början att då man spränger en salva per dag kommer en kampanj ta ca en vecka, därefter uppehåll på någon vecka, för sammanställning av utfört arbete.

Försöksserien skulle starta med att dokumentera följande arbetsmoment:

- Borrning och eventuella avvikelser från borrarplan – specifik borrning
- Laddning och eventuella avvikelser från laddplan – specifik laddning
- Upptändning och eventuella avvikelser från tändplan

Resultatet från föregående salva studeras genom att bl.a.:

- Undersöka kvarvarande sprängämne i borrarpor i stoff och kontur
- Att bedöma om det skett något exceptionellt utfall av berg och om det går att utreda varför det skulle ha skett. Bergarten var en metagråvacka med kvartssliror.
- Kontrollera vibrationsförloppet och luftstötvågen för att se om det går att dra slutsatser om hur salvan gått ur dessa hänseenden. T.ex. om luftstötvågen visar att detonation skett i fria luften, samverkan mellan laddningar eller tändarenummer som saknas i kurvförloppet.

Förändringar av utförande i följande ordning:

- Kontroll av avladdning och dess längd.
- Applicering av förladdning.
- Upptändning med elektroniska sprängkapslar.
- Avslutningsvis försök med justera öppning av salvan med hjälp av plogkil eller annan alternativ öppning.

8 Genomförande Björnböle

Försöken med insamling av information från tunneldrivningen vid stuff/tunnelfront startade den 11 augusti 2004 och pågick fram till den 9 september 2004.

8.1 Försöksserie 1:1, normalförfarande

Som utgångspunkt för kommande försök dokumenterades normala förfarandet vid borring, laddning och upprättande av tändplan. Det är då viktigt att den verkliga borr- och laddplanen tas fram och att laddningsmängder och avladdningslängder i de enskilda borrhålen mäts upp. Samtidigt genomförs hela kontrollprogrammet. Försöksserien 1:1 startade 11 augusti och värden insamlades t.o.m. den 19 augusti.

Laddtrucken backades ned till stuffen med sin moderna utrustning, en s.k. Mini-SSE, för emulsionssprängämnet SSE. Utrustningen går att styra via en kontrollpanel där det går att ställa in olika "recept" som bl.a. baserades på borrhålsdiameter, borrhålslängd och inställda koncentrationer (kg SSE/m) beroende om hålet som ska laddas sitter i öppning, stross, hjälpare eller kontur, *se foto 8.1.1.*



Foto 8.1.1. Mini SSE truck – Björnböle

När utrustningen kommit på plats startar laddningsförfarandet med att primer och tändare placeras i respektive hål i enlighet med borr & laddplan, se *skiss 8.1.2.*

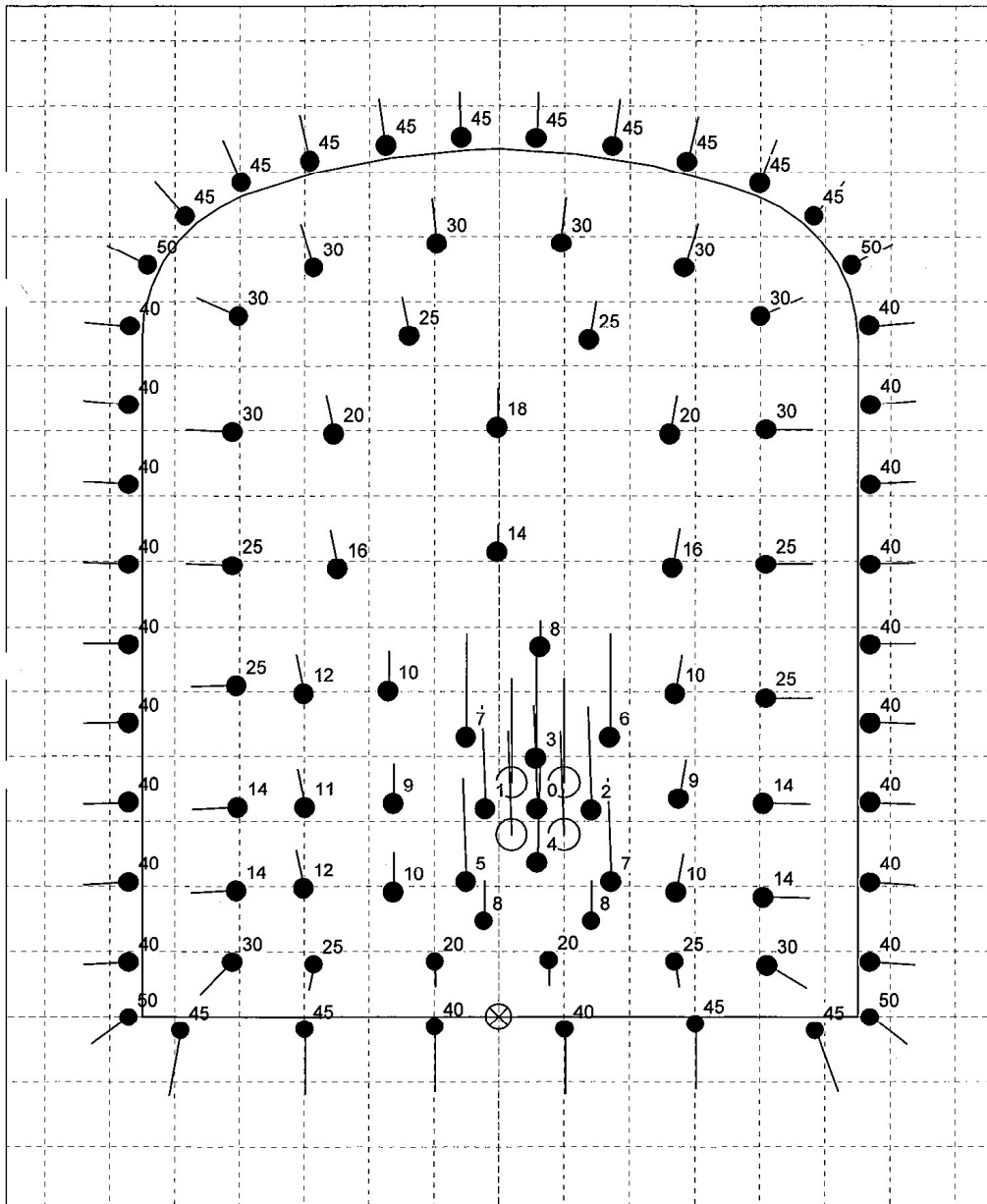
TUCAD
IBA-NTNU

Bever
Control as

TUNNPLAN Sprengningsplan

Antall borhull:

Stross:	18 /48 mm/	Kutt:	11 [-]
Kontur:	32 [-]	Ant lada hull:	89
2.kontur:	22 [-]		
Ligg:	6 /45 mm/	Ant ulada hull:	4 /80 mm/



Skiss 8.1.2. Principplan för borr & tändplan - Björnböle

En av operatörerna laddar från laddkorgen medan den andra operatören laddar från sulan. Bottenhålen laddas genom en ca 1 m lång plastslang som tas bort när hålet är laddat. Plastslangen sätts på plats när borrhålet är nyborrat för att förhindra att borrkax och stenar ska täcka det vid den fortsatta borrningen, se *foto 8.1.3*.



Foto 8.1.3. SSE i bottenhål genom slang - Björnböle

- Bottenhålen, 8st., laddades med 9.6 kg SSE per hål.
- Del av öppningen, totalt 8 st. hål, laddades med 9.6 kg SSE per hål.
- Övriga hål 28 st. i öppningen och i pallstrossen laddas med 7.6 kg SSE per hål.
- Takstrossen 8 st. laddades med 7.7 kg SSE per hål.
- Hjälparkonturen, 11 st., laddades med mellan 4.6-5.5 kg SSE per hål
- Konturen, 26 st., med mellan 1.9 och 2.9 kg SSE per hål.

Kontur och hjälparkontur laddades från laddkorgen med hjälp av en slangdragare som styr utdragningshastigheten på laddslangen, se *foto 8.1.4*.

Totalt 89 borrhål laddades med 573 kg SSE. Specifika laddningen blev 2.82 kg/m^3 mot beräknade 2.17 kg/m^3 för en tunnel med 35 m^2 area och med ett håldjup på 5.8 m. Förmodligen var hålen inte alltid borrarade till fullt djup vilket innebär att den specifika laddningen kommer upp i drygt 3.0 kg/m^3 .



Foto 8.1.4. Galleri och konturladdning från laddkorg med slangdragare - Björnböle

Observationer av hanteringen på stuff var bl.a.:

- Det fanns uppsamlingskärl för överbliven SSE på laddtrucken, men det är inte alltid som det finns någon plats kvar i kärlet. Detta medförde vid just det här tillfället att SSE hamnade direkt på sulan, *se foto 8.1.5*.
- En annan observation var att det svällde ut SSE från en del av borrhålen. I ett nytt fulladdat hål sväller SSE med ca 30-40 % d.v.s. ett snitt mellan 30-40 cm/m laddat hål. Har laddaren inte avslutat laddningen i tid så sväller SSE ut ur hålet.
- Den markanta ammoniakdoften som förekommer, speciellt med laddning av Anfo i kombination med cementarbeten, var i det här fallet inte alls stark.
- Uppladdningen av hela salvan gick väldigt fort när utrustningen fungerade.
- Ingen hantering av tunga lådor med DynoRex
- Ledtiden från att laddning sker och tills att det ger utslag på mätinstrumenten i sedimentationskaren varierar, ibland är den väldigt kort, *se foto 8.1.6*.



Foto 8.1.5. SSE spill på sulan - Björnböle



Foto 8.1.6. SSE spill på och nära dränvattenpump – Björnböle

Kommentar:

Under försöksserien inträffade en rad av haverier på laddtrucken. Bland annat satte en backventil igen så att vattenflödet blev försvagat. Detta medförde att det blev avbrott vid laddning och att det inte gick att ”stränga” konturen med slangdragaren utan strängningen fick utföras ”för hand”.

Kontentan av det hela var att det s.k. normalförfarandet inte alltid var speciellt normalt. Några av salvorna laddades delvis eller helt med patronerat sprängämne av typen DynoRex och DynoCord i konturen.

Resultatet av sprängningen visar att nästan 100 % av borrhålen i taket var synliga och endast ca 30 % av borrhålen i väggarna. Eventuellt sprängs hål bort innan den ”strängade” SSE detonerar vilket kan resultera i ett högre kväveutsläpp.

Det förekom i nästan varje salva att en kortare del, 20-50 cm, av borrhål fanns kvar i stoffen eller kontur, vissa med rester av SSE i. Berget blir helt enkelt för inspänt i botten av konturhålen för att det ska ha en möjlighet att slå ut.

Det inträffade att delar av salvan kortades av för att ”räta upp” stoffen igen. Detta medför definitivt att indrift gick förlorad.

Spillet av SSE på stoff minskade successivt från nästan 20 kg SSE ned till 8-10 kg SSE. En del av spillet härrör från borrhål som inte avladdas i tid, vilket resulterar i att SSE sväller ut ur stoffen.

Andra aktiviteter som påverkar resultaten är:

- Förstärknings och tätningsarbeten med cement.
- Slamsugning och tömning av sedimentationskaren medförde att mätarna ibland timvis blev utan vatten, dock utan att membranet till pH mätare torkade ut.
- En del glasögon och kvarvarande berg förekom i konturen och stoff. Dessa åtgärdades i samband med efterföljande salva ofta med hjälp av DynoRex 29 eller SSE.

En intressant sak som inträffade under försöksserien var att kväveutsläppet ökade från en snittnivå på 170 mgN/L (milligram kväve per liter processvatten) upp till över 250 mgN/L vid laddning med patronerat sprängämnen. En ökning sker här direkt av kväveutsläppet med upp till 50 % vid bruket av patronerat sprängämne i jämförelse med SSE. Det normala hade istället varit att kväveutsläppet borde ha minskat eftersom patronerade sprängämnen har en betydligt längre tid för upplösning i vatten.

En del orsak till det höga värdet kan vara att det pågick aktiviteter i tunnel i form av förstärkning med fiberarmerad sprutbetong och injekteringsarbeten. En annan orsak kan vara att det vid problemen med Mini-SSE laddtrucken kan ha spillt onormalt mycket SSE på sulan. Dessa aktiviteter höjer pH värdet som ger ett bidrag till mätningen av kväve. När SSE åter igen användes sjönk värdet tillbaka till ca 170 mgN/L, *se diagram 8.1.7*

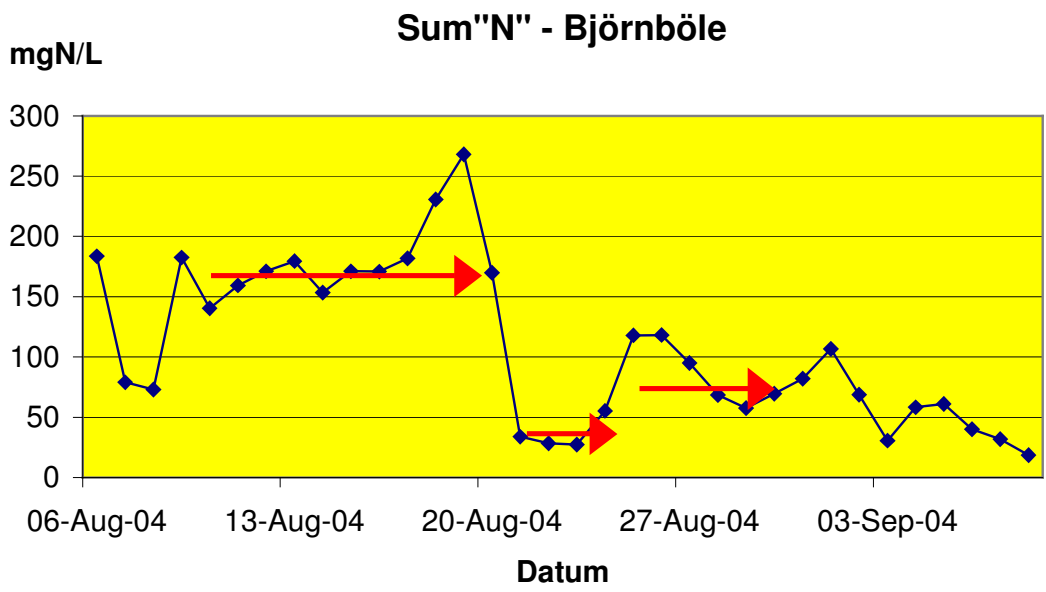


Diagram 8.1.7. Kvävmängd i processvatten – Björnböle

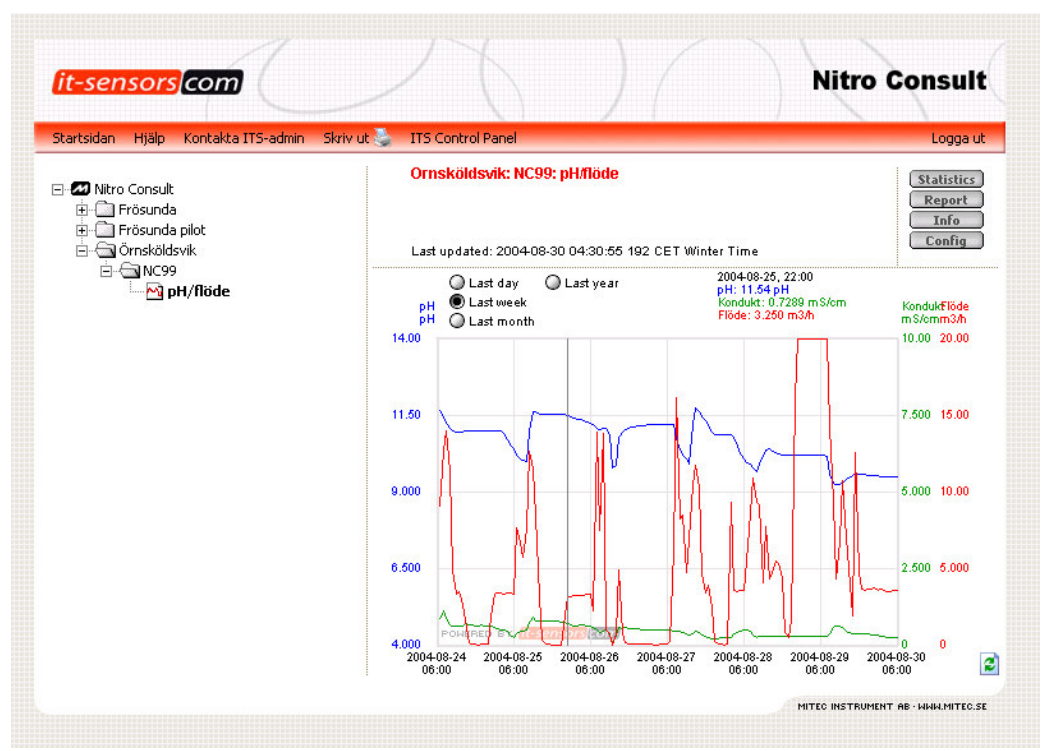


Diagram 8.1.8. Dygnsvariation presentation på hemsida – Björnböle

8.2 Försöksserie 1:2, kontrollerad laddningsmängd och avladdningslängd

Försöksserie 1:2 startade den 20 augusti 2004 och värden insamlades t.o.m. den 25 augusti.

I denna försöksserie skulle man testa vad en bättre laddningsdisciplin har för effekt på kvävemängden. Avladdningen ska vara något större än hålavståndet och laddningsmängder ska vara justerade till de enligt sprängplan, se *foto 8.2.1*.

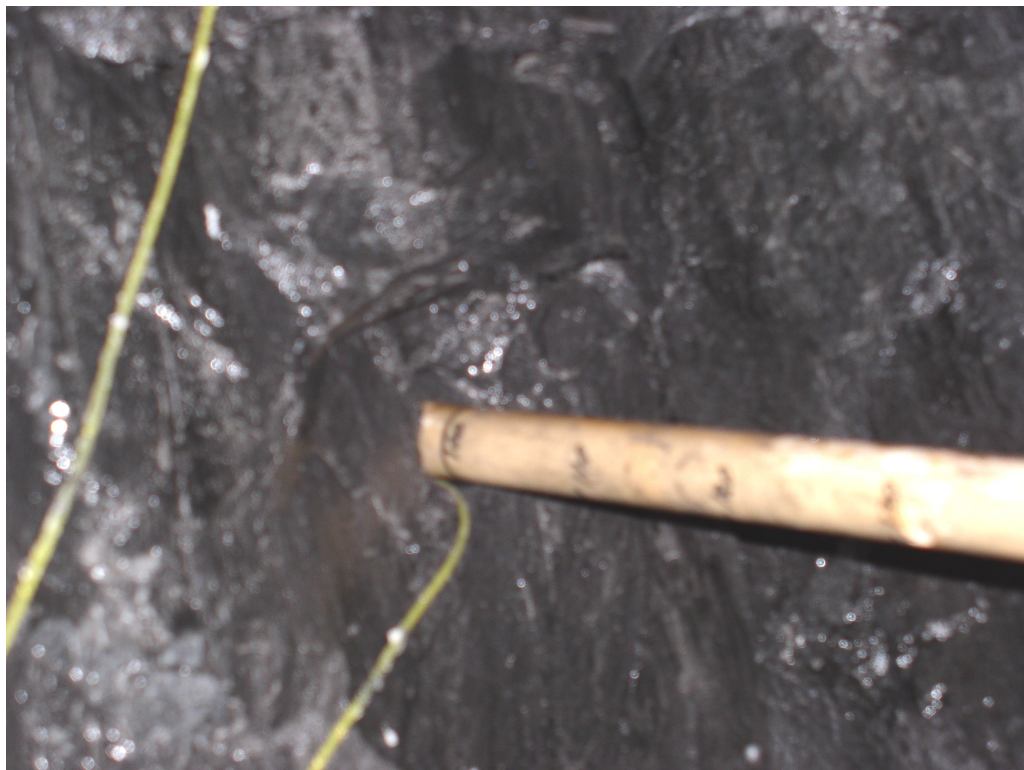


Foto 8.2.1. Mätning av avladdning med laddkäpp - Björnböle

Hur avladdning skulle ske bestämdes helt och hållet av Skanskas personal.

Av olika skäl så hade man gått ifrån tidigare laddningsförfarande och laddade enligt följande:

- Bottenhålen 8 st. hål laddades med 9.6 kg SSE per hål.
- Bottenhjälpare 6 st. hål laddades med 9.6 kg SSE per hål.
- Kil 13st. hål laddades med 9.6 kg SSE per hål.
- Stross 25 st. hål laddas med 8.8 kg SSE per hål.
- Hjäparkonturen 11 st. hål laddades med mellan 4.6-5.5 kg SSE per hål
- Konturen 26 st. med mellan 2.4 och 3.2 kg SSE per hål.

Totalt 89 borrhål laddades med 620 kg SSE. Detta innebär en specifik laddning på 3.05 kg/m³, beräknade efter en 35 m² tunnelarea och 5.8 m håldjup.

Den genomsnittliga avladdningen för respektive del av salvan var som följer:

- Konturhål laddades hela vägen ut.
- Inre kil och botten avladdades ca. 0.5-0.8 m
- Yttre kil och stross avladdades ca. 0.8-1.3 m
- Hjälpare till kontur avladdades ca. 1.5-2.0 m

Förväntat resultat: Lägre utsläpp av kväve och något reducerad luftstövåg.

Kommentar:

Försöksserien löpte inte heller nu helt utan problem. Bl.a. var det en osäkerhet om man hade borrar vissa hål med 54 mm krona istället för 48 mm kronor. Detta kan vara en av orsakerna till att det i början av försöksserien, förutom kvarstående berg, blev en bomsalva. Detta trots att mängden SSE ökat med i snitt 10 % . I slutet av försöksserien gick salvorna ut utan anmärkning.

Disciplinen med att undvika att SSE hamnade utanför borrhålet förbättrades så att det i snitt var ca 5 kg SSE som hamnade på sulan eller utanför borrhålet.

Resultatet var att mgN/L i processvattnet sjönk från i snitt 170 mgN/L till 30-40 mgN/L för att under senare delen av försöksserien stiga till ca 120 mgN/L åter igen efter att det pågick aktiviteter i tunnel i form av förstärkning med fiberarmerad sprutbetong och injekteringsarbeten. *Se återdiagram 8.1.7.*

8.3 Försöksserie 1:3, kontrollerad laddningsmängd och förladdning

Försöksserie 1:3 startade den 26 augusti 2004 och värden insamlades t.o.m. den 1 september.

Laddning enligt följande:

- Bottenhålen 8 st. hål laddades med 9.6 kg SSE per hål.
- Bottenhjälpare 6 st. hål laddades med 9.6 kg SSE per hål.
- Kil 13st. hål laddades med 9.6 kg SSE per hål.
- Stross 25 st. hål laddas med 8.8 kg SSE per hål.
- Hjälparekonturen 11 st. hål laddades med mellan 4.6-5.5 kg SSE per hål
- Konturen 26 st. med mellan 2.4 och 3.2 kg SSE per hål.

Applicering av förladdning reducerar risken för bakåtbrytning och kraterbildning.

De första två salvorna stoppades 2 st. lerstavar (150mm x 40mm) in i respektive laddat hål och packades efter bästa förmåga med laddkäpp. Därefter snedskars lerstaven så att det gick att kila fast den mot hålväggen med hjälp av ett tryck med laddkappen.

Ett avbrott med förladdning utfördes under helgen den 27-28 augusti 2004 för att därefter återupptas igen.

Tidsmässigt så tar det ca 30 min längre vid laddning med förladdning jämfört med laddning utan förladdning, förutsatt att lerstavarna är snedskurna och förberedda att föras in i borrhålen.

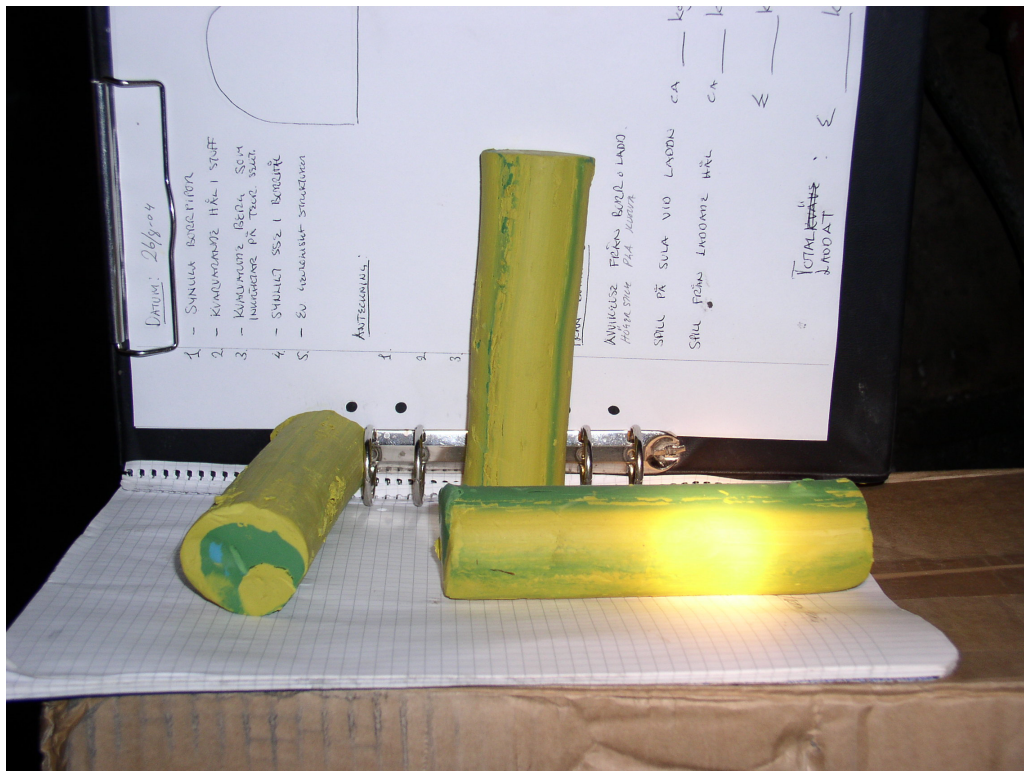


Foto 8.3.1. Förladdning med lerstavar (modellera) – Björnböle

Förväntat resultat:

- Lägre utsläpp av kväve
- Mycket reducerad luftstötvtåg
- Lägre specifik borring
- Lägre total laddningsmängd sprängämne.
- Antalet hål och den specifika laddningen i salvan reduceras något.

Detta innebär något större försättningar och därmed ytterligare något mindre risk för bakåtbrytning.

I slutet av den här försöksserien uppdagades det att Skanska recirkulerade processvattnet för att återanvända vattnet vid borring. Vattnet pH-justerades inte vilket innebär att vattnet redan från början innehöll en del kväve som vi inte hade räknat med i försöket. Nivåerna (mgN/L) i försöket med SSE är för hög eftersom pH är en exponentialfunktion och höga pH-värden bidrar starkt till jonsumman. Här gör vi ett antagande att den tillförda kvävenivån är ungefär lika stor under hela försöksperioden. Rätt eller fel så kan vi då titta på förändringen under försöksserierna och tolka informationen utifrån densamma.

8.4 Försöksserie 1:4, kontrollerad laddningsmängd, förladdning och elektroniska sprängkapslar

Tyngdpunkten i det här försöket ligger på att få en bättre slutkontur. Samverkan mellan hjälparhålen och konturhålen uppnås med hjälp av elektronikkapsel och stor noggrannhet i borring. Alternativt kan cord användas för att erhålla samverkan mellan konturhålen.

Förväntat resultat: Något lägre utsläpp av kväve, större andel synliga borrhålen, slätare slutkontur.

Tyvärr kom försöket av sig då det inte fanns några elektroniksprängkapslar att tillgå vid försökstillfället.

8.5 Försöksserie 1:5, öppning med hjälp av plogkil eller annan alternativ öppning

Öppning med hjälp av exempelvis plogkil innebär delvis nya förutsättningar. I det försöket genomförs sprängningen i övrigt som vid försök 2 ovan. Detta innebär kontrollerade laddningsmängder och avladdningslängder men inga förladdningar eller speciella åtgärder vid kontur.

Förväntat resultat: Lägre kväveutsläpp och eventuellt lägre vibrationsnivåer.

På grund av ovanstående händelser i försöksserie 3 och försöksserie 4, så blev det aldrig aktuellt att genomföra försöksserie 5.

9 Genomförande Namntall

Försöken med insamling av information från tunneldrivningen vid stoff/tunnelfront startade den 17 september 2004 och pågick fram till den 2 november 2004.

9.1 Försöksserie 2:1, normalförfarande

Som utgångspunkt för kommande försök dokumenterades normala förfarandet vid borrhning, laddning och upprättande av tändplan. Det är då viktigt att den verkliga borrh- och laddplanen tas fram och att laddningsmängder och avladdningslängder i de enskilda borrhålen mäts upp.

Samtidigt genomförs hela kontrollprogrammet. Försöksserien 2:1 startade 17 september och värden insamlades t.o.m. den 30 september.

Laddtrucken backades ned till stoffen med sin tryckkärlsutrustning för sprängämnet ANFO. Utrustningen går att styra via ett reglage som slår av eller på införseln av ANFO med hjälp av tryckluft. Samtliga hål laddades normalt med ANFO förutom bottenhålen och konturhjälpere som laddades med DynoRex och konturhålen som laddades med 80 grams Cord. *Se foto 9.1.1.*

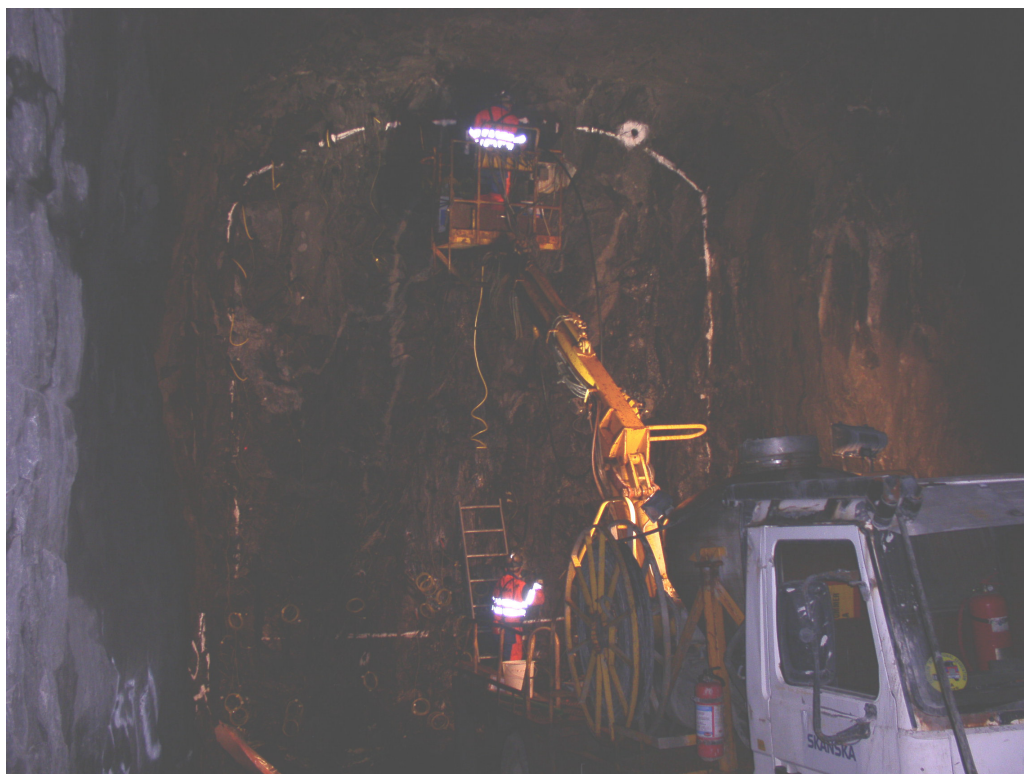


Foto 9.1.1. Laddtruck Anfo– Namntall

När väl utrustningen kommit på plats startar laddningsförfarandet med att primer och tändare placeras i respektive hål i enlighet med laddplan som i princip såg ut som laddplanen i Björnböle, *se skiss 8.1.2*, men med en förändrad parallellhålsöppning med endast tre grovhål, *se foto 9.1.2*.

Det var normalt. i en tunnelsalva, 84 st. borrhål som borrats till en längd av drygt 4 m samt 3 st. grovhål. Det förekom även tunnelsalvor som var näst intill dubbelt så stora i samband med att en mötesnisch sprängdes ut.

Totalt 84 laddades borrhål med 290 kg sprängämne (ANFO, DynoRex och 80 grams DynoCord). Specifik laddning 2.1 kg/m³ beräknade efter en 35 m² tunnelarea och 4 m håldjup.

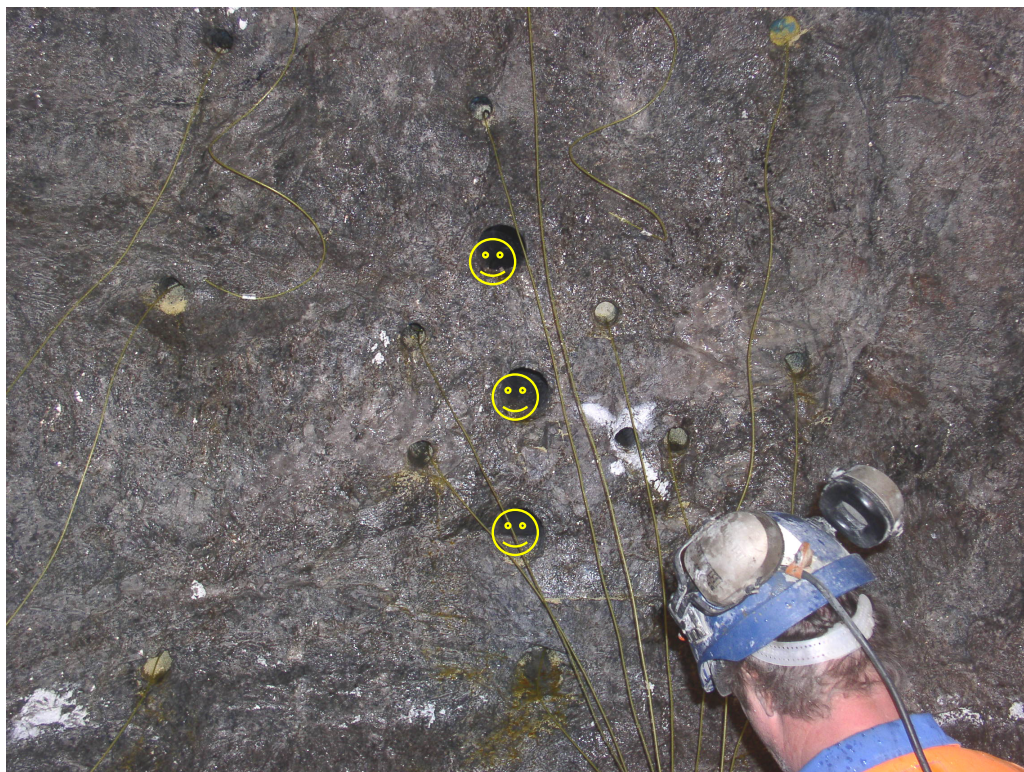


Foto 9.1.2. Grovhålsöppning 3 grovhål - Namntall

En av operatörerna kliver upp i laddkorgen medan den andra operatören laddar från sulan. Bottenhålen laddas med DynoRex efter att ett plaströr tas bort. Plaströret sätts på plats när borrhålet är nyborrat för att förhindra att borrhålskax och stenar ska täcka det vid den fortsatta borrhållningen. Trots detta kan det vara svårt att hitta både rör och hål när det är dags att ladda salvan.

Konturen laddas med en gul 80 grams DynoCord med en ¼ DynoRex 25 som primer och konturhjälparna med DynoRex 25, *se foto 9.1.3.*



Foto 9.1.3. Galleri och konturladdning från laddkorg - Namntall

Observationer av hanteringen på stuff var bl.a.:

- Vid laddning så flyger det hela tiden ute en liten del ANFO med luften som strömmar ut från hålet. Detta hamnar på sulan och löses upp i processvattnet.
- Har laddaren inte avslutat laddningen i tid så strömmar Anfo ut ur hålet.
- Kilen/öppningen var laddad med ANFO.
- Borriggen en Atlas Copco 185 saknade utrustning för att rikta borrhålen.
- Det finns en risk att del av borrhålet med dess innehåll slits bort före detonation p.g.a. att angränsande hål får en s.k. bakåtbrytning och helt enkelt spränger bort delar av borrhålet.
- Den markanta ammoniakdoften som förekommer, speciellt med laddning av ANFO i kombination med cement, var i det här fallet påtaglig och stark.
- Laddningen av hel salva med ANFO och DynoRex tar längre tid i förhållande till att ladda med SSE. Uppskattningsvis ca 1 timme längre.
- Laddning innefattar hantering av tunga lådor med DynoRex.

Resultatet av sprängningen visa att nästan 70 % av borrhålen i taket var synliga och endast ca 40 % av borrhålen i väggarna.

Det förekom i nästan varje salva rester av DynoCord, antingen i berghögen eller i konturen, *se foto 9.1.4.*



Foto 9.1.4. Odetonerad DynoCord i berghög - Namntall

Genomsnittlig indrift under försöksserien var 4 m. Spillet av ANFO på stuff minskade successivt från nästan 10 kg ANFO ned till ett par kg.

En mindre del glasögon och kvarvarande berg förekom i konturen och stuff. Dessa åtgärdades i samband med efterföljande salva ofta med hjälp av DynoRex 29.

Andra aktiviteter som påverkar resultaten är förstärknings och tätningsarbeten med cement. Det är cementets reaktion med ANFO som medför att ammoniak bildas. Cementen är basiskt vilket medför en höjning av pH värdet. Hur mycket, är i det här fallet inte möjligt att säga, men vi vet att det har en påverkan på försöksresultatet då den formeln, för att ta fram mängden kväve, bl.a. är baserat på pH värdet.

Slamsugning och tömning av sedimentationskar medförde att mätarna ibland timvis blev utan vatten. Orsaken var att instrumenten satt i det sista karet, beläget utanför tunneln, av totalt sex stycken sedimentationskar och varje kar måste nästan helt fyllas innan något vatten kunde pumpas över till nästa kar o.s.v., *se foto 9.1.5.*



Foto 9.1.5. Slamsugning ur sedimentationskar - Namntall

Under försöksserien låg kväveutsläppet på en snittnivå runt 40 mgN/L (milligram kväve per liter processvatten), se diagram 9.1.6

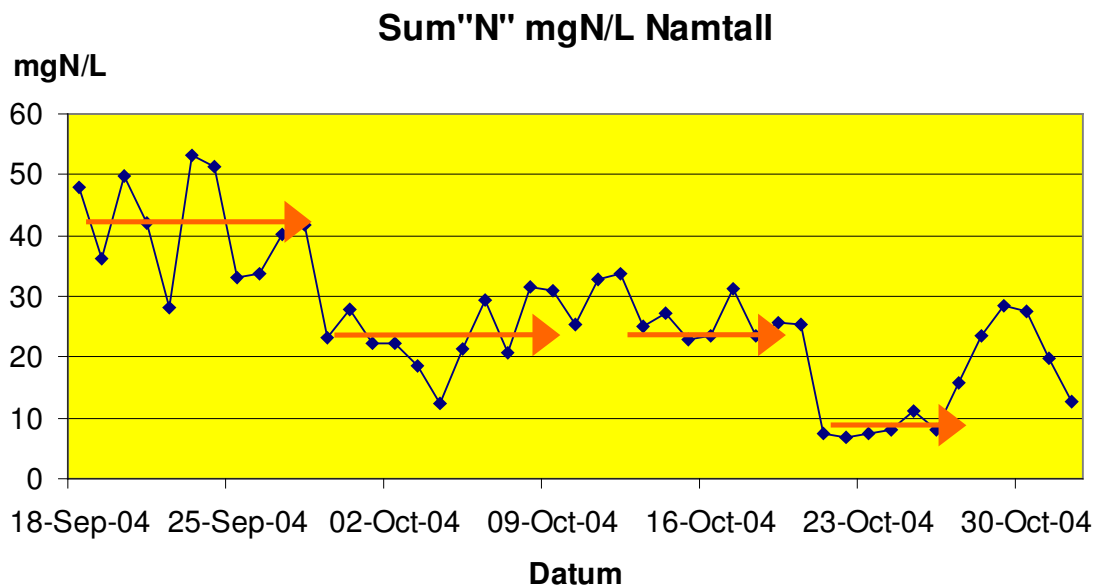


Diagram 9.1.6. Kvävemängd i processvatten – Namntall

9.2 Försöksserie 2:2, kontrollerad laddningsmängd och avladdningslängd

Försöksserie 2:2 startade den 1 oktober 2004 och värden insamlades t.o.m. den 12 oktober på samma sätt som i försöksserie 1:2, *se avsnitt 8.2*.

Hur avladdning skulle ske bestämdes helt och hållet av Skanskas personal.

Salvorna laddades enligt följande:

- Bottenhålen 8 st. hål laddades med fullt ut med DynoRex 32 det vill säga 4 m.
- Bottenhjälpare 6 st. hål ANFO laddades med 0-0.4 m avladdning per hål.
- Kil 12st. hål ANFO laddades med 0.2-0.5 m avladdning per hål.
- Stross 24 st. hål ANFO laddades med 0.5-1.2 m avladdning per hål.
- Hjåparkonturen 10 st. hål laddades med ett rör DynoRex 29 och två rör DynoRex 25
- Konturen 24 st. med 80 grams DynoCord och ¼ DynoRex 29.

Totalt 84 borrhål laddades med 290 kg sprängämne (ANFO, DynoRex och DynoCord). En specifik laddning på 2,1 kg/m³, beräknade efter en 35 m² tunnelarea och 4 m håldjup.

Förväntat resultat: Lägre utsläpp av kväve och något reducerad luftstöt våg.

Disciplinen med att undvika att ANFO hamnade utanför borrhålet förbättrades så att det i snitt var ca 2 kg ANFO som hamnade på sulan eller utanför borrhålet.

Resultatet var att kvävet i processvattnet sjönk från i snitt 40 mgN/L till 25 mgN/L under försökserien. Aktivitet i tunnel i form av förstärkning med fiberarmerad sprutbetong och injekteringsarbeten påverkade resultatet, hur mycket är dock inte utrett. Se åter diagram *figur 9.1.6*.

9.3 Försöksserie 2:3, kontrollerad laddningsmängd och förladdning

Försöksserie 2:3 startade den 13 oktober 2004 och värden insamlades t.o.m. den 20 oktober på enligt samma förfarande som i försöksserie 1:3, *se avsnitt 8.3*.

Laddning enligt följande:

- Botten 8 st. borrhål laddades fullt ut med 4 m DynoRex 32.
- Bottenhjälpare 6 st. borrhål ANFO laddades med 0-0.4 m avladdning per hål.
- Kil 12st. borrhål ANFO laddades med 0.2-0.5 m avladdning.
- Stross 24 st. borrhål ANFO laddades med 0.5-1.2 m avladdning.
- Hjåparkonturen 10 st. borrhål laddades med ett rör DynoRex 29 och två rör DynoRex 25
- Konturen 24 st. med 80 grams DynoCord och ¼ DynoRex 29.

Ett avbrott med förladdning utfördes under helgen den 16-17 oktober 2004 för att därefter återupptas igen. Det intressanta här är att kvävet i processvattnet stiger med ca 20 % till drygt 30 mgN/L för att sedan åter lägga sig på en nivå runt 25 mgN/L.

9.4 Försöksserie 2:4, referens med patronerade hål

Eftersom det fortfarande inte fanns några elektronisprängkapslar att tillgå vid försökstillfället den 21 oktober utfördes en försöksserie där endast patronerade sprängämnen och DynoCord användes för att ta ut berget.

Samma borr och tändplan användes som vid föregående försöksserier. Åtgången av sprängämne minskade med ca 20 % från mellan 290-300 kg ned till 235 kg.

Tyvärr inleddes försöksserien med två rejäla bomsalvor, nästan halva salvan stod kvar. En trolig orsak var att öppningen var felborrad. Hålsättningen i stuff var korrekt men försättning och hålavstånd i botten av borrhålen var felaktig. Detta kan bero på att borrhålen i fråga, Atlas Copco BM 185, saknade riktinstrument.

Kvävemängden i processvattnet sjönk från tidigare 25 mgN/L till en nivå på mellan 7-11 mgN/L.

9.5 Försöksserie 2:5, öppning med hjälp av plogkil eller annan alternativ öppning

På grund av ovanstående händelser, försöksserie 3 och 4, så blev det aldrig aktuellt att genomföra försöksserie 5.

10 Jämförelse mellan olika sprängämnen

Här är en jämförelse, vid neråtgående drivning av arbetstunnel för Björnböle mellanpåslag, mellan patronerat sprängämne, ANFO och SSE.

I inledningsskedet av drivningen användes patronerat sprängämne. Från och med den 21 februari 2004 användes ANFO i stället för patronerat sprängämne i huvudsalvorna, men vid alla omskjutningar används patronerat sprängämne. Man använde ANFO som huvudsprängämne fram till den 25 maj. Därefter började man använda SSE efter att Mini-SSE trucken leverats från Varvsberget, Örnsköldsvik. Vid omskjutningar användes fortfarande patronerat sprängämne.

En sammanställning över analyserade salvor redovisas i *diagram 10.1*.

För att kunna göra en jämförelse av kväveförluster för olika typer av sprängämne måste dessa förluster ställas i relation till mängden tillförd kväve, d.v.s. hur mycket sprängämne som används i varje salva. För att underlätta denna jämförelse har vi beräknat den specifika laddningen i salvan. Denna beräknas som (Total laddning, kg/salvans volym, m³)

Vid redovisningen har vi valt att använda oss av de salvor som ligger tidsmässigt närmast ett byte av sprängämne. Efter introduktionen av det nya sprängämnet går det ganska många salvor innan produktionen sätter sig och att man får ner antalet omskjutningar.

Ur diagrammet över specifik laddning kan vi se att laddningskoncentrationen har ökat successivt men med markanta ökningarna vid införandet av ny sprängämnestyp. För patronerat sprängämne var medelvärdet på laddningskoncentrationen 1.58 kg/m³ för de sista sex salvorna innan skiftet till ANFO. Medelvärdet på de sex sista salvorna med ANFO innan man gick över till SSE var 2.36 kg/m³. Under sommaren innan de sprängtekniska försöken inleddes hade laddningskoncentrationen ökat ytterligare till 3.21 kg/m³ för de sex redovisade salvorna.

Det har således ägt rum en fördubbling av laddningskoncentrationen när man övergått från patronerat sprängämne till SSE där det största språnget ägde rum i övergången från ANFO till SSE. Samtidigt har man minskat på antalet salvhål från 102 – 106 för patronerat sprängämne till 96 – 98 st. för SSE. Hålllängden var också regelmässigt längre för SSE då man borrade 5.6 – 5.8 m långa salvhål istället för salvor runt 5.0 m för ANFO och patronerat.

Vi har också studerat hur lång tid det tog att skjuta sex st. fullsalvor inklusive den tid det tog för eventuella omskjutningar. De sex senaste salvorna med patronerat sprängämne tog ca sju dygn inklusive fem st. omskjutningar. För ANFO tog det också ca sju dygn men med bara en omskjutning och för SSE sju dygn med 3 omskjutningar (data från juni). Man har således skjutit ca 0.9 salvor per dag i snitt oavsett typ av sprängämne och antal omskjutningar.

Indriften är svår att uppskattas på ett bra sätt eftersom det var olika borrlängd på salvor inom samma produktgrupp. Det går dock att konstatera att det finns en del förbättringar som måste till innan man kommer upp till acceptabla nivåer på 95 % indrift.

Björnböle
Laddningskoncentrationen för olika typer av sprängämnen

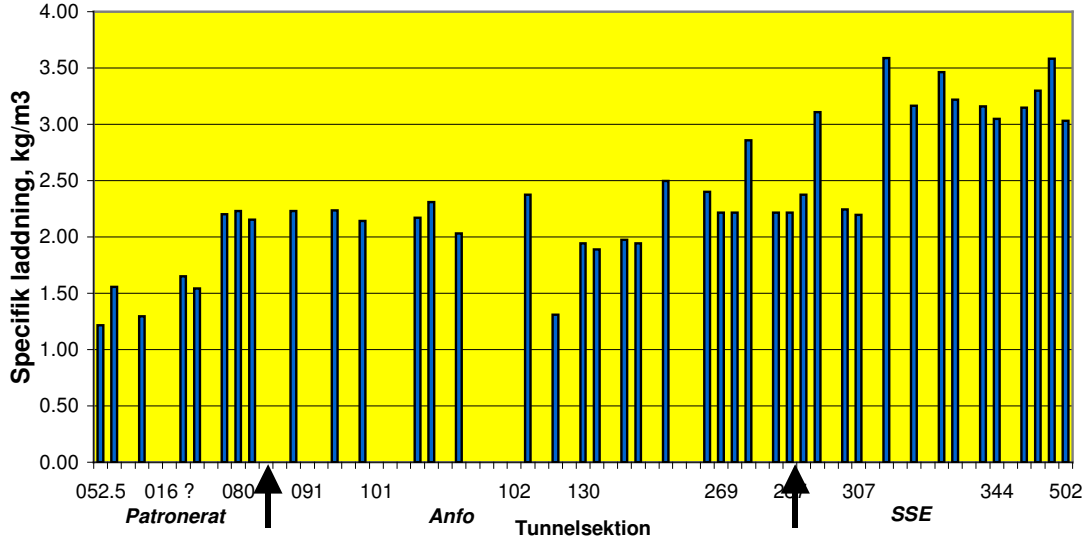


Diagram 10.1 Laddningskoncentration – Specifik laddning, kg/m³

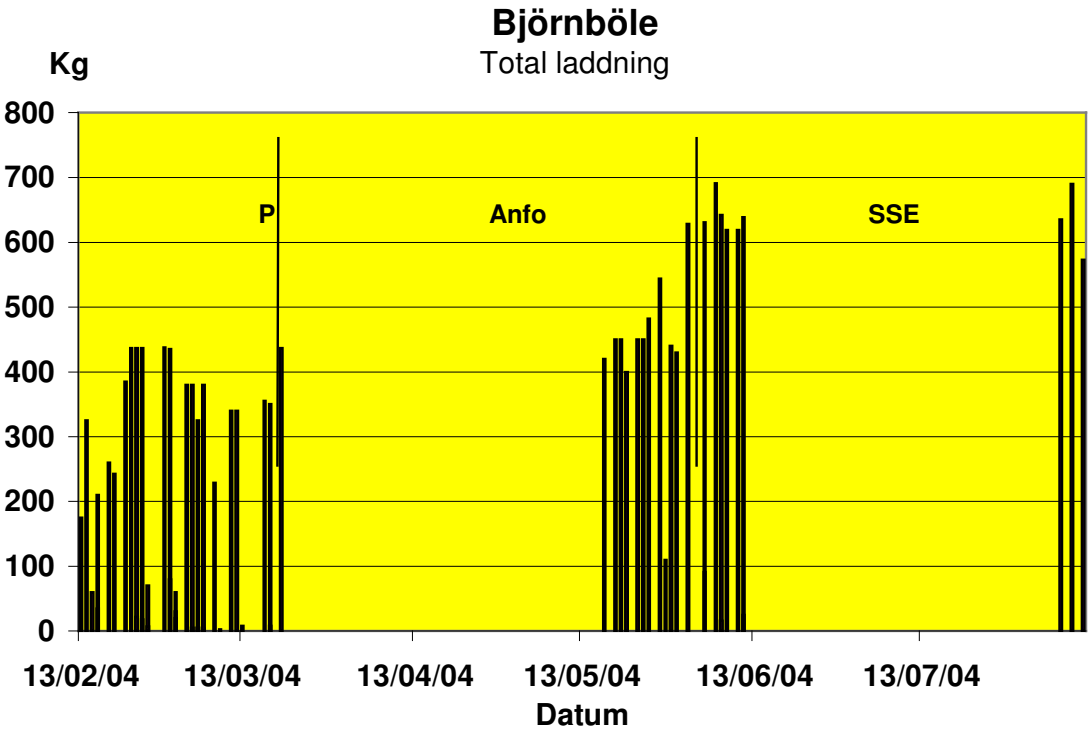


Diagram 10.2 Laddningsmängd – kg/salva

11 Resultat

Resultatet av undersökningarna visar att det på ett ganska enkelt sätt går att påverka tunneldrivningen så att miljöpåverkan från sprängningen minskar. Här handlar det framförallt om att förändra arbetsrutinerna och tydliggöra betydelsen av att utföra de sprängtekniska momenten på ett korrekt sätt.

- **Normalförfarande** – Spill och bristfällig avladdning av borrhål leder till onödigt höga halter av kväve i processvattnet vid båda tunnelnedfarterna.
- **Kontroll av avladdning** - Under försöksserien så minskade kvävekoncentrationen vid båda nedfartstunnlarna. En bidragande orsak till minskningen av mängden kväve är att det vid laddning inte förekommer något nämnvärt spill på stuff när man kontrollerar operatörernas förmåga att avladda salvhålen.
- **Förladdning med lerstavar** - Den här försöksserien har inte påvisat någon förbättring i jämförelse med försökserie 2, avladdning, snarare tvärtom. Däremot är det även här en avsevärd förbättring jämfört med normalförfarandet.
- **Helt patronerad salva.** (Genomfördes endast vid tunneln i Namntall) - Försöksserien visar på att det sker en dryg halvering av kväveförekomsten ur processvattnet i jämförelse med processvattnet ur försöksserie 2 med ANFO och avladdning. Detta beror framförallt på att DynoRex inte bryts ned lika snabbt som ANFO och SSE. Det sker inte något spill på stuff vid laddning samtidigt som hålen inte överladdas. Miljöpåverkan via processvattnet är begränsad. Däremot kan man förvänta sig en längre nedbrytningsperiod av odetonerat DynoRex vid bergupplagen och krosstationerna. Det tar en till en och en halv timme längre tid att ladda en helt patronerad salva, i jämförelse med en ANFO laddad salva, och kräver en betydligt bättre noggrannhet på riktningen av borrhålen för att salvan ska gå ut.

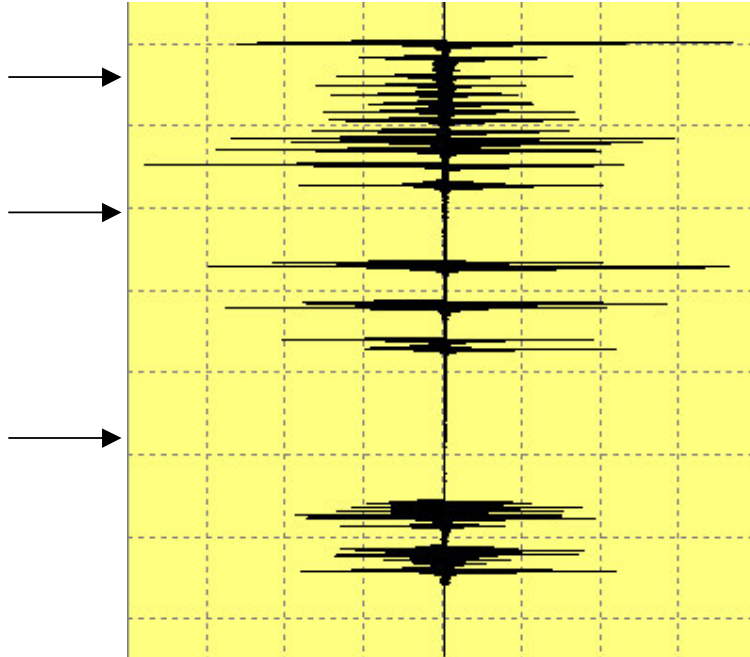
Miljöpåverkan från tunneldrivning kan minskas genom att:

- **Minska spillet:** Förbättra rutinerna och se till att det finns kärl för uppsamling och bortforsling av odetonerat sprängämne som spillts vid laddning av salva.
- **Avladda salvan:** Kontroll av avladdning i jämförelse med normaldrift ger minst en 40 % minskning av kväveutsläpp ur processvatten i det här projektet, d.v.s. arbetsrutiner.
- **Använd SSE:** SSE kvävemängd i förhållande till antal kg laddad SSE är endast hälften av den kvävemängd som ANFO bidrar med per laddat kg.

Förladdning gav ingen påtalad miljövinst i jämförelse med avladdning. Helt patronerade salvor minskade kväveutsläppet ur processvattnet med upp till 50 %, i jämfört med en avladdad ANFO salva, på grund av att DynoRex inte är lika lösligt i vatten som ANFO och SSE. Man kan dock förvänta sig kväveutsläpp under en betydligt längre tid från olika bergupplag samt odetonerat sprängämne som kan orsaka problem vid krosstationer.

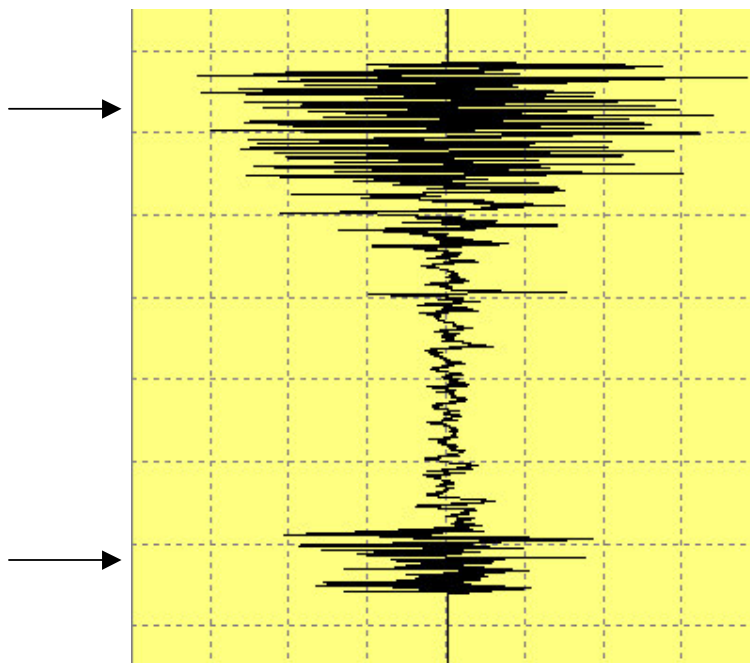
Omgivningspåverkan kan minskas genom att:

- **Korrekt borr & laddplan i kombination med ett korrekt utförande:** Vid mätning av vibrationer med UVS 1500 ser man ibland att ett eller ett par tändarenummer försvinner. Detta sker oftast i inledningen av parallellhålsöppningen förmodligen på grund av överslag i mellan salvhålen. Höga vibrationer fås om energin från sprängämnet inte klarar av att bryta loss berget. Orsaken enligt teorin är framförallt att berget är för inspänt av en eller annan fysisk orsak som t.ex. vid en felborrad parallellhålsborrad kil.



Figur 11.1. Vibrationskurva – Saknade nummer i visas sig i kurvförloppet

- **Avladda alla borrhål:** Vid mätning av luftstötvåg med UVS 1500 visar protokollen på att det är i inledningen och i slutet av salvan som de högsta värdena på luftstöt härrör ifrån. Det vill säga vid parallellhålsöppningen, botten och konturen. Samtliga av dessa hål laddas fullt ut eller nästan fullt ut. Sprängämne detonerar här utan positiv verkan för entreprenören utan medför endast kostnader i sprängämnetsförbrukning och kostnader om luftstötsvågen förstör närliggande fastigheter i omgivning.



Figur 11.1. Kurva från luftstötsvåg – Höga värden i början och i slutet av kurvförloppet

Arbetsmiljö:

- **SSE är ur ergonomisk synvinkel att föredra:** Inga tunga lyft av DynoRexlådor. Mindre doft av ammoniak vid stuff. Mindre mängd nitrosa gaser. Inga detonationer i samband med krossning av bergmaterial. Många positiva kommentarer från operatörerna nere på stuff.



Foto 11.3. Patronerade sprängämnen – Tunga lådor vid laddning av ANFO salva.

Ekonomi:

- **SSE är ur totalekonomisk synvinkel att föredra:** ANFO är billigast per kg sprängämne, jämfört med SSE, men kräver i motsats till SSE att botten laddas med DynoRex och konturen med DynoCord, vilket medför att priset per m³ berg stiger markant. ANFO laddningen tar längre tid än SSE dock tar det längs tid med en helt patronerad salva. SSE har i försöken i Björnböle ca 40 % högre specifik laddning än vid laddning med ANFO. Det tar längre tid att ventilerar ut en ANFO laddad salva.

12 Behov av fortsatt forskning

Eftersom borrhutrustningen som används vid stora tunnelentreprenader utvecklas mot att borra längre salvor, så måste även den sprängtekniska kompetensen kompletteras och utvecklas.

Frågor som kan verka enkla i sig själva, kanske inte alltid är så enkla när de sätts in i ett större sammanhang. Nya förutsättningar, både tekniska och politiska, ger nya krav. Nya krav på bättre teknik, indrift, skonsamhet, miljö, arbetsmiljö och ekonomi.

En vanlig följd av att ”förbättra” när en salva har gått dåligt är att använda mer sprängämne vid nästa salva.....en sådan utveckling är varken bra för miljö, omgivning eller ekonomi.

Det är t.ex. drygt 5 år sedan Stig O Olofsson kom ut med sin reviderade upplaga av ”MODERN BERGSPRÄNGTEKNIK” (1999). En orsak till revideringen var att Stig ansåg att utvecklingen inom området gick så fort att det var befogat. I avsnittet 9.3 laddningsmetoder - laddning med pumptruckar om SME-systemet (Site Mixed Emulsion) och SSE-systemet (Site Sensitised Emulsion) så finns det beskrivet rent tekniskt om produkten och utrustningen. Det finns dock inte ett enda ord skrivet om hur det påverkar förfarandet rent sprängtekniskt, förmodligen för att det vid tillfället fanns för lite kunskap om det hela. Direktiven var att behandla SSE som om det vore ANFO. - Är det verkligen så enkelt?

Nu börjar entreprenörer och gruvor i hela Norden samla på sig en mängd kunskaper om hur SSE fungerar i praktiken. Vilka för- och nackdelar som det för med sig att ladda med SSE.

– Det skulle vara bra om den gemensamma erfarenheten spreds i Norden så att vi i kan fortsätta att hålla oss långt fram inom bergbyggandet.

Här kommer avslutningsvis några förslag på fortsatt forskning:

Bergsprängningsteknik – Nya produkter nya krav:

- Borr & laddplan - Hur ska borr- & laddplanen justeras för att möta dagens teknik och krav på bl.a. skonsamhet och miljö?
- Erfarenhetsuppföljning och fullskaleförsök - Relation mellan tunnelarea och maximal salvlängd. Hur ser det ut idag med ny teknik och nya produkter? Finns det en nedre gräns för när SSE inte är värd att använda, fysiskt eller ekonomisk, gällande hur stor tvärsnittsarea och maximal salvlängd en tunnel har?
- Produktkontroll och utveckling - Hur pass viktigt är det att DynoPrime helt täcks av SSE för att vara säker på en fullständig detonation av strängade konturhål?
- Elektronisprängkapslar – Ett framtida hjälpmedel för kvalitet och miljö eller en myt?

Informationsteknologi – information till databas via GSM:

- Informationen via etern om verklig borrhåls salva från borrhjulet till SSE laddtrucken d.v.s. en direkt riktad erfarenhetsöverföring – optimerar laddningsförfarandet och minskar antalet salvor som inte går ut.
- Mobilt verksamhetsstöd – Det finns idag mängder av dokument och beställningar som ska skrivas av arbetsledare för att säkerställa produktion, kvalitet och miljö vid tunnelarbeten. Ofta skrivs saker ned i slutet av skiftet eller kanske dagen efter eller till och slutet av skiftveckan.

Detta medför att information lätt kan deformeras och vara svår att tyda. Ett mobilt verksamhetsstöd, där information och beställningar skrivs ned direkt vid stuff, för att i ett senare skede ”tankas ned” eller skickas till en databas skulle medföra att informationen blir mer tillförlitlig och bättre beslut kan tas.

- Kontinuerlig uppföljning in i databas - Det finns idag ofta uppföljning av allt arbete som utförs vid tunnelarbete. Är den uppföljningen bra eller är det av vikt att det tas fram en ”lathund” med makron och länkar som direkt kan ge indikation på hur arbetet framskrider både tekniskt, ekonomiskt och miljömässigt?

Kanske finns det redan klara och koncisa svar på dessa? I annat fall är det värt att reda ut hur det står till så att alla som jobbar med dessa frågor får bättre underlag att ta beslut utifrån.

Bättre beslut leder till bättre miljö!



Fotografi taget i Björnböle vårvintern 2004.

Referenser

- Vestre, Jan (2001) "Better environment and advance in tunnels. -The Bragernes project"
- Olofsson, Stig O (1999) "MODERN BERGSPRÄNGNINGSTEKNIK"
- Kontraktshandlingar (2003) E3541 Offersjön – Bjällstaån, Botniabanan

Appendix

I. Organisation

I uppdraget inledning ingick följande organisation:

Projektledare:	Magnus Björkman, Skanska Teknik AB
Projektansvarig:	Gösta Rundqvist, Nitro Consult AB
Sprängteknik:	Per Fallgren, Nitro Consult AB Bengt Niklasson, Skanska Teknik AB
Vibrations-, buller – och stötvågmätning:	Gösta Rundqvist
Laboratorieanalyser:	Petra Carlén, Nitro Consult AB
Kvalitet provtagning och analys	Magnus Hallberg, KTH avd. för Mark & Vattenteknik
Forskningshandledare: KTH, avd jord & bergmekanik	Håkan.Stille, Prof. och Staffan Hintze, adj.Prof.,
Referensgrupp bestående av:	Magnus Björkman, Skanska Teknik Gunnar Lejon, Botniabanan Marie Berglund, Botniabanan Bo Karlsson, Botniabanan Sara Rindeskog, Botniabanan Staffan Hintze, KTH Gunnar Stille, Hörninge Konsult AB

På grund av att Petra Carlén bytt arbetsgivare och att Gösta Rundqvist valt att gå i pension så har Atte Werneman - Nitro Consult AB, Sundsvall arbetat vidare med projektet och projektrapporten.

II. Montering av instrument

Mätutrustningen monterades den 2004-02-09 i klart men kallt väder, - 16°C.

Instrumentet SAT 60 packades upp inomhus och monterades ihop. Sedan utfördes en kalibrering mot buffert. Resultatet visas i tabellen nedan (se även separat kalibreringsprotokoll).

Parameter	Buffert	Uppmätt värde instrument
pH	7.0	6.94
pH	9.0	8.97
Konduktivitet	10.0	9.92
Parameter	Uppmätt värde manuellt	Uppmätt värde instrument
Nivå	4.3 mm	4.1 mm

Instrument och givare monterades sedan vid sedimentationsanläggningen utanför tunnelmynningen.

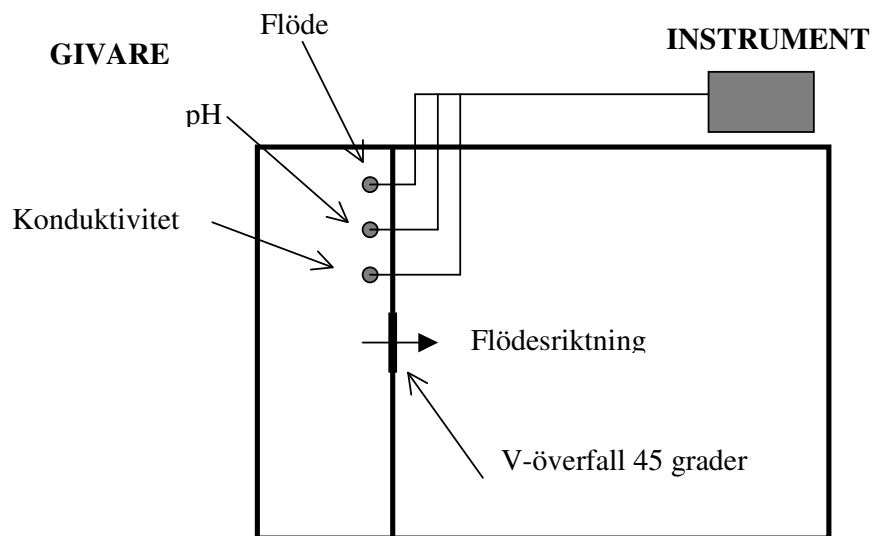


Sedimentationskar utanför tunnelmynningen. Flödesriktningen är från vänster till höger på bilden.



Mätöverfall och mätränna.

Givarna monterades i mättränan i det sista karet enligt följande skiss.



Vid monteringsstillfället var vattnet slammigt och det var mycket olja i karet före mättränan. Det mesta avskiljs dock innan mätpunkten.

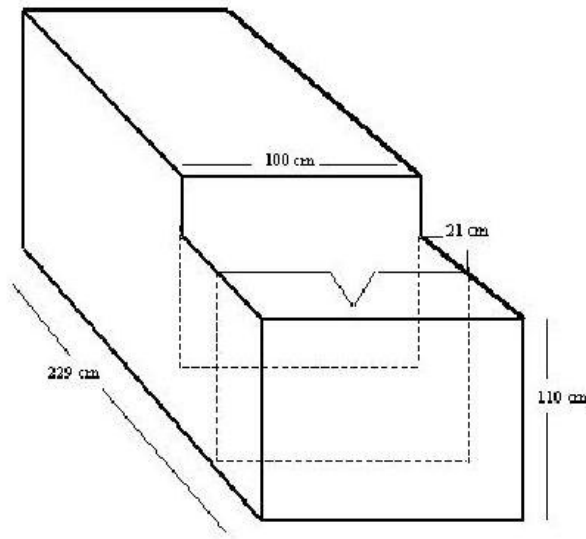
Givarna för konduktivitet och pH monterades lägre än överfallets lägsta punkt för att de inte ska gå torra. Flödesgivaren monterades tillfälligt 20 cm ner i vattnet. Instrumentet kopplades in via strömkabel. Uttaget sitter vid containern. Efter inkoppling visades följande värden:

- pH: 9.0
- Konduktivitet: 0.3 mS/cm
- Flöde: felaktigt värde. Efter samtal med Bertil Olsson på Mitec framgick att fel visas p.g.a. placeringen (givaren satt för långt ner under vattnet).

Givarna skyddades provisoriskt med skumplastmatta. Ett mer permanent skydd ordnades senare.



Givare monterade på tvärslå



Sedimentationskaret måttbestämdes med tumstock.

Mått mätöverfall:



Justering av utrustning. 2004-02-10. Klart väder, - 20°C.

På morgonen hade en pump stannat, varpå slangen mot reningsverket hade frusit och fått bytas ut. Flödet var mycket lågt och det låg en tunn ishinna på vattnet i mätrännan. Bertil Olsson på Mitec gav via telefon beskedet att givarna tål frysning, när de utsätts för minusgrader i luft. De tål dock inte att sitta i vatten som fryser till is, eftersom det medför en fysisk påverkan när isen expanderar. PH-givaren tål inte heller att gå torr.

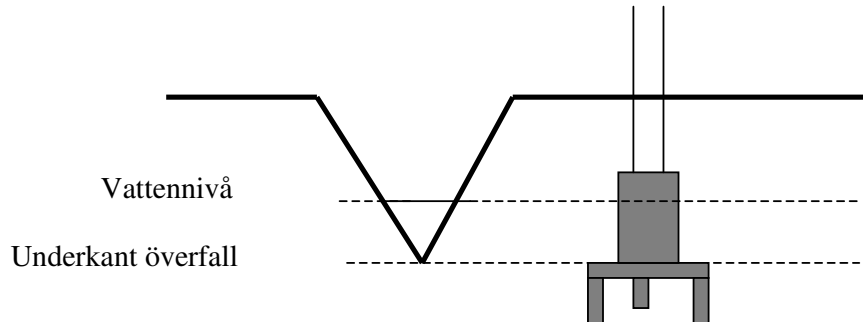
Efter lunch var vattnet i omlopp igen, men då blev det istället översvämning i systemet p.g.a. fäfel på pumpen i sista karet. Vattnet blev som en följd av detta ännu mer slammigt och oljigt.

Under förmiddagen utfördes slamsugning i karen.

Nitro Consult AB

Under dagen utfördes följande:

- Temperaturinställning pH-givare. Temperaturen ställdes in manuellt enligt instrumentmanualen. Inställd temperatur: 8 ° C.
- Nivåjustering flödesgivare. Enligt instruktioner från instrumentleverantören monterades flödesgivaren enligt följande skiss:



Överkanten på givarens fläns ska vara i nivå med underkanten på överfallet. Avståndet mellan givaren och överfallet är 40 cm, dvs lägre än det v-max som föreskrivs i metदानvisning (4 x överfallshöjden = 54 cm).

Kontroll utfördes via telefonkontakt med Mitec. Vattennivån mättes med tumstock till 1,4 mm. Instrumentet angav 1,1 mm, vilket får betraktas som godkänt.

- Givarna kontrollerades. En del slam hade fastnat, framför allt på ovansidan av flödesgivaren. Spår av olja på konduktivitetsmätaren.
- Analys av pH och konduktivitet med fältinstrument utfördes. Jämförelse mellan fältvärden och instrumentvärden gav följande resultat:

pH fältvärde: 8.1 - pH instrument: 8.5

Konduktivitet fältvärde: 0.12 mS/cm - Konduktivitet instrument: 0.02 mS/cm

Vattentemperatur 1.5 grader.