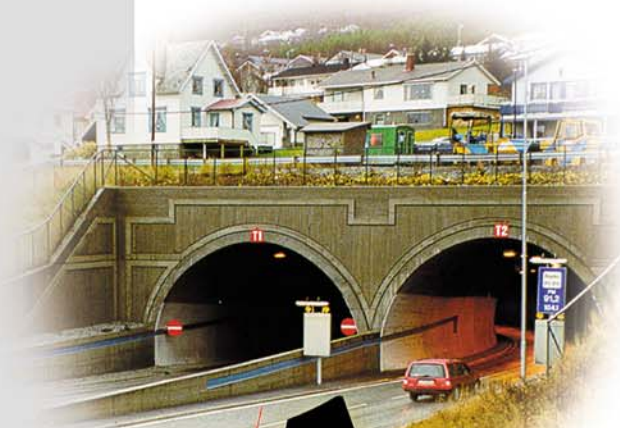


MILJØ- OG SAMFUNNSTJENLIGE TUNNELER

Rapport nr: **20**

Hydraulisk testing av borehull i fjell
i Grualia, Lunner kommune



A



Intern rapport nr. 2296



Statens vegvesen

Rapport nr.: 2002.051		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Tunnelprosjektet: Hydraulisk testing av borehull i fjell i Gualia, Lunner kommune.				
Forfatter: Gaute Storrø, Harald Elvebakk og Jan S. Rønning.		Oppdragsgiver: Statens Vegvesen		
Fylke: Oppland		Kommune: Lunner		
Kartblad (M=1:250.000) Hamar		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1815 I Gran og 1915 IV Lunner		
Forekomstens navn og koordinater: BH5 594570-6682836, BH6 595728-6683129 BH7 596048-6683112, BH8 5945796682794		Sidetail: 50	Pris: Kr 220,-	
Feltarbeid utført: 06.11 - 13.11.2001		Rapportdato: 24.05.02	Prosjektnr.: 282702	Ansvarlig:
<p>Sammendrag:</p> <p>På grunnlag av geofysiske målinger fra helikopter og på bakken er det i regi av prosjektet "Miljø- og Samfunnstjenlige tunneler" boret 4 brønner langs tunneltraseen ved Gualia. Brønnene er fulgt opp med optisk inspeksjon (OPTV) og geofysiske loggemetoder. Brønnene er senere testpumpet og resultatene fra disse pumpe-testene blir i denne rapporten sammenholdt med de geofysiske data.</p> <p>Testpumper viste til dels meget stor vanngiverevne, henholdsvis ca 7, >15, ca 1 og ca 13 m³/time for brønnene Bh5 til Bh8. Dette er klart over gjennomsnitt for eksisterende brønner i tilsvarende bergarter. Ut fra dette kan en forvente store vannlekkasjer ved tunneldrivingen. I tre av brønnene, Bh5, Bh7 og Bh8 fikk en ras, noe som indikerer at det i tillegg kan være stabilitetsproblemer.</p> <p>Geofysisk logging av brønnene og testpumping har bekreftet resultatene fra 2D resistivitetsmålinger på bakken. Dette viser at denne type geofysiske måling kan være et godt redskap ved ingeniørgeologiske forundersøkelser for planlagte tunneler og bergrom. Undersøkelsene beskriver bare de områdene som er undersøkt, og store vannlekkasjer og eventuelt ustabile masser kan selvsagt forekomme andre steder.</p> <p>Bh 7 viser entydig sammenheng mellom lokalisert sprekkeseone ved optisk inspeksjon og vannførende sone påvist ved testpumping. Ved alle påviste vanninnslag er det ved optisk inspeksjon påvist (åpne?) sprekker i en avstand mindre enn 0.6 m fra innslaget. Sett på bakgrunn av usikkerheten i lokaliseringen av vanninnslagene (+/- 0.5 m), må dette sies å stemme godt overens.</p> <p>Testpumping er et nyttig og nødvendig hjelpemiddel for å evaluere muligheter for vannlekkasje ved tunneldriving. Sammenlignet med Lugeon-testing antas testpumping å gi et bedre estimat for vannlekkasje, da en her arbeider med trykkforhold som er mer likt det en oppnår ved tunneldrift.</p> <p>Ved stor vanngiverevne (>5-6 m³/time) kan det praktisk være vanskelig å foreta testpumping siden en må benytte store og uhåndterlige pumper. Denne undersøkelsen viser at testpumping sammen med strømningsmåling i borehullet kan være et godt alternativ. En kan finne en innbyrdes rangering av sprekkens vanngiverevne, og dette sammenholdt med brønnens teoretiske vanngiverevne, kan gi et estimat av vanngiverevne på individuelle sprekker.</p> <p>Kombinasjonen av borehulls inspeksjon/logging og testpumping gir mye informasjon om lekkasjepotensial ved tunneldrift. Det bør fremskaffes mer erfaringsdata omkring samspillet geofysiske data, brønnlogging og testpumping, og ikke minst resulter med hensyn på lekkasje og stabilitet ved tunneldrift.</p>				
Hydrogeologi		Strukturgeologi		Berggrunn
Geofysikk		Borehullslogging		Fagrapport

INNHold

1	INNLEDNING	5
2	TIDLIGERE UNDERSØKELSER.....	5
3	BESKRIVELSE AV UTSTYR FOR HYDRAULISK TESTING.....	6
4	TEORETISK BAKGRUNN FOR SYNKE- OG STIGETESTER.....	6
5	BESKRIVELSE AV DE ENKELTE BOREHULLSLOKALITETER.....	8
5.1	BOREHULL 5	8
5.2	BOREHULL 6	9
5.3	BOREHULL 7	9
5.4	BOREHULL 8	9
6	SYNKE- OG STIGETESTER AV DE ENKELTE BOREHULL	10
6.1	BOREHULL 5	10
6.2	BOREHULL 6	11
6.3	BOREHULL 7	11
6.4	BOREHULL 8	12
7	SAMMENLIGNING AV BOREHULLSLOGG OG TESTPUMPEDATA.....	13
7.1	BOREHULL 5	13
7.2	BOREHULL 6	13
7.3	BOREHULL 7	15
7.4	BOREHULL 8	16
8	DISKUSJON	16
9	KONKLUSJON	20
10	REFERANSER.....	21

TABELLER (i teksten)

1. Omdreiningstall for strømningsmålinger i borehull 6.	14
2. Netto strømningshastighet og vannmengde for sprekkesoner i borehull 6.	15
3. Potensiell kapasitet for de 4 undersøkte borehullene.	16

FIGURER

1. Oversiktskart for Grua-området – Lunner kommune.
2. Detaljkart for østre del av tunneltraseen i Gualia – Lunner kommune.
3. Synkedata borehull 5.
4. Stigedata borehull 5.
5. Grunnvannstand i borehull 6.
6. Synkedata borehull 6.
7. Stigedata borehull 6.
8. Grunnvannstand i borehull 7.
9. Synkedata borehull 7.
10. Stigedata borehull 7.
11. Vannmengde borehull 7.
12. Grunnvannstand og vannmengde i borehull 8.
13. Synkedata borehull 8.
14. Stigedata borehull 8.
15. Vannstand og vannmengde i borehull 8.
16. Bilde-logg borehull 5, 5-6 lpm og 15-18 lpm
17. Bilde-logg borehull 5, 24-27 lpm og 28-30 lpm.
18. Bilde-logg borehull 5, 38.5-41.5 lpm og 52-54 lpm.
19. Bilde-logg borehull 5, 57.5-61.5 lpm.
20. Bilde-logg borehull 6, 41-47 lpm.
21. Bilde-logg borehull 6, 78-83 lpm.
22. Bilde-logg borehull 6, 108-113 lpm.
23. Bilde-logg borehull 7, 5.5-10.5 lpm.
24. Bilde-logg borehull 7, 10.5-13 lpm.
25. Bilde-logg borehull 7, 31-35 lpm.
26. Bilde-logg borehull 7, 35-39 lpm.
27. Bilde-logg borehull 8, 42-44 lpm og 47-49 lpm.
28. Bilde-logg borehull 8, 50-55 lpm.
29. Bilde-logg borehull 8, 55-60 lpm.

1 INNLEDNING

I forbindelse med NFR-prosjektet "Miljø- og samfunnstjenelige tunneler", ble det i november 2001 utført hydraulisk testing av borehull i fjell i Gualia i Lunner kommune. Statens vegvesen er her i gang med bygging av en 3.8 km lang veitunnel gjennom Dalsjø-/ Korsvasshøgda. Tunnelen er en del av den nye tverrforbindelsen mellom RV 4 i vest (Lunner) og RV 174 i øst (Gardermoen).

Undersøkelsesborehull var plassert i lokaliteter langs tunneltraseen hvor det ut fra tidligere utførte geofysiske og geologiske undersøkelser ble antatt at markerte sprekkesoner i berggrunnen kunne opptre. Borehull 5 og 8 er lokalisert ved Langvatnet, ca midtveis på tunneltraseen, og borehull 6 og 7 ca 0.9 og 0.5 km vest for østre tunnelpåhugg. Hovedmålene med den hydrauliske testingen var å; 1) bekrefte/avkrefte hvorvidt sprekkesonene som var indikert gjennom geofysiske målinger var vannførende/vanngivende, 2) kvantifisere den potensielle totalkapasiteten for de enkelte borehull og om mulig kapasitet for de enkelte sprekkesystemer, 3) vurdere de innsamlede data i forhold til mulige lekkasje- og stabilitetsproblemer i veitunnelen.

Parallelt med den hydrauliske testingen ble det utført; 1) borehullslogging med optisk televiewer (OPTV), 2) målinger av grunnvannets temperatur og konduktivitet og av gammastråling fra berggrunnen (TCG-logg) samt 3) målinger av berggrunnens resistivitet. Resultatene fra disse sistnevnte undersøkelsene er presentert i egen rapport (Elvebakk et al 2001).

2 TIDLIGERE UNDERSØKELSER

Geologiske og ingeniørgeologiske forhold i det aktuelle området er beskrevet i rapport fra forundersøkelser av Kirkeby og Iversen (1996). Disse data ble supplert ved at NGU samlet inn mer detaljerte data knyttet opp mot de svakhetssoner som var observert i berggrunnen. På grunnlag av de foran nevnte undersøkelsene ble det utført refraksjons-seismiske målinger over Langvatnet (Geomap 1997) og foretatt en kjerneboring under Langvatnet (Iversen 1998). Hydrologiske konsekvenser av tunnelen er beskrevet av Jordforsk (Kløve m.fl. 1999).

NGU har tidligere gjort 2D resistivitetsmålinger langs deler av tunneltraseen og logging av resistivitet i 4 brønner (Rønning & Dalsegg 2001). NGU har også utført geofysiske målinger fra helikopter over det aktuelle området (Beard 1998, Beard og Mogaard 2001). Som en første fase av Tunnelprosjektet har NGU foretatt en tolkning av disse data med vektlegging på lineamenter (strukturer) som kan ha betydning for tunnelbyggingen (Beard 2001).

3 BESKRIVELSE AV UTSTYR FOR HYDRAULISK TESTING

Med begrepet "hydraulisk testing" av borehull i fjell forstås her testpumping (synke- og stigetest) som har til hensikt å lokalisere eventuelle vannførende sprekker i berggrunnen samt å frembringe data om total produksjonskapasitet (uttakbar vannmengde) for det aktuelle borehullet. Begrepene "hydraulisk testing" og "testpumping" er anvendt som synonyme i rapportteksten.

Det ble benyttet en senkpumpe av merket Grundfos type SP 5A-60 som har en ytelse på minimum $6.8 \text{ m}^3/\text{time}$ ved 100 m løftehøyde. De dypeste borehullene som skulle testes var planlagt boret til 180 m's dyp. Ut fra den gitte pumpekaraktistikken ville pumpen da være i stand til å tømme en 180 m dyp brønn for vann dersom borehullenes totale produksjonskapasitet var mindre enn $6 \text{ m}^3/\text{time}$.

Som stigerør ble det benyttet høytrykks PE-rør med OD50 mm (ID40 mm). For kontinuerlig registrering av vannstandsendringer under testpumpingen ble en trykkløser, med måleområde 0-100 m vannsøyle, festet til PE-røret 0.5-1.0 m ovenfor pumpens øverste ende. Vannstandsdata ble lagret på en standard datalogger (4-20 mA inngangssignal), med lagringsintervall 8 sekunder.

En elektromagnetisk vannmengdemåler av type Endress+Hauser Discomag, med måleområde $0.3-6 \text{ m}^3/\text{time}$, ble koblet til utløpet av PE-røret. Vannmengdedata ble lagret på en standard datalogger (4-20 mA inngangssignal), med lagringsintervall 8 sekunder.

4 TEORETISK BAKGRUNN FOR SYNKE- OG STIGETESTER

Data som samles inn under den hydrauliske testingen, består av tabeller/grafar som viser: 1) hvordan utpumpet vannmengde varierer som funksjon av tid, 2) hvordan vannstanden (tryknivået) i borehullet synker over tid, som en følge av at vann pumpes ut og 3) hvordan vannstanden i borehullet stiger etter at pumpingen er avsluttet. Forløpet av disse synke- og stigekurvene kan gi opplysninger om beliggenhet av vannførende sprekkesoner i borehullet.

I et borehull som krysses av en eller flere vannførende sprekkesoner kan det gjennom geometriske og volumetriske betraktninger vises at det vil fremkomme knekkpunkter både i synke- og stigekurven i de nivåer hvor sprekke krysser borehullet. Stigekurven vil være den sikreste kilden for å lokalisere knekkpunkter idet denne kurvens forløp er entydig gitt av det naturbestemte vanntilsiget til borehullet.

Synkekurven vil inneholde "støy" som er forårsaket av ukontrollerte, tilfeldige variasjoner i pumpens kapasitet. For standard senkpumper vil en i tillegg ha det forhold at kapasiteten avtar med økende løftehøyde/vannstandssenkning. Denne kapasitetsreduksjonen er imidlertid regelmessig og det kan kompenseres for effekten ut fra pumpens karakteristikk (kurve som

viser pumpens vanngiverevne ved ulike løftehøyder). Idèelt sett burde det likevel benyttes turtallsregulerte senkpumper, som gir en (tilnærmet) konstant vannmengde uavhengig av løftehøyde, samtidig som utpumpet vannmengde måles. En ville da ha et datagrunnlag som gir mulighet for en dobbeltsjekk av målingene, og et betydelig sikrere grunnlag for å benytte synkekurvedata for lokalisering av knekkpunkter (d.v.s. mulige vannførende sprekkesoner).

Det kan ofte være vanskelig å lokalisere knekkpunkter i grafen når synke- eller stigedata fremstilles som grunnvannstand, GVS, som funksjon av tid, t ; ($GVS=f(t)$). En bedre metode er å plote synke- eller stigehastigheten, SH, som funksjon av tid ($SH=g(t)$, den "deriverte" av vannstandsgrafene gir grafens stigningstall ($g(t)=f'(t)$). Data som innsamles under testpumpingen foreligger på formen "vannstand ved gitte tidsintervaller" (her 8 sek) hvilket gjør det enkelt å plote synke- eller stigehastigheten som funksjon av tid.

Den maksimale (korttids) produksjonskapasiteten for en borebrønn i fjell kan bestemmes ved at brønnen pumpes helt tom, dvs. senkpumpen monteres i bunnen av brønnen og vannstanden senkes helt ned til pumpens vanninntak. Man lar så pumpen fortsette å gå slik at den støtvis pumper vann og støtvis "pumper luft". Man registrerer gjennom hele støtpumpingsperioden vannmengden v.h.a. en vannmengdemåler eller ved oppsamling av utpumpet vann i et målekar. Det totale vannvolumet som er pumpet ut i løpet av den tiden som støtpumpingen har pågått gir da et mål for brønnens maksimale (korttids) produksjonskapasitet. En alternativ fremgangsmåte er å senke vannstanden ned til et nivå noen meter over pumpens vanninntak, for så å justere utpumpet vannmengde med en stoppekran, inntil vannstanden stabiliseres på et nivå 2-5 m over pumpen. Vannmengden som da pumpes ut vil tilsvare den maksimale (korttids) produksjonskapasiteten.

Dersom brønnens produksjonskapasitet er større enn senkpumpens maksimale kapasitet, vil det ikke være mulig å tømme brønnen med den aktuelle pumpen. Vannstanden i brønnen vil da senkes og gradvis stabilisere seg på et nivå som defineres ut fra likevekt mellom vanntilsiget i brønnen og pumpens maksimale kapasitet ved den gitte løftehøyden.

Vi forutsetter at de viktigste vannførende sonene krysser borehullet i dets dypest liggende deler (nederste 10 % av brønnlengden) samtidig som pumpingen bevirker en trykkreduksjon (vannstandssenkingen) i borehullet, som er mye større enn trykkreduksjonen i de vannførende sprekkene [Δp -sprekk : Δp -brønn) < anslagsvis 1:100]. En orienterende, teoretisk verdi for brønnens maksimale kapasitet kan da bestemmes ved at vannmengden øker lineært som funksjon av vannstandssenkingen (vannmengden er proporsjonal med trykkgradienten). Som et eksempel kan vi betrakte en brønn som er boret til 100 m dyp under grunnvannsspeilet og hvor de viktigste vannførende soner krysser borehullet i nivå 90-100 lpm. Dersom brønnen ved testing gir en konstant vannmengde på $2 \text{ m}^3/\text{time}$ ved en vannstandssenking på 50 m, vil brønnen kunne ha en maksimal produksjonskapasitet av størrelsesorden $4 \text{ m}^3/\text{time}$ ved 100 m vannstandssenking. Dette teoretiske kapasitetsanslaget er i den etterfølgende teksten betegnet som "potensiell kapasitet".

Dersom brønnens produksjonskapasitet er større enn senkumpens maksimale kapasitet, vil det, naturlig nok, kun være mulig å fremskaffe synke- og stigekurver som dekker den ”tørrlagte” delen av borehullet. For å oppnå maksimalt utbytte av denne type hydraulisk testing er det derfor viktig å benytte pumper med tilstrekkelig kapasitet til å tørrlegge hele borehullet. Dette problemet viste seg å oppstå for 3 av de 4 borehullene som ble testet i dette prosjektet, til tross for at det her ble benyttet en senkumpe med en maksimal kapasitet som må betegnes som meget stor (6.8 m³/time ved 100 m løftehøyde) i forhold til normal kapasitet for brønner boret i ”norsk” berggrunn. Større senkumpumper finnes naturligvis, men mål og vekt for slike utrustninger (pumpe, vannslange og strømkabel) blir av en dimensjon som kun kan håndteres med store løftekraner.

5 BESKRIVELSE AV DE ENKELTE BOREHULLSLOKALITETER

Oversiktskart for undersøkelsesområdet er gitt i figur 1. Detaljkart for geografisk lokalisering av de enkelte borehull er gitt i figur 2. Det har også i tidligere faser av dette prosjektet vært utført boringer, slik at det første borehullet som omtales i denne rapporten er borehull 5.

For borehull som er boret med et vinkelavvik i forhold til loddlinjen vil høyder/dybder i borehullet kunne angis v.h.a. 2 ulike referansesystemer; 1) høyde/dybde angitt som løpemeter langs borehullet, oftest med borehullets startpunkt (topp stigerør) som referansenivå (nullnivå). 2) høyde/dybde angitt i forhold til en vertikal z-akse, oftest med borehullets startpunkt, eller med ”standard havnivå” (m.o.h.), som referansenivå. Alle dybder i de geofysiske borehullsloggene er angitt som løpemeter (lpm) langs borehullet, med toppen av brønnens stigerør som nullnivå. Ved testpumpingene er endringer i grunnvannstanden målt v.h.a. trykkfølere. Disse måler det vertikale vanddypet (trykkhøyden i meter vertikal vannsøyle). For synke- og stigedata er det derfor valgt å benytte benevnningen ”meter vertikalt under toppen av brønnrøret”, forkortet mvutr.

5.1 Borehull 5

Planlagt borehullsutførelse var i bestillingsbrev fra NGU til borefirma (Båsum Boring AS) angitt som boring mot SSØ (ca N158°) med vinkel 20° i forhold til loddlinjen, total borelengde 180 m. Kontrollmålinger i felt viser resulterende borehullsutførelse: Dyp til fjell 3.5 m, lengde av foringsrør 6 m, boring mot SØ (ca N135°) med midlere helningsvinkel ca 12° i forhold til loddlinjen, total lengde av åpent borehull 72-73 m.

Under borehullslogging med optisk televier ble det klarlagt at borehullet var blokkert av utrust masse ved nivå 72-73 lpm. Det ble forsøkt å bore opp det utruste området på nytt, uten at dette lyktes.

I arbeidsrapporten fra brønnboringfirmaet er det anført ”løse partier med vanninnslag” langs hele strekningen fra nivå 32 lpm til 105 lpm. Ingen spesielle anmerkninger er gitt for det utruste området ved nivå 72-73 lpm. For nivå 105-141 lpm er det anført ”fastere fjell, enkelte

løse partier og ingen markerte vanninnslag”. Ved nivå 141-144 lpm er det markert ”stort vanninnslag”. For nivå 156-180 lpm er det markert at det ”ikke var mulig å ta kaksprøver p.g.a. store vannmengder”.

5.2 Borehull 6

Planlagt borehullsutforming var i bestillingsbrev fra NGU til borefirma angitt som boring mot V (ca N270°) med vinkel 25° i forhold til loddlinjen, total borelengde 120 m.

Kontrollmålinger i felt viser resulterende borehullsutforming: Dyp til fjell 1 m, lengde av foringsrør 3 m, boring mot V (ca N260°) med midlere helningsvinkel ca 25° i forhold til loddlinjen, total borelengde ca 120 m.

I arbeidsrapporten fra brønnboringsfirmaet er det anført for nivå 43-45 lpm ”vannførende sleppe og veldig løst fjell”, for nivå 48-50 lpm ”mye, brunfarget vann”, for nivå 80-81 lpm ”stor sleppe, løst fjell, ikke markert vanninnslag” og for nivå 113-120 lpm ”veldig løst fjell med vanninnslag”.

5.3 Borehull 7

Planlagt borehullsutforming var i bestillingsbrev fra NGU til borefirma angitt som boring mot SØ (ca N135°) med vinkel 30° i forhold til loddlinjen, total borelengde 80 m.

Kontrollmålinger i felt viser resulterende borehullsutforming: Dyp til fjell 4.5 m, lengde av foringsrør 6 m, boring mot SØ (ca N125°) med midlere helningsvinkel ca 30° i forhold til loddlinjen, total lengde av åpent borehull ca 65 m.

På samme måte som i borehull 5 har det også i borehull 7 rast ut masser, her ved 65 m. I arbeidsrapporten fra brønnboringsfirmaet er det anført for nivå 28-29 lpm ”sleppe med noe vann”, for nivå 38-42 lpm ”stor sleppe, løst fjell og noe vann” og for nivå 42-74 lpm ”løst fjell uten merkbare vanninnslag”.

5.4 Borehull 8

Etter at det var klarlagt at det utraste partiet ved nivå 72-73 lpm i borehull 5 ikke kunne stabiliseres ved hjelp av ny oppboring, ble det besluttet å bore et nytt hull, borehull 8, 40 m sør for borehull 5. Planlagt borehullsutforming var boring mot Ø (ca N90°) med vinkel 5° i forhold til loddlinjen, total borelengde 150 m. Kontrollmålinger i felt viser resulterende borehullsutforming: Lengde av foringsrør 9 m, boring mot SSØ (ca N162°), helningsvinkel ca 2° i forhold til loddlinjen ned til nivå 37 lpm og helningsvinkel 7-8° i forhold til loddlinjen fra nivå 37 lpm til bunnen av borehullet, total lengde av åpent borehull ca 97 m.

I arbeidsrapporten fra brønnboringsfirmaet er det anført for nivå 0-133 lpm ”spredte vanninnslag men ingen markerte soner”, for nivå 133 lpm og 138 lpm ”markerte vannførende

soner” og for nivå 141-144 lpm ”utrasing og ikke mulig å få stabilisert hullet”. Ved logging av borehull 8 ble det klarlagt at hullet var blokkert av utraste masser på ca nivå 97 lpm.

6 SYNKE- OG STIGETESTER AV DE ENKELTE BOREHULL

6.1 Borehull 5

Den 06.11.01 ble det gjennomført en hydraulisk testing av borehull 5, med senkpumpen plassert rett i overkant av det utraste partiet ved nivå 72-73 lpm. Synke- og stigeurve for testen er vist h.h.v. i figur 3 og 4.

Før pumpingen ble startet opp, sto grunnvannsspeilet i borehull 5 ca 1 mvutr (se kapittel 5 for nærmere forklaring av benevnningen). Pumpingen bevirket at grunnvannstanden ble senket til nivå 64 mvutr i løpet av 22 min, for deretter å stige raskt til nivå 42 mvutr og så stabiliseres på nivå ca 45 mvutr. Den plutselige vannstandsstigningen antas å skyldes at grovsilen rundt pumpeinntaket ble delvis blokkert av sand og slam fra de utraste massene, slik at pumpens kapasitet ble redusert. Gjennom de innledende 22 min. av testpumpingen lå utpumpet vannmengde tilnærmet konstant på $7.2 \text{ m}^3/\text{time}$ (manuell måling). Etter at grunnvannstanden var stabilisert på nivå ca 45 mvutr ble midlere vannmengde målt til $4.5 \text{ m}^3/\text{time}$ (manuell måling). ”Potensiell kapasitet” (se definisjon i kapittel 4) for brønnen, dvs. uttakbar vannmengde når vannspeilet senkes helt ned til bunnen av borehullet (71 mvutr), anslås ut fra dette til ca $7 \text{ m}^3/\text{time}$.

Etter at pumpen ble stoppet steg vannstanden opp til nivå ca 3 mvutr i løpet av 30 min. Under stigeperioden ble det registrert et både synlig og hørbart vanninnslag på nivå 4-5 mvutr, dvs. rett i underkant av foringsrøret. Inspeksjon med televiewer viste at foringsrøret burde vært slått ca 0.1 m dypere ned for å oppnå god tetting mellom foringsrør og fjell.

Figur 4 viser grunnvannstand og stige-hastighet for stigetesten i borehull 5. Stige-hastigheten er her, som i alle påfølgende figurer, vist både som rådata (svak strek) og som løpende middelverdi over 7 målinger = 56 sek. (tykk strek). Som figur 4 viser er det meget vanskelig å plukke ut klare knekkpunkter på kurven for grunnvannstand. På kurven for stige-hastighet kommer knekkpunktene tydeligere frem, i form av episoder med raske endringer i stigningstallet (se for eksempel tidspunktene 16:39-16:40 og 16:45-16:47). Knekkpunkter, som **kan** være indikasjoner på vannførende sprekkesoner, er avmerket i stige-kurven med piler på nivåene 4-5, 15-16, 24-26, 28-29 og 39-40 mvutr. Knekkpunkter kommer også frem på senkningskurven (figur 3) på de 3 førstnevnte nivåene. I arbeidsrapporten fra brønnborings-firmaet er det kun anført en generell bemerkning om ”løse partier med vanninnslag” langs hele strekningen fra nivå 32 lpm til 105 lpm.

Stigehastigheten er for testene i de ulike borehull uttrykt ved benevningen "m³/time". Dette fremkommer ved at en gitt økning i vannstanden i borehullet motsvarer en bestemt økning av vannvolumet i brønnen. Alle borehull er i dette prosjektet antatt å ha en diameter på 0.135 m (5.5") hvilket gir et borehullstverrsnitt på 0.0143 m². Brønnvolumet er da 0.0143 m³/m. Data for borehull 5 (figur 4) viser at stigehastigheten rett etter at pumpen ble stoppet (tid = 16:34 – 16:35) ligger i området 3-3.5 m³/time. Utpumpet vannmengde rett før pumpen ble stoppet ble målt til 4.5 m³/time. Årsaken til at utpumpet vannmengde rett før pumpestopp er større enn vanntilsiget rett etter pumpestopp, er at vannstanden i brønnen ikke er stabil, men fortsatt svakt synkende, når pumpen stoppes. Dersom pumpingen var blitt videreført helt til en stabil vannstand var oppnådd i brønnen, dvs. vannmengde inn i brønn = vannmengde ut av brønn, så ville utpumpet vannmengde sannsynligvis vært av størrelsesorden 3-3.5 m³/time.

6.2 Borehull 6

Den 09.11.01 ble det gjennomført en hydraulisk testing av borehull 6, med senkpumpen plassert ved nivå 110–111 lpm. Totalkurve, synkekurve og stigeurve for testen er vist h.h.v. i figur 5, 6 og 7.

Før pumpingen ble startet opp sto grunnvannspeilet i borehull 6 på nivå 9.8 mvutr. Pumpingen bevirket at grunnvannstanden ble senket til nivå 13 mvutr, dvs. det ble oppnådd kun 3.2 m senkning i løpet av 52 min. Gjennom pumpeperioden ble det målt et konstant vannuttak på 7.1 m³/time. Pumpingen ble avsluttet etter knapt 1 time, idet det var klart at brønnens kapasitet var betydelig større enn pumpens maksimalkapasitet. Ved beregning av "potensiell kapasitet" for denne brønnen fremkommer tallet 222 m³/time, hvilket er helt "utopisk" for en fjellbrønn. Her kan forutsetningen om at de vesentlige vannførende sprekker krysser borehullet i dets dypest liggende deler, ikke være oppfylt. Dette dokumenteres også av data fra televiewer og strømhastighetsmålinger, hvor meget markerte, vannførende sprekkesoner bl.a. er påvist ved nivå 42 og 47 lpm (hhv. 38 og 43 mvutr). Grunnvannstemperaturen viser også meget klare anomalier i disse nivåene, samt i området fra nivå 76 lpm til 79 lpm.

Figur 7 viser grunnvannstand og stigehastighet for stigetesten i borehull 6. Det observeres ingen markerte knekkpunkter i stigehastigheten, d.v.s. det er ingen indikasjoner på markerte, vannførende sprekkesoner i nivå 10-13 mvutr i borehull 6. P.g.a. den høye kapasiteten for borehull 6 gir synke-/stigetesten ingen opplysninger om eventuelle vannførende sprekkesoner for nivåer dypere enn 13 mvutr.

6.3 Borehull 7

Den 10.11.01 ble det gjennomført en hydraulisk testing av borehull 7, med senkpumpen plassert ved nivå 65 lpm (56 mvutr). Totalkurve, synkekurve, stigeurve og vannmengdekurve for testen er vist h.h.v. i figur 8, 9, 10 og 11.

Før pumpingen ble startet opp sto grunnvannsspeilet i borehull 7 på nivå 3.5 mvutr. Pumpingen bevirket at grunnvannstanden ble senket ned til pumpeinntaket (55 mvutr), dvs. det ble oppnådd drøyt 51 m senkning i løpet av 7 min. Pumpen fikk så stå og trekke vekselvis luft og vann i drøyt 20 min. og samlet utpumpet vannmengde gjennom denne støtpumpingsperioden ble registrert (figur 11). Totalkapasitet for brønnen ble ut fra støtpumpingstesten målt til 1 m³/h. Grunnvannstand og utpumpet vannmengde gjennom støtpumpingsperioden er vist i figur 11.

Et meget markert knekkpunkt fremkommer i nivå 33-34 mvutr, både i synke- og stigekurven (h.h.v. figur 9 og 10). Kurvene er "skoleeksempler" på hvordan synke- og stigeforløpet fremstår i et borehull hvor hoveddelen av vanntilførselen kommer fra én veldefinert sprekkesone. Vannstandsstigningen er da tilnærmet lineær (konstant trykkgradient) opp til sprekkenivået og deretter eksponentielt avtagende. Fra senkningsdata fremkommer også indikasjoner på vannførende sprekker i nivå 11-13 mvutr og 27-28 mvutr.

6.4 Borehull 8

Den 08.11.01 ble det gjennomført en hydraulisk testing av borehull 8, med senkumpen plassert ved nivå 97 lpm (96 mvutr). Totalkurve, synkekurve, stigekurve og vannmengdekurve for testen er vist h.h.v. i figur 12, 13, 14 og 15.

Før pumpingen ble startet opp sto grunnvannsspeilet i borehull 8 på nivå 40.4 mvutr. I borehull 5 som ligger bare 40 m nord for borehull 8, sto den naturlige grunnvannstanden kun 1 mvutr. Dette viser at disse 2 borehullene, til tross for liten geografisk avstand, gjennomskjærer 2 sprekkesystemer som er klart forskjellige når det gjelder hydrauliske forhold.

Pumpingen i borehull 8 bevirket at grunnvannstanden ble senket til nivå 60 mvutr i løpet av 4 min, for deretter å stige raskt til nivå 57 mvutr og så stabiliseres på nivå ca 54 mvutr. Den plutselige vannstandsstigningen antas å skyldes at grovsilen rundt pumpeinntaket ble delvis blokkert av sand og slam fra utraste masser, slik at pumpens kapasitet ble redusert. Gjennom de innledende 22 min. av testpumpingen lå utpumpet vannmengde på 5.4 – 5.8 m³/time. Etter at grunnvannstanden var stabilisert på nivå ca 54 mvutr lå midlere vannmengde på 4.2 – 4.8 m³/time. "Potensiell kapasitet" (se definisjon i avsnitt 3 foran) for brønnen, dvs. uttakbar vannmengde når vannspeilet senkes helt ned til bunnen av brønnen (97 mvutr), anslås ut fra dette til ca 13 m³/time.

Senkningskurven (fig. 13) indikerer vannførende sprekker i nivå 42-43, 51.5-52.5 og 57-58 mvutr. Stigekurven (fig. 14) indikerer vannførende sprekker på nivåene 47.5-48.5 og 50-52 mvutr.

7 SAMMENLIGNING AV BOREHULLSLOGG OG TESTPUMPEDATA

7.1 Borehull 5

Utvalgte seksjoner fra bildeloggen (OPTV - optisk televiewer) for borehull 5 er gitt i figurene 16 - 19. Bergarten er i hovedsak en mørk og lyskrevende hornfels, som gir meget mørke videoopptak. Åpne sprekker vil også fremstå med mørk farge og lokalisering av sprekker blir derfor vanskelig.

Bilde-loggen fra borehull 5 viser at nedre ende av foringsrøret står på nivå 5.7 lpm. Fra testpumpingen er en "vannførende sprekk" indikert i nivå 4-6 mvutr (4.1-6.1 lpm). Under stigetesten kunne det både høres og ses et betydelig vanninnslag rett i underkant av brønnens foringsrør. Tettingen mellom fjell og foringsrør er her for dårlig slik at vann fra overflatenære sprekker dreneres inn i brønnen. Indikasjoner på vannførende sprekker i nivåene 15-16, 24-26, 28-29 og 39-40 mvutr fremkommet gjennom testpumpingen. Disse sprekkendikasjonene viser kun i begrenset grad overensstemmelse med sprekker tolket ut fra bildeloggen (se "stjernetegn" anført i figurene 16-19).

På strekningen fra nivå 38 lpm til nivå 40 lpm viser TKG-loggen for borehull 5 (temperatur-konduktivitet-gammastråling, Elvebakk et al. 2001, figur 21) en markert (ca 70%) økning i grunnvannets ledningsevne (konduktivitet). Som omtalt foran indikerer data fra stigetesten en vannførende sprekk i nivå 39-40 mvutr, d.v.s. i det samme området som ledningsevnen øker. Bilde-loggen gir ingen indikasjoner på åpne sprekker, men området skiller seg likevel ut ved flere tynne sprekker som synes å være fylt av lyse mineraler (figur 18). Enkelte tynne åpne sprekker er indikert, men ikke i noe stort omfang. En mulig forklaring på dette forholdet kan være at det lyse sprekketryllingsmineralet er kalkspat, slik at karbonatanrikt vann i noe omfang strømmer inn i borehullet. En lignende økning i grunnvannets ledningsevne (total økning 40-50%) registreres på den 9 m lange strekningen fra nivå 53 lpm til nivå 62 lpm. Økningen er særlig markert fra nivå 57 lpm til nivå 60 lpm. Forholdet kan også her ha sitt opphav i mineralogiske endringer i berggrunnen idet et meget markert parti av en lysere bergart opptrer fra nivå 57 lpm til nivå 60 lpm (figur 19). Bilde-loggen gir kun usikre indikasjoner på at tynne og usammenhengende sprekkestrukturer foreligger i denne sonen.

Sprekkene som er anført i bildeloggene i figur 16-19 har overveiende strøkretning i området fra N-S til NØ-SV, d.v.s. de følger Langvatnsonens strøkretning. Sprekkene viser i hovedsak et fall av størrelsesorden 30-70° mot Ø og SØ. Det antas at sprekkene vil kunne gjenfinnes i tunnelen ved pelnummer 2200-2400.

7.2 Borehull 6

Som omtalt i avsnitt 6.2 var kapasiteten for brønn 6 så stor at det kun ble oppnådd 3.2 m vannstandssenkning ved et konstant vannuttak på 7.1 m³/time. Det var da ikke mulig å anføre indikasjoner på vannførende sprekkesoner ut fra knekkpunkter i synke- og stige grafen, idet noen større senkning eller stigning ikke ble oppnådd. Bildeloggene i figurene 20 – 22 gir imidlertid entydig dokumentasjon på at store, åpne hulrom og sprekker finnes på en rekke

nivåer i borehull 6. Bergarten her er en lys syenitt hvor de mørke sprekkesonene kommer meget tydelig frem. De mest markerte sonene finnes på nivå 41.5-42 lpm, 46.4-46.9 lpm og 79-79.2 lpm. Alle disse sonene viser et steilt fall (60-80°) mot Ø, d.v.s. sonene har en strøkretning tilnærmet vinkelrett på tunneltraseen. Det forventes at sonene vil kunne gjenfinnes som markerte lekkasjer i tunnelen ved pelnummer 3330-3380. Det ble ikke observert utrasinger i borehullet i tilknytning til disse sonene, hvilket innebærer at fjellstabiliteten antas å være god.

I temperaturloggen for borehull 6 (Elvebakk et al. 2001, figur 22), registreres en liten, men signifikant, økning i grunnvannstemperaturen ved nivå 41-42 og 46-47 lpm og på strekningen fra nivå 76 lpm til 80 lpm. Temperatursprangene tolkes som ytterligere bekreftelser på grunnvannsinnstrømning i disse nivåene.

Fra nivå ca 80 lpm og ned til bunnen av borehullet på nivå 117 lpm, observeres flere tynne, men helt klart åpne, sprekker. Disse sprekkeene ligger forholdsvis flatt (10-40°) og har fallretning mot SØ og S, d.v.s. strøkretning tilnærmet parallelt med tunneltraseen. Den mest markerte av sprekkeene (nivå 111 lpm) ligger så vidt dypt at den, forutsatt et plant forløp, skjærer under tunnelen.

I et forsøk på å kvantifisere vanninnstrømningen i de mest markerte sprekkesonene ble det gjennomført strømningshastighetsmålinger i borehull 6. Innstrømning fra åpne sprekker kvantifiseres best ved at vann pumpes ut av brønnen samtidig som strømningshastigheten måles h.h.v. rett over og rett under den aktuelle sprekkesonen. Pumpen og strømpropellen ble montert sammen slik at pumpen hele tiden sto 20 m høyere i borehullet enn propellen. Det ble utført målinger med propellen plassert ved nivå 30, 40, 55 og 80 lpm. I første tilfellet ble grunnvannspeilet senket helt ned til pumpeinntaket, med derav følgende støtpumping, slik at det var umulig å lese av noen stabil måleverdi på strømningsmåleren.

Under strømningsmålingene registreres propellens omdreiningstall (rounds pr minute - rpm). Ut fra dette kan en beregne strømningshastigheten sentralt i hullet der propellen er plassert. Kalibreringsmålinger har vist at en strømningshastighet på 1 m/min tilsvarer et omdreiningstall på 8.33 rpm. For å beregne strømmingen i liter/time må en vite strømningsprofilen og tverrsnittsarealet av borehullet, som er å betrakte som et rør. Måleresultatene er gitt i tabell 1:

Tabell 1: Omdreiningstall for strømningsmåler i 3 ulike nivåer i borehull 6.

Nivå (lpm)	Måleverdi (rpm)	Hastighet (m/min)
40	105	12.6
55	55	6.6
80	45	5.4

En kan også grovt beregne strømmingen når en kjenner totalstrømmen i hullet (= utpumpet vannmengde) samt netto endring i strømningshastigheten for hver sprekkese. Beregningene

er gitt i tabell 2. Det er her forutsatt lineær sammenheng mellom omdreiningstall, hastighet og vannmengde. Den midlere, totale vannmengden som ble pumpet ut under strømmingstestene var 6.2 m³/time.

Tabell 2: Netto strømningshastighet og vannmengde for de ulike sprekkesoner.

Nivå (lpm)	Omdreining (rpm)	Netto omdreining (rpm) (%)	Netto hastighet (m/min)	Vannmengde (m ³ /time)
40 - 55	105 - 55	50 47	6.0	3
55 – 80	55 - 45	10 10	1.2	0.6
Under 80	45	45 43	5.4	2.6

Som tabell 2 viser kommer nesten halvparten (47 %) av vannet fra sprekkesonene mellom nivå 40 og 55 lpm, fortrinnsvis fra de markerte sonene ved nivå 41.5-42 lpm og 46.4-46.9 lpm (figur 20). Sprekken ved nivå 79 lpm bidrar med 10 % av den totale vannmengden. Vannførende sprekker som ligger dypere enn nivå 80 lpm bidrar med 43 % av vannmengden. Som omtalt foran er det observert flere åpne sprekker også i disse dypereliggende deler av borehullet, hvorav den største finnes i nivå 110.5 – 112 lpm (figur 22).

7.3 Borehull 7

Utvalgte seksjoner fra bildeloggen for borehull 7 er gitt i figurene 23 - 26. Bergarten er her et mørkt og lyskrevende agglomerat (konglomerat sammensatt av vulkanske ”bomber”), som gir meget mørke videoopptak. Sikker lokalisering av sprekker var derfor vanskelig. Det ble gjort to videoopptak av dette borehullet idet vannet fra nivå 12.5 lpm og nedover i første opptak var markert blakket. Dette er i seg selv en indikasjon på vannførende og leirfylte sprekker i området 12-13 lpm.

Testpumpingen gav en meget markert indikasjon på vannførende sprekker ved 33.5-34.5 mvutr (38,7-39,8 lpm). I bildeloggen (figur 26) observeres et stort ”svart hull” ved nivå 37.8-38.4 lpm, hvilket bekrefter et meget markert vanninnslag på dette dypet. Fra senkningsdata fremkommer også indikasjoner på vannførende sprekker ved nivå 12-14 og 31-32 lpm. Som omtalt foran kan blakking av vannet i borehullet være en indikasjon på sprekker i det førstnevnte nivået. Det observeres ingen klare sprekkesoner i bildeloggen ved nivå 31-32 lpm.

Det observeres ingen anomalier i temperatur og ledningsevne i forbindelse med den markerte sprekken i nivå 33.5-34.5 mvutr (Elvebakk et al. 2001, figur 23). Dette skulle heller ikke forventes dersom all vanntilførselen til brønnen i hovedsak kommer fra denne enkeltsprekken.

Den markerte sprekken i nivå 33.5-34.5 mvutr har strøkretning NS, og fall mot Ø. Eksakt fallvinkel kan ikke bestemmes. Eventuelt skjæringspunkt med tunneltraseen er derfor usikkert, men pelnummer 3750-3850 synes å være et rimelig anslag.

7.4 Borehull 8

Utvalgte seksjoner fra bildeloggen for borehull 8 er gitt i figurene 27 - 29. Bergarten er her en mørk syenitt, som gir liten kontrast mellom massivt berg og eventuelle vannførende sprekkesoner. Testpumpingen indikerer vannførende sprekker ved nivåene 42-43, 47.5-48.5, 50-52 og 57-58 mvutr, hvorav indikasjonen i nivå 47.5-48.5 mvutr er den absolutt mest entydige. Som figurene 27 - 29 viser er det anført sprekkeindikasjoner i bildeloggen i alle disse nivåene, men da i første rekke meget tynne, og trolig tildels mineralfylte, sprekker.

Ved nivå 55.3-55.7 lpm opptrer en struktur i bildeloggen som kan tolkes som et åpent hulrom. Lignende strukturer fremkommer ved nivåene 53-54, 56.1-56.2 og 56.6-56.9 lpm. Alle disse strukturene har samme geometri med steilt fall ($60-80^\circ$) mot Ø. Det er ingen knekkpunkter i synke-/stigedataene som er entydig sammenfallende med disse nivåene, slik at det er usikkert hvorvidt dette er åpne, vannførende strukturer. Strukturene forventes å kunne gjenfinnes i tunneltraseen ved pelnummer 2250-2350.

Det observeres ingen klare anomalier i temperatur eller ledningsevne i borehull 8 (Elvebakk et al. 2001, figur 24).

8 DISKUSJON

Ut fra resultatene fra testpumping av de 4 borehullene langs tunneltraséen i Grealia er tall for ”potensiell kapasitet” for de enkelte borehull gitt i tabell 3.

Tabell 3: Potensiell kapasitet (se definisjon i kapittel 4) for de 4 undersøkte borehullene.

Lokalitet	Potensiell kapasitet (m ³ /time)
Bh 5	7
Bh 6	>15
Bh 7	1
Bh 8	13

For å fremskaffe et sammenligningsgrunnlag for kapasitetstallene i tabell 3, er regionale kapasitetstall for vannforsyningsbrønner i syenitt hentet fra NGU's brønndatabase. Midlere kapasitet for 12 brønner i syenitt i Hurdalsområdet er 1.3 m³/time, mens tilsvarende tall for 31 brønner i området Harestua-Hakadal er 2.3 m³/time. Det høyeste kapasitetsanslaget i denne populasjonen på 43 brønner er 7 m³/time, d.v.s. ut fra det tilgjengelige datagrunnlaget så vil statistisk sett 2 av 100 brønner i denne syenitten kunne gi vannmengder av størrelsesorden 7 m³/time.

Den potensielle kapasiteten som er beregnet for borehullene 6 og 8 ligger 5-10 ganger høyere enn den lokale middelverdien for brønner i syenitt. Årsaken til disse høye kapasitetstallene

antas å være tektoniske hendelser hvor vidstrakte og åpne sprekkesystemer har blitt dannet langs Oslofeltets nordvestre randsone.

Borehull 5 har også en høy kapasitet, men lokaliteten er noe spesiell idet berggrunnen består av hornfels dannet av leirskifre og knollekalk i kontaktsonen mot Oslofeltets eruptiver. Sammenlignbare data fra vannforsyningsbrønner i hornfels er ikke funnet i Brønndatabasen ved NGU.

De høye kapasitetstallene viser at borehullene 5, 6 og 8 skjærer gjennom regionale sprekkesystemer som høyst sannsynlig vil gjenspeiles i soner med betydelige vannlekkasjer i veitunnelen. Utrasinger som ble observert i borehullene 5, 7 og 8 indikerer trolig også ustabil fjell, som antas å kunne opptre i tunnelen i ved pelnummer 2200-2400 og 3750-3850.

Borehullene 5 og 8 ligger i en innbyrdes avstand i terrenget på kun 40 m. Likevel er trykknivået i borehull 5 ca 40 m høyere enn i borehull 8. Langvatnsonen kan derfor, i tillegg til å representere et bergartsskille og en markert sprekkesone, også representere et skille i grunnvannstrykk. Dette indikerer at det sentralt i denne sonen kan finnes en meget sterkt oppkjust og/eller omvandlet kjerne av meget lavpermeabel karakter (leirmineralisering), som forhindrer fri drenering av vann på tvers av sonen. I eventuelle lekkasjesoner vestover fra Langvatnsonen vil det derfor kunne registreres et høyere vanntrykk, enn hva som er registrert øst for Langvatnsonen.

I borehull 5 ble det imidlertid observert en betydelig lekkasje av vann inn i borehullet rett i underkant av foringsrøret. Dette er "grunt" grunnvann (overflatevann?) som dreneres fra overflatenær oppsprekking. Det kan ikke utelukkes at det tilsynelatende høye trykknivået i borehull 5 skyldes at borehullet er helt tett ved 73 lpm og at det er fylt opp av "grunt" grunnvann, slik at den virkelige trykkendringen gjennom Langvatnsonen er mindre enn de observerte 40 m. Spesielt lav elektrisk ledningsevne i vannet (ca 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Elvebakk & al 2001, figur 21) indikerer at dette kan være overflatevann.

Med bakgrunn i data fra de ulike borehullsloggene samt data fra testpumping er det dokumentert at berggrunnen i de 4 utvalgte borelokalitetene er gjennomslått av åpne enkeltsprekker og av sprekkesystemer, som gir en meget betydelig vanntilførsel til undersøkelsesborehullene (7-15 m^3/time). De 4 lokalitetene ble valgt ut bl.a. med bakgrunn i 2D resistivitetsmålinger, som indikerte at berggrunnen i disse lokalitetene kunne være sterkt oppsprukket og vannførende. Undersøkelsene gir en entydig, positiv bekreftelse på disse indikasjonene. 2D resistivitets-målinger synes derfor å være et godt redskap for kartlegging av sprekkesoner i forbindelse med ingeniørgeologiske undersøkelser for planlagte tunneltraseer og bergrom.

Det antas at de sprekkesoner som er dokumentert i de 4 borehullene vil kunne gjenfinnes som områder med betydelig vannlekkasje i tunnelen ved pelnummer 2200-2400, 3330-3380 og 3750-3850. Utrasinger som ble observert i 3 av de 4 borehullene indikerer at ustabil fjell vil kunne opptre i tunnelen ved pelnummer 2200-2400 og 3750-3850. Dette forholdet vil trolig

særlig kunne gjøre seg gjeldende i førstnevnte område, i Langvatnsonen. Det understrekes at den foreliggende undersøkelsen kun omhandler utvalgte lokaliteter langs tunneltraseen slik at det høyst sannsynlig vil kunne påtreffes områder med vannlekkasjer og/eller ustabil fjell også utenom de områder som her er omtalt.

Undersøkelsene viser at det kun for borehull 7 var mulig å finne et helt entydig samsvar mellom sprekkesoner lokalisert gjennom de ulike borehullsloggene, og vannførende sprekkesoner lokalisert gjennom testpumping. En av årsakene til dette er trolig at de hydrauliske forhold i borehull 7 er enkle, idet hoveddelen av vanntilsiget synes å komme fra en stor, og meget godt synlig, enkeltsprekk. I borehull 5 og 8 var bergarts- og siktforholdene stedvis slik at sikker påvisning av sprekkesoner i bildeloggen var vanskelig. Begge disse borehullene ligger i Langvatnsonen hvor de strukturgeologiske forholdene synes å være kompliserte og inhomogene. For borehull 6 var vanngiverevnen så vidt stor i forhold til senkumpens kapasitet, at synke-/stigedata ikke kunne fremskaffes. Bilde-loggen gir imidlertid entydig dokumentasjon på flere store og åpne enkeltsprekker i dette borehullet.

Ved ingeniørgeologiske forundersøkelser for tunnelprosjekter er det sterkt ønskelig at omfanget av eventuelle vannlekkasjer og ustabil fjell kvantifiseres best mulig. Undersøkelsene i Gualia viser at testpumping av brønner er et nyttig og nødvendig supplement til OPTV-logg, TCG-logg samt de ulike sprekkeloggene. De tre sistnevnte borehullsloggene utgjør alene et godt verktøy for detaljpåvisning av sprekker og svakhetssoner i berggrunnen. Det er likevel kun ved testpumping at vanngivende sprekker og svakhetssoner kan påvises og kvantifiseres. Testpumping kan muligens gi et bedre bilde av lekkasjeproblemer enn det Lugeon-test vil gi. Ved sistnevnte benyttes et overtrykk, mens en ved testpumping arbeider under trykkforhold som er mer likt det en vil ha under tunnel-driving.

I prosjektet er det avdekket to problemområder knyttet til OPTV-logging og synke-/stigetesting av undersøkelsesbrønner:

- 1) Ved undersøkelser av borehull i mørke bergarter og/eller borehull med uklart vann, kan det være meget vanskelig å lokalisere sprekkesoner i OPTV-loggen. Dette kan medføre at det ikke oppnås noen visuell bekreftelse/avkreftelse på tilstedeværelsen av sprekker, som ut fra knekkpunkter i synke- eller stigedata kan antas å være vannførende. Problemet er i første rekke relevant for den teknologiske utprøvingen av måleteknikken, hvor det er ønskelig at tilstedeværelsen av sprekker kan dokumenteres med 2 innbyrdes uavhengige målemetoder. Undersøkelsene indikerer også at data fra synke-/stigetester kan være vanskelig å tolke i borehull som gjennomskjærer komplekse sprekkesystemer.
- 2) Ut fra praktiske/tekniske forhold er det vanskelig å gjennomføre synke-/stigetester i borehull med vanngiverevne større enn 5-6 m³/time. Den grunnleggende forutsetningen for testene er at man med det anvendte pumpeutstyr er i stand til å tømme brønnen for vann. Når brønnens kapasitet overstiger 5-6 m³/time og løftehøyden samtidig er mer enn

100 m, blir det nødvendige pumpeutstyret så stort både i vekt og volum at det kun kan håndteres med større krananordninger. Nye tunneltraseer vil ofte ligge i uveisomt terreng, noe som gjør at de aktuelle kranutrustninger i tillegg må være terrenggående.

I dette prosjektet er det vist at utfordringene som er anført i punkt 2) kan håndteres på en akseptabel måte ved at strømningshastigheter i borehullet måles ved hjelp av en strømningsmåler. Ved slike målinger er man fortsatt avhengig av at vann pumpes ut av brønnen, slik at det oppstår en målbar strømning ut fra de aktuelle sprekkesoner. Størrelsen av vannmengden som pumpes ut er da ikke så avgjørende, men målingenes nøyaktighet øker med økende vannmengde. Ved disse målingene oppnås en geografisk lokalisering av vannførende sprekker, samtidig som testen gir en innbyrdes rangering av sprekkeene m.h.t. hvor stor andel av den utpumpede vannmengde som kommer fra de enkelte sprekkesoner. Det anbefales likevel at det ved målingene av strømningshastighet benyttes en pumpe med kapasitet 5-6 m³/time ved 100-150 m løftehøyde, slik at det også kan gjøres en testpumping for en sikker avklaring av hvorvidt dette er en høykapasitetsbrønn, hvilket i sin tur gir indikasjoner på lekkasjeproblematikk i tunnelanlegget.

Det bør fremskaffes flere erfaringsdata m.h.t. samstemmighet mellom; a) sprekker indikert ved bakkegeofysikk og ulike borehullslogger (OPTV m/sprekkeanalyser, TCG og strømningsmålinger), b) vannførende sprekker indikert ved synke- og stigetest og c) vannførende sprekker påvist og kvantifisert i tunnelanlegg. Disse erfaringsdata kan trolig føre til at de geofysiske målingene sammen med "lett" testpumping for strømningsmålinger, alene kan gi tilfredsstillende dokumentasjon m.h.t. eventuelle sprekkesoners beliggenhet og beskaffenhet. Behovet for testpumping med tunge pumpeutrustninger kan dermed reduseres/elimineres, hvilket også vil gi betydelig reduksjon i kostnader og tidsforbruk for denne type forundersøkelser. Ved valg av nye forskningslokaliteter bør det bl.a. legges vekt på at bergartene er gunstige for videologgi, d.v.s. områder med lyse bergarter bør fortrinnsvis prioriteres. Ved en slik videreføring bør det også legges inn referanseboringer i områder hvor bakkegeofysikken (2D resistivitetsmålinger) ikke indikerer omfattende oppsprekking.

9 KONKLUSJON

På grunnlag av geofysiske målinger fra helikopter og på bakken er det boret 4 brønner langs tunneltraseen ved Gualia. Brønnene er fulgt opp med optisk inspeksjon (OPTV) og geofysiske loggemetoder. Brønnene er senere testpumpet og resultatene fra disse pumpetestene er sammenholdt med de geofysiske data.

Testpumper viste til dels meget stor vanngiverevne, henholdsvis ca 7, >15, ca 1 og ca 13 m³/time for brønnene Bh5 til Bh8. Dette er klart over gjennomsnitt for eksisterende brønner i tilsvarende bergarter. Ut fra dette kan en forvente store vannlekkasjer ved tunneldrivingen. I tre av brønnene, Bh5, Bh7 og Bh8 fikk en ras, noe som indikerer at det i tillegg kan være stabilitetsproblemer.

Geofysisk logging av brønnene og testpumping har bekreftet resultatene fra 2D resistivitetsmålinger på bakken. Dette viser at denne type geofysiske måling kan være et godt redskap ved ingeniørgeologiske forundersøkelser for planlagte tunneler og bergrom. Undersøkelsene beskriver bare de områdene som er undersøkt, og store vannlekkasjer og eventuelt ustabile masser kan selvsagt forekomme andre steder.

Bh 7 viser entydig sammenheng mellom lokalisert sprekkese ved optisk inspeksjon og vannførende sone påvist ved testpumping. Ved alle påviste vanninnslag er det ved optisk inspeksjon påvist (åpne?) sprekker i en avstand mindre enn 0.6 m fra innslaget. Sett på bakgrunn av usikkerheten i lokaliseringen av vanninnslagene (+/- 0.5 m), må dette sies å stemme godt overens.

Testpumping er et nyttig og nødvendig hjelpemiddel for å evaluere vannlekkasjepotensial. Sammenlignet med Leugeon-testing antas testpumping å gi et bedre estimat for vannlekkasje, da en her arbeider med trykkforhold som er mer likt det en oppnår ved tunneldrift.

Ved stor vanngiverevne (>5-6 m³/time) kan det praktisk være vanskelig å foreta testpumping siden en må benytte store og uhåndterlige pumper. Denne undersøkelsen viser at testpumping sammen med strømningsmåling i borehullet kan være et godt alternativ. En kan finne en innbyrdes rangering av sprekkenes vanngiverevne, og dette sammenholdt med brønnens teoretiske vanngiverevne, kan gi et estimat av vanngiverevne på individuelle sprekker.

Kombinasjonen av borehulls inspeksjon/logging og testpumping gir mye informasjon om lekkasjepotensial ved tunneldrift. Det bør fremskaffes mer erfaringsdata omkring samspillet geofysiske data, brønnlogging og testpumping, og ikke minst erfaring med hensyn på lekkasje og stabilitet ved tunneldrift.

10 REFERANSER

- Beard, L. P. 1998: Data Acquisition and Processing-Helicopter Geophysical Survey, Oppkuven and Gran. *NGU Rapport 98.079*.
- Beard, L.P. 2001: Assessment of Geophysical Anomalies near Langvannet, Lunner, Oppland fylke. *NGU Rapport 2001.046*.
- Beard, L. P. og Mogaard, J. O. 2001: Data Acquisition and Processing-Helicopter Geophysical Survey, Hurdal. *NGU Rapport 2001.018*.
- Båsum Boring 2001: Borerapport Gualia, Lunner.
- Elvebakk, H. et al. 2001: Tunnelprosjektet. Borehullslogging og strukturgeologiske studier Gualia, Lunner kommune." *NGU Rapport 2001.117*.
- Geomap 1997: Refraksjonsseismiske målinger over Langevatn, Lunner. *Geomap Rapport 97.943 nr.1*.
- Iversen, E. 1998: Rv. 35 Gualia – Slettmoen, Kjerneboring for tunnel under Langvann. Veglaboratoriet, *Oppdrag E-218 A, rapport nr 3*.
- Kirkeby, T. og Iversen, E. 1996: Rv. 35 Gualia – Slettmoen, tunnel gjennom Tveitmarktoppen. Geologiske undersøkelser for detaljplan. Veglaboratoriet, *Oppdrag E-218 A, rapport nr 2*.
- Kløve, B., Gaut, A. og Kværner, J. 1999: Hydrologiske konsekvenser av vegtunnel Gualia-Bruvoll; Sårbarhet, vannbalanse og lekkasjekriterier. *Jordforsk Rapport nr. 9/99*.
- Rønning, J.S. og Dalsegg, E. 2001: Tunnelprosjektet. Geofysiske målinger ved Langvatnet, Lunner, Oppland. *NGU Rapport 2001.090*.



- - - - - Tunneltrase
 • Borehull

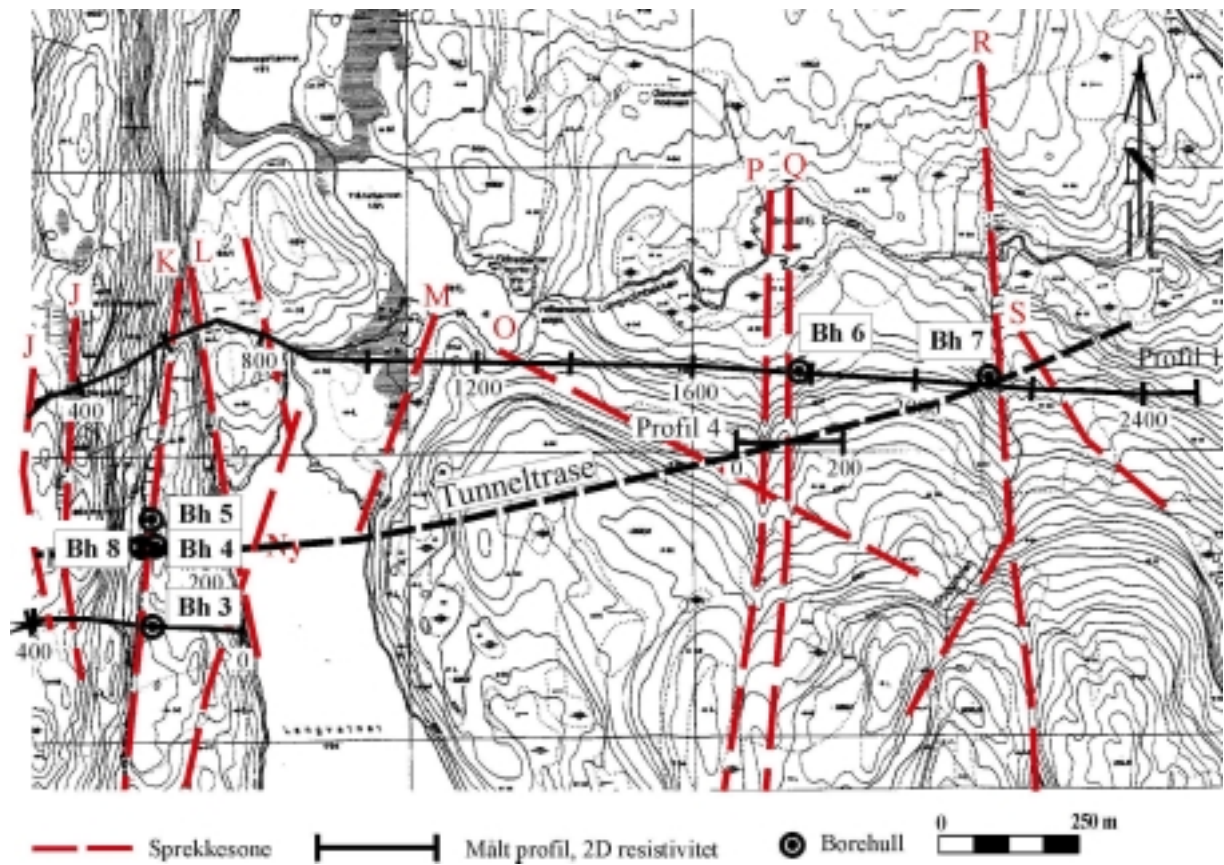


STATENS VEGVESEN
 OVERSIKTSKART
GRUALIA-SLETTMOEN
 LUNNER, OPPLAND

MÅLESTOKK 1:50 000	MÅLT HE	Nov 2001
	TEGN HE	Des 2001
	TRAC	
	KFR	

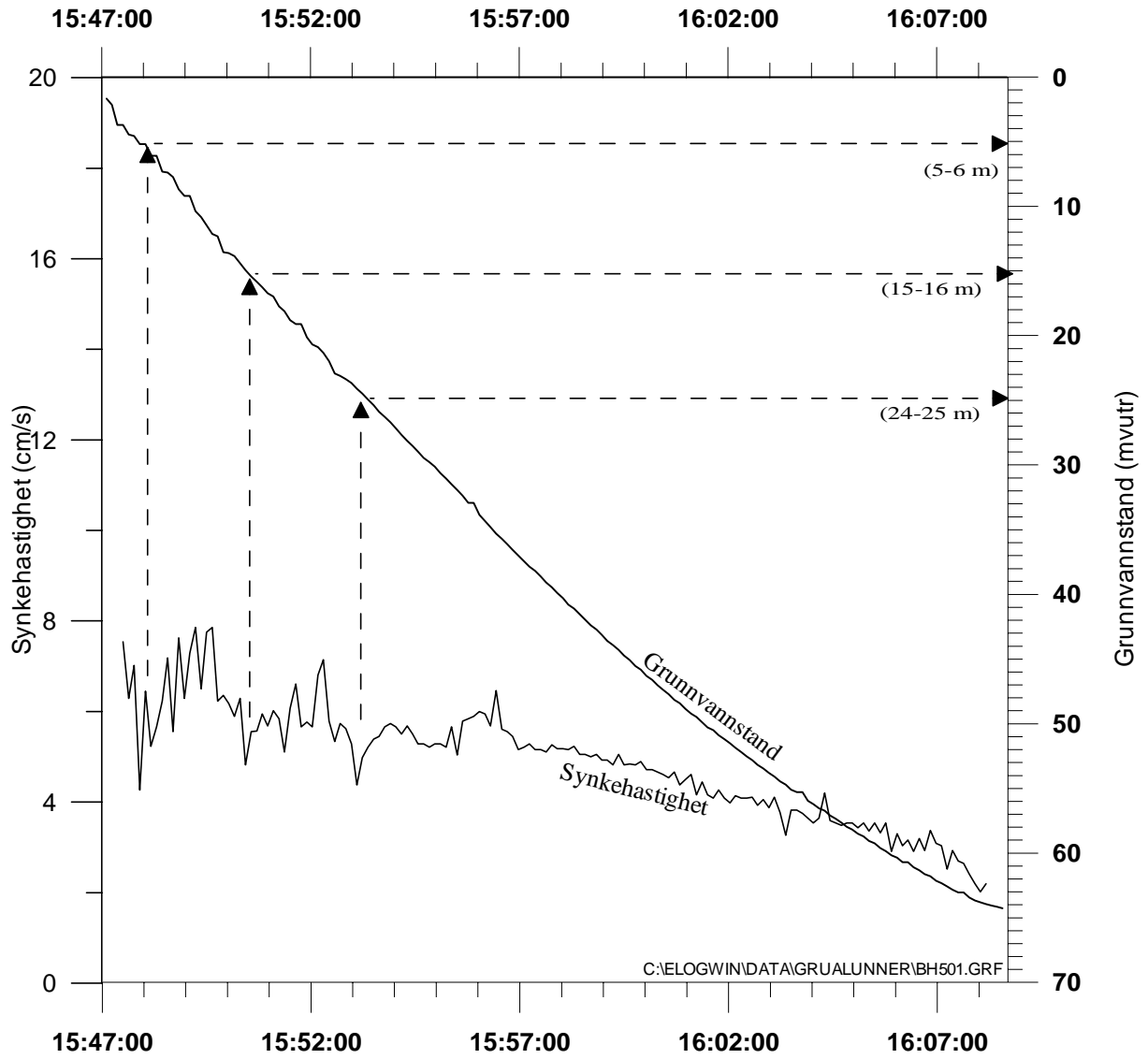
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

KARTBILAG NR Figur 1	KARTBLAD NR 1815 I - 1915 IV
-------------------------	---------------------------------



Figur 2: Detaljkart for østre del av tunneltraseen i Gualia – Lunner kommune.

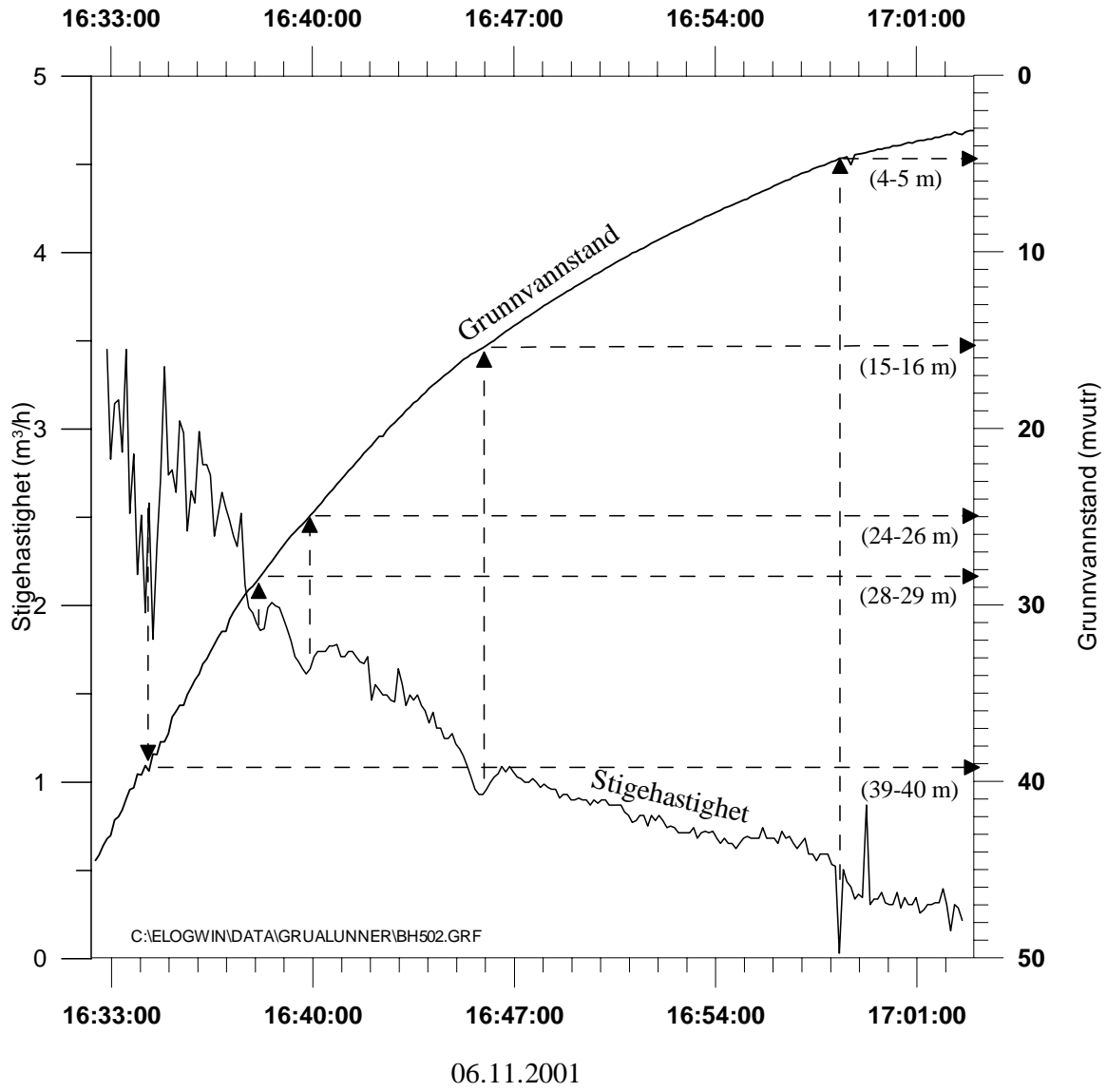
Senkningsdata BH5 - Grua i Lunner.



06.11.2001

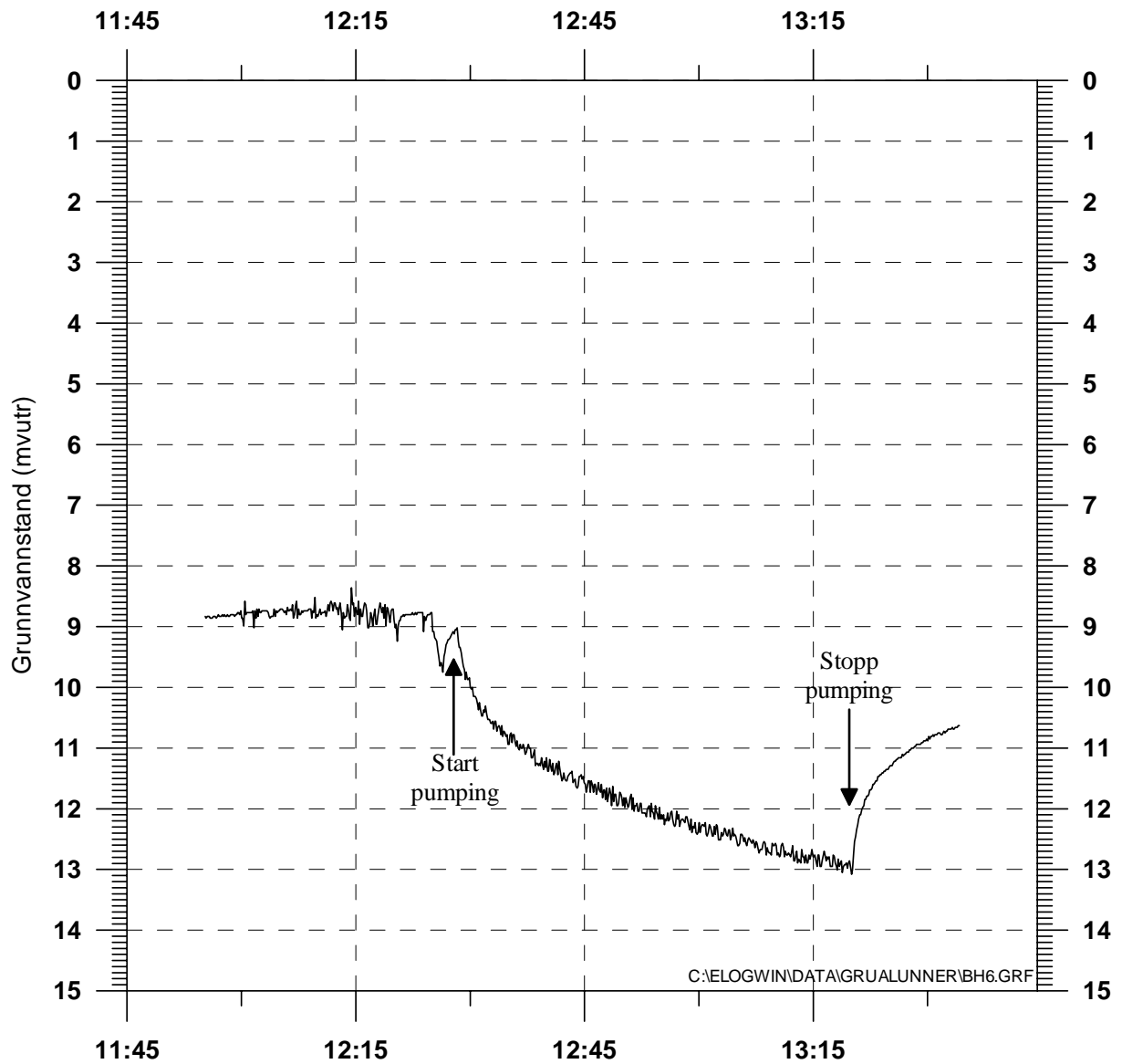
Figur 3

Stigningsdata BH5 - Grua i Lunner.



Figur 4

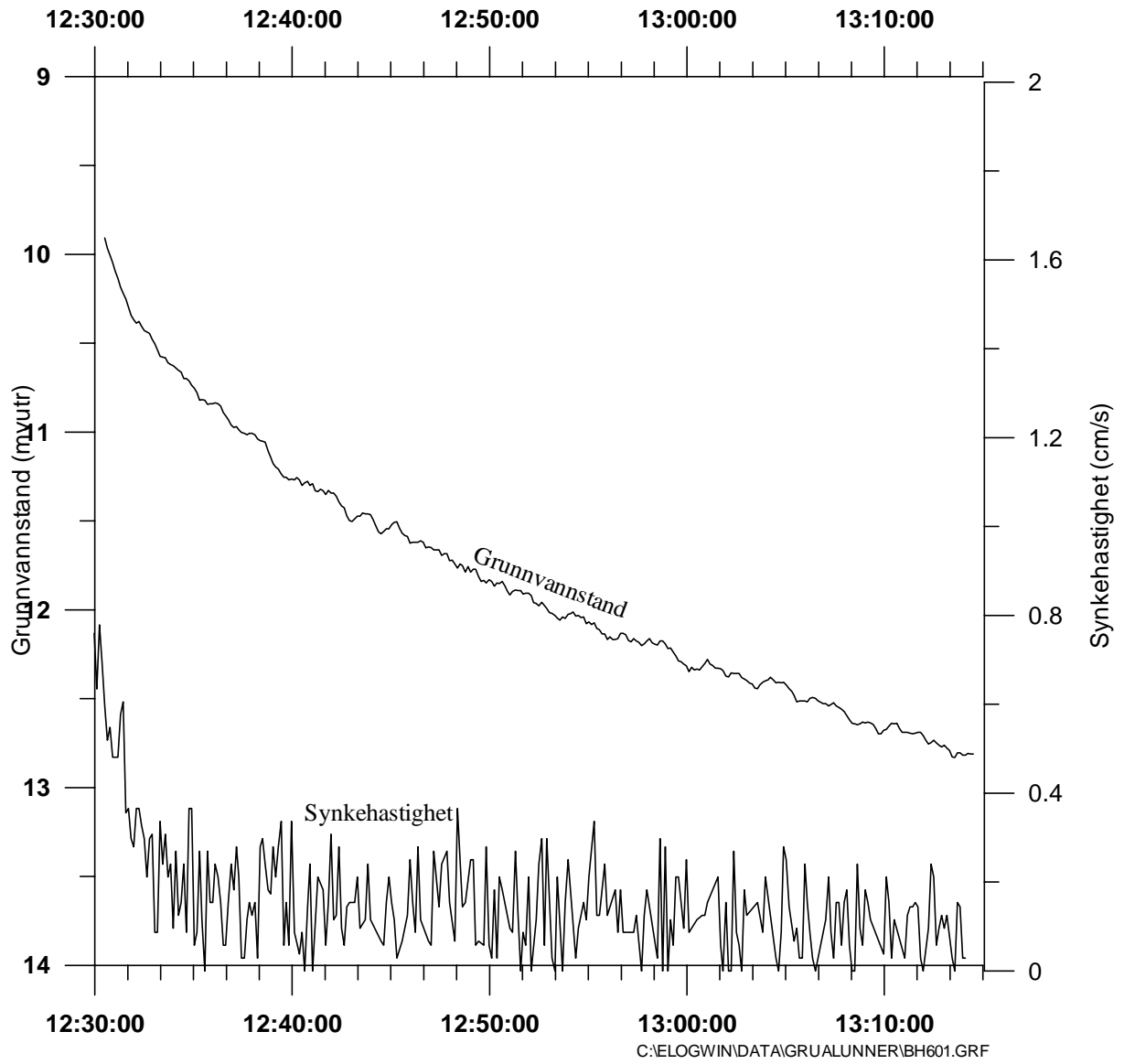
Grunnvannstand i BH6 under pumping - Grua i Lunner.



09.11.01

Figur 5

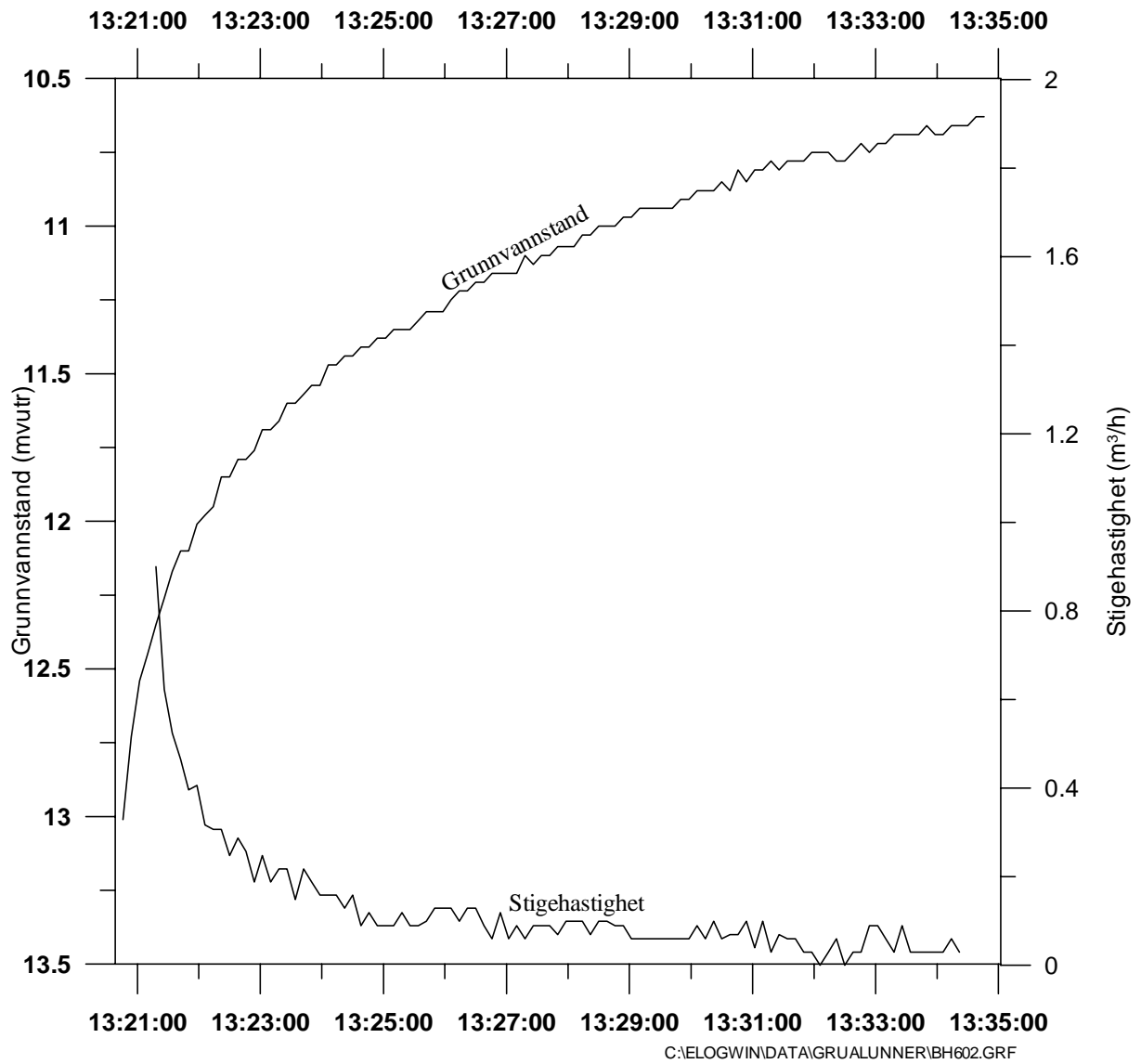
Senkningsdata BH6 - Grua i Lunner.



09.11.2001

Figur 6

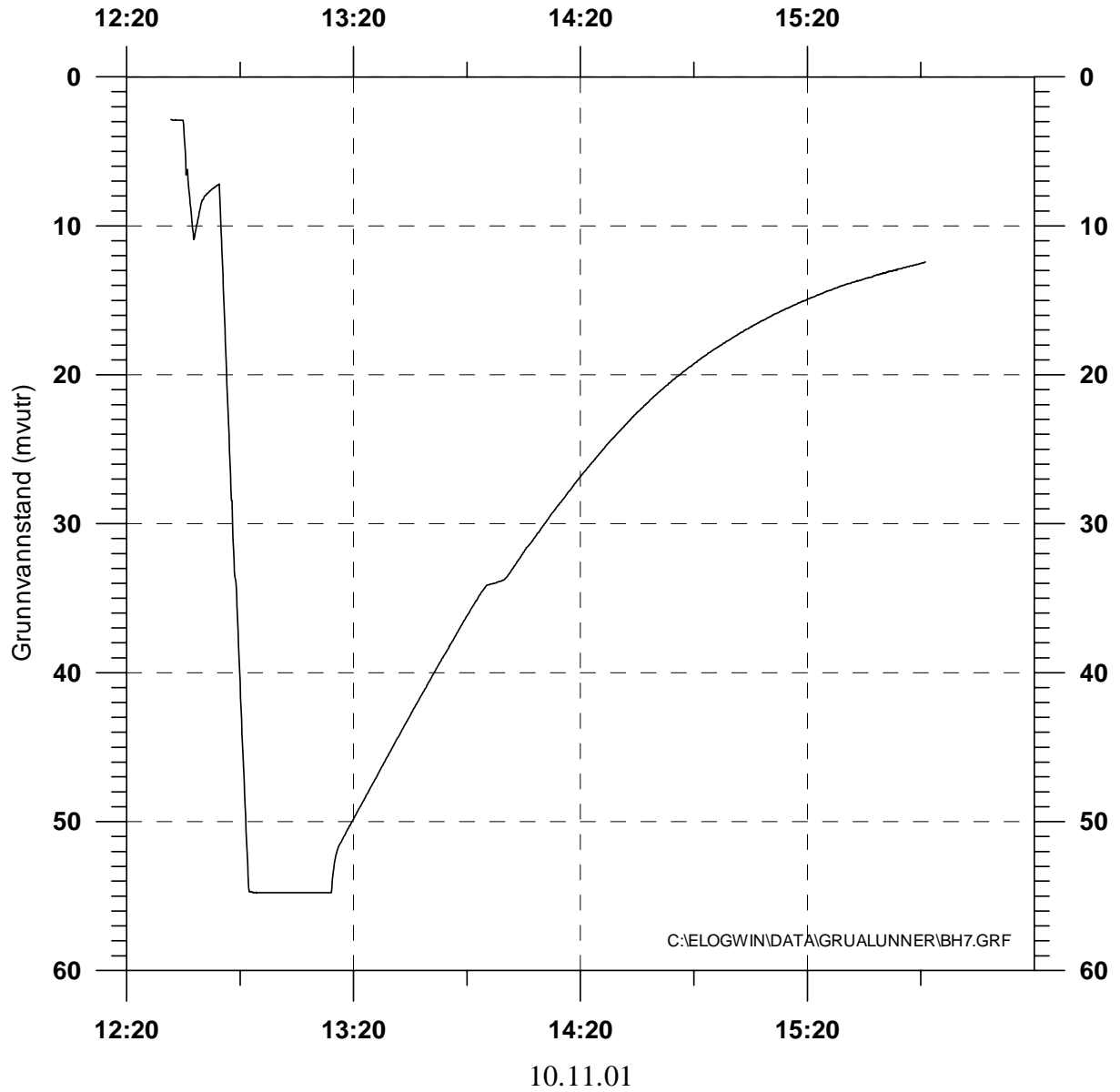
Stigningsdata BH6 - Grua i Lunner.



09.11.2001

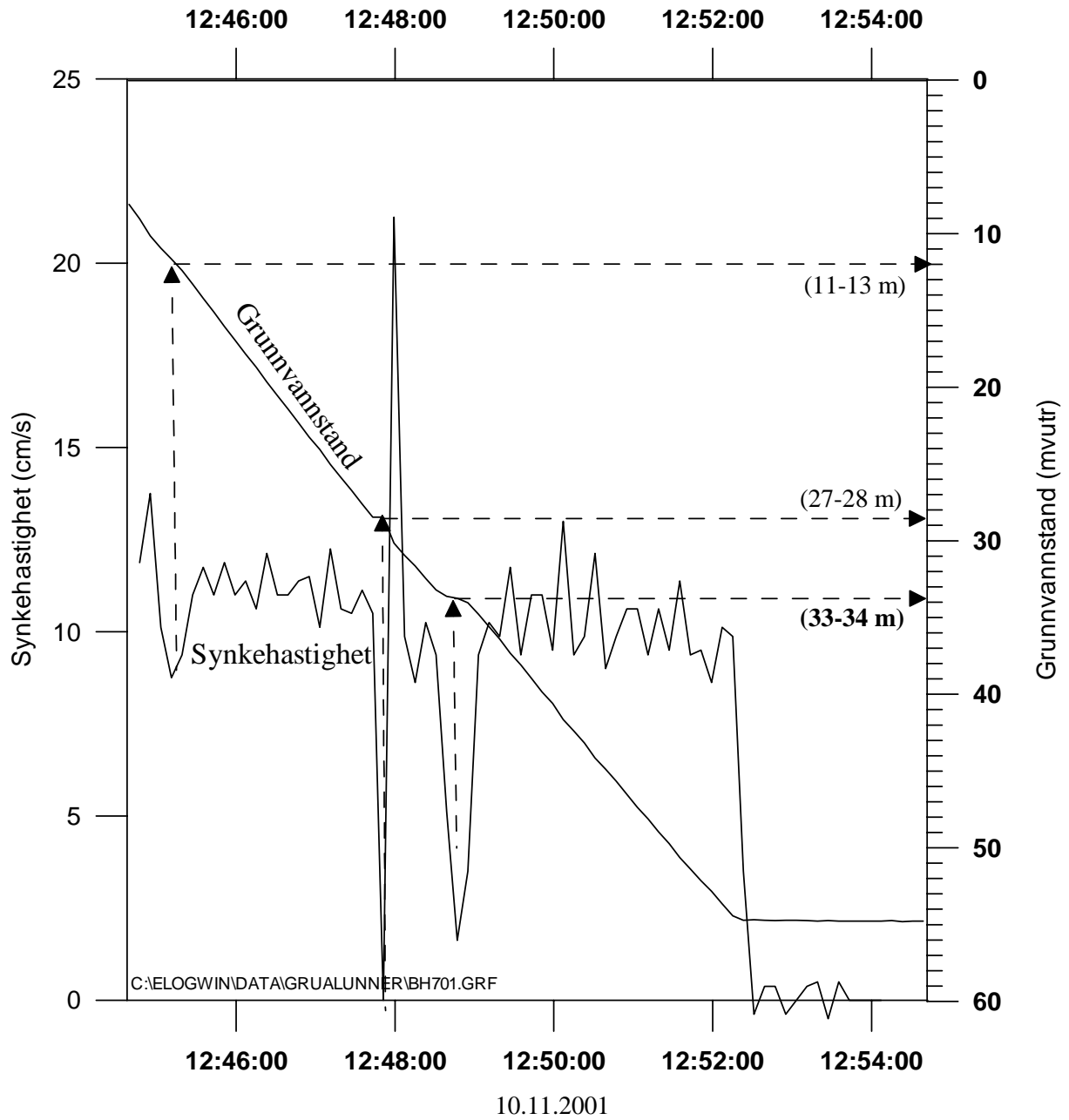
Figur 7

Grunnvannstand i BH7 under pumping - Grua i Lunner.



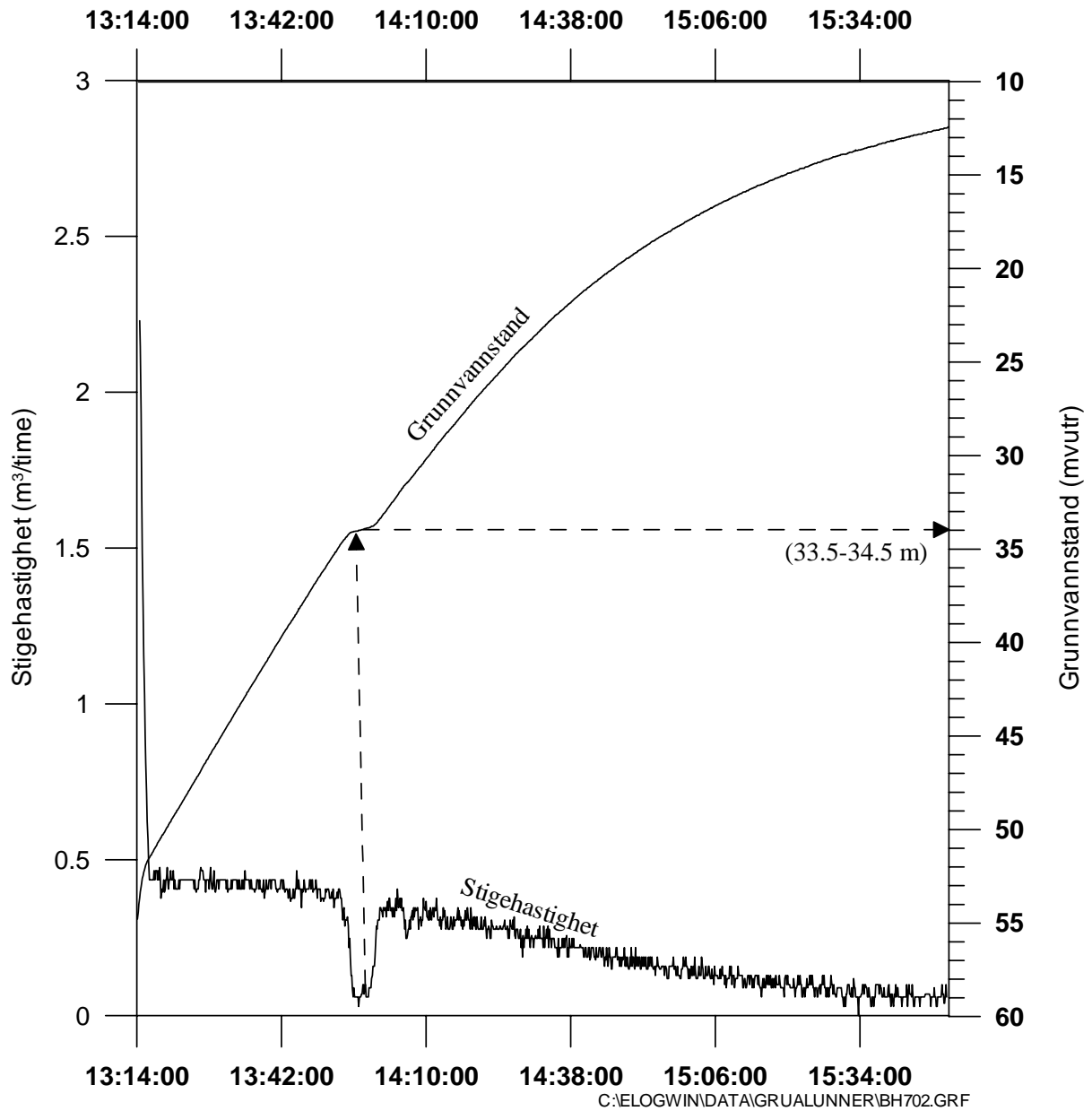
Figur 8

Senkningsdata BH7 - Grua i Lunner.



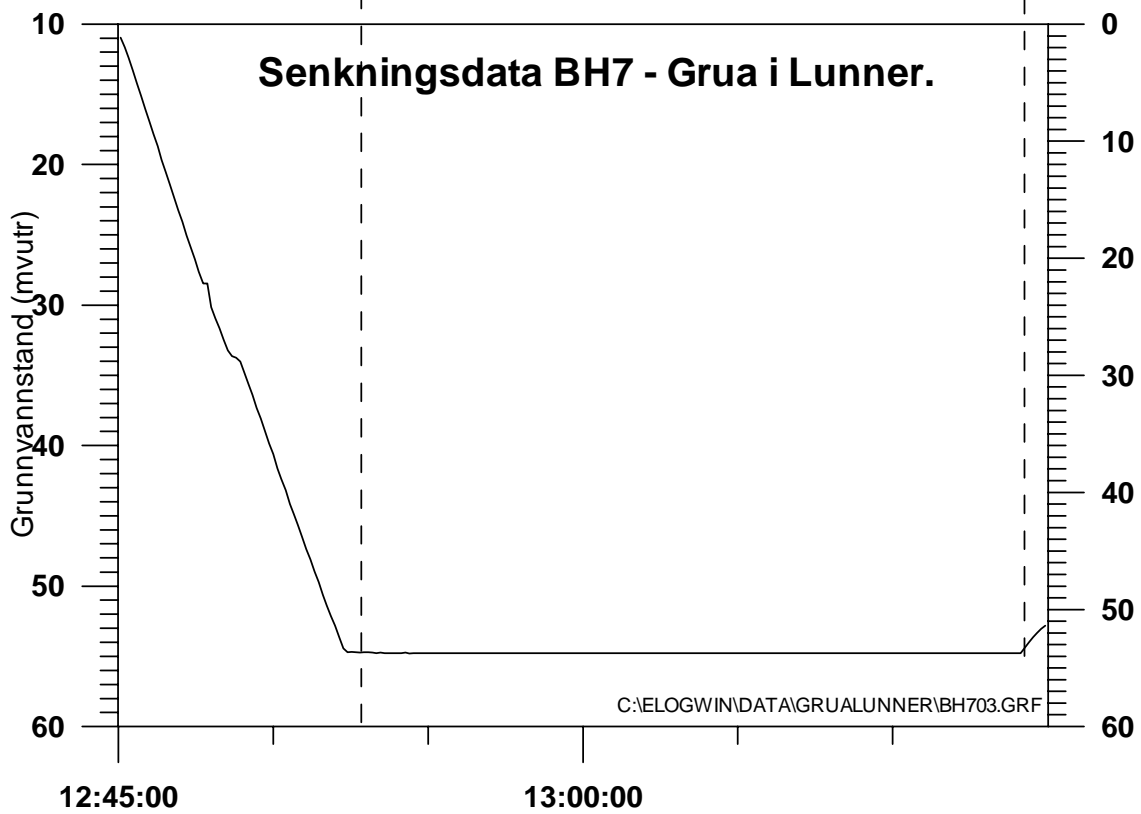
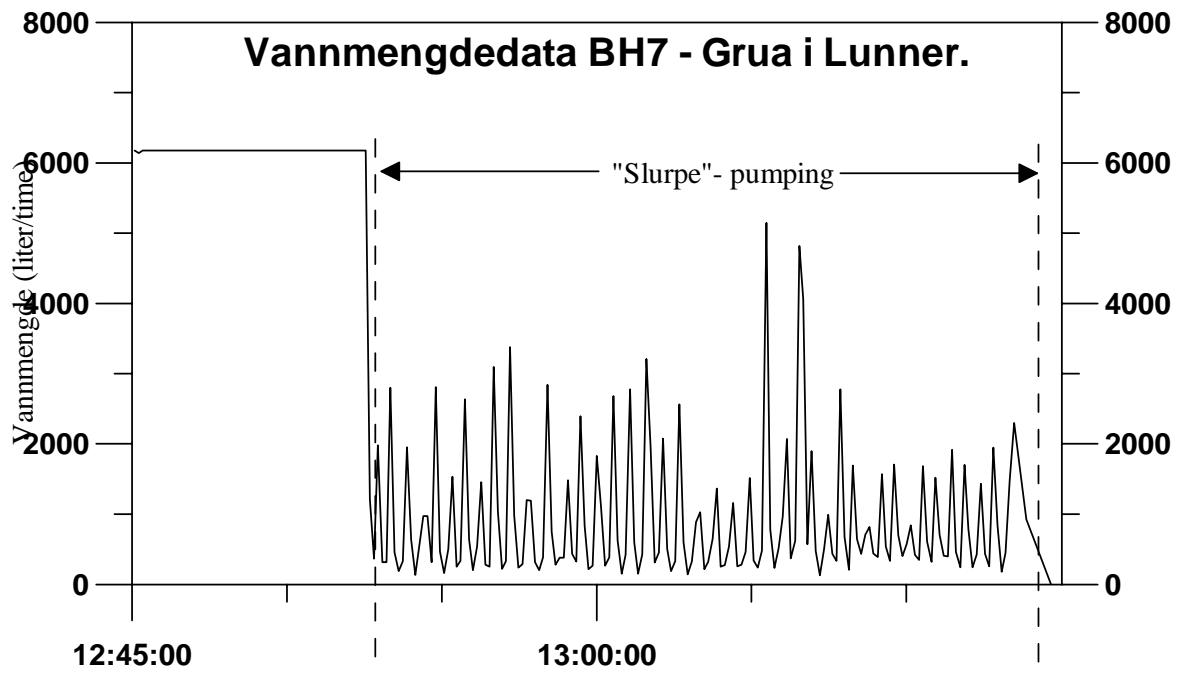
Figur 9

Stigedata BH7 - Grua i Lunner.



10.11.2001

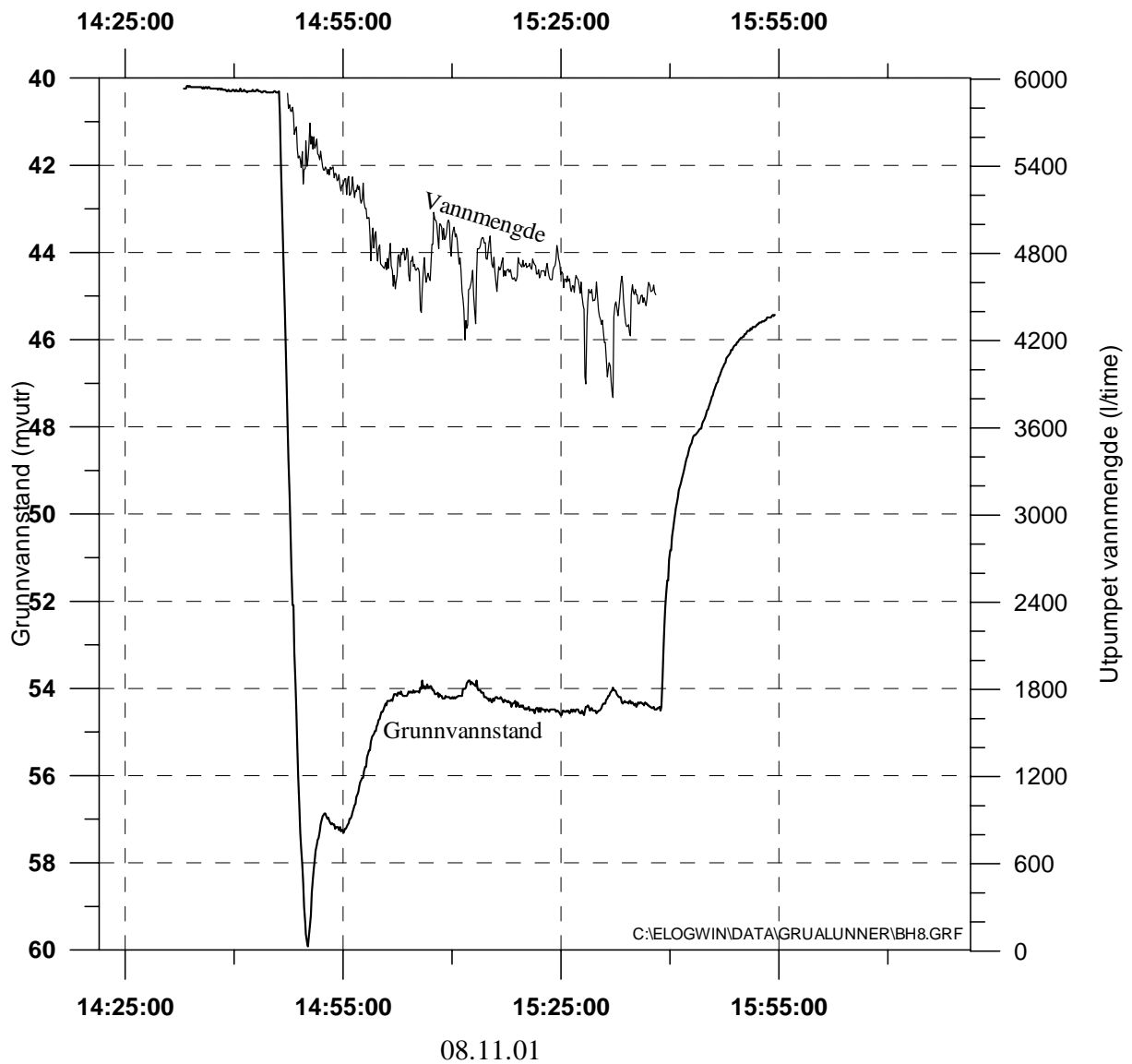
Figur 10



10.11.2001

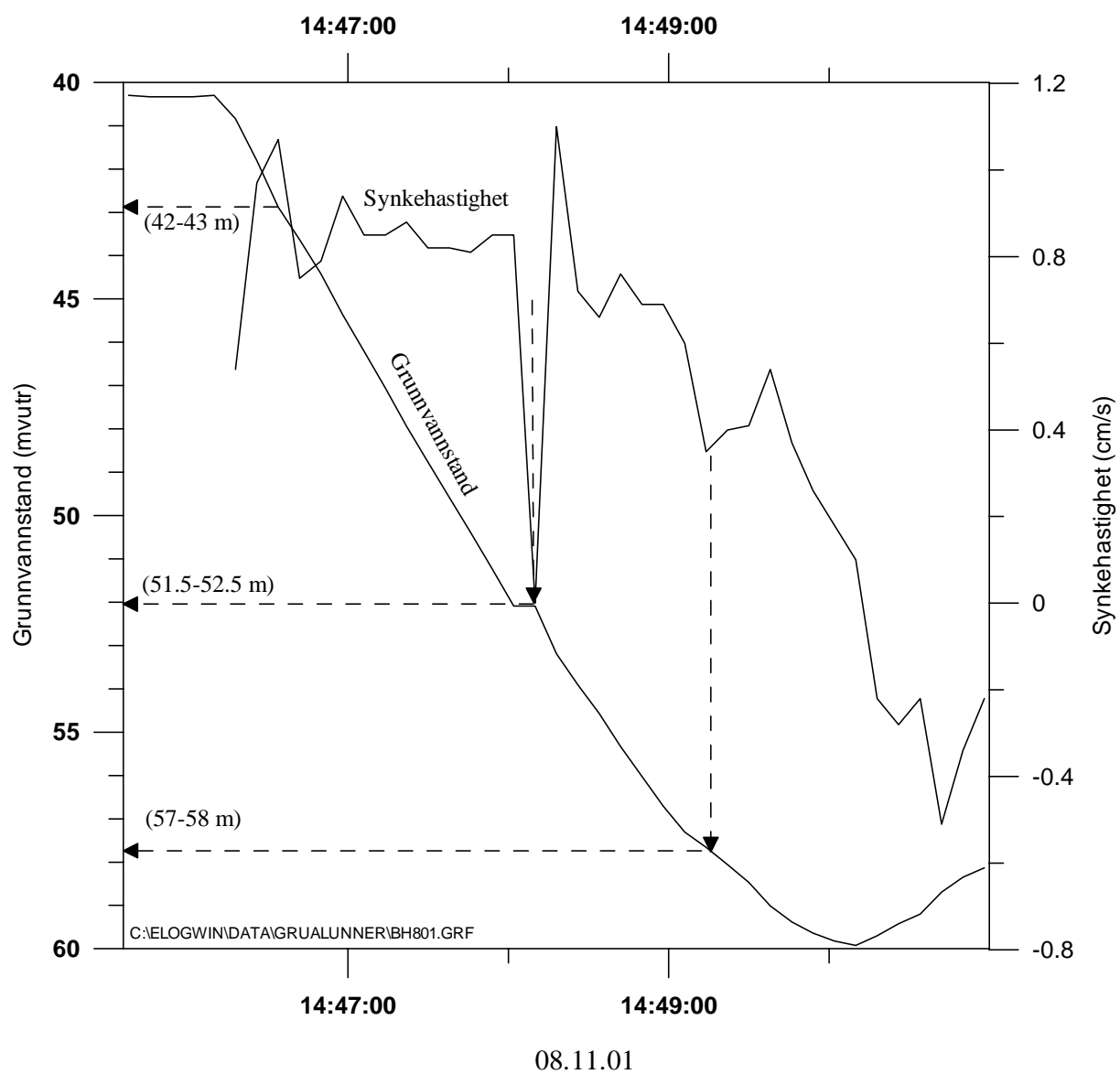
Figur 11

Grunnvannstand og vannuttak BH8 - Grua i Lunner.



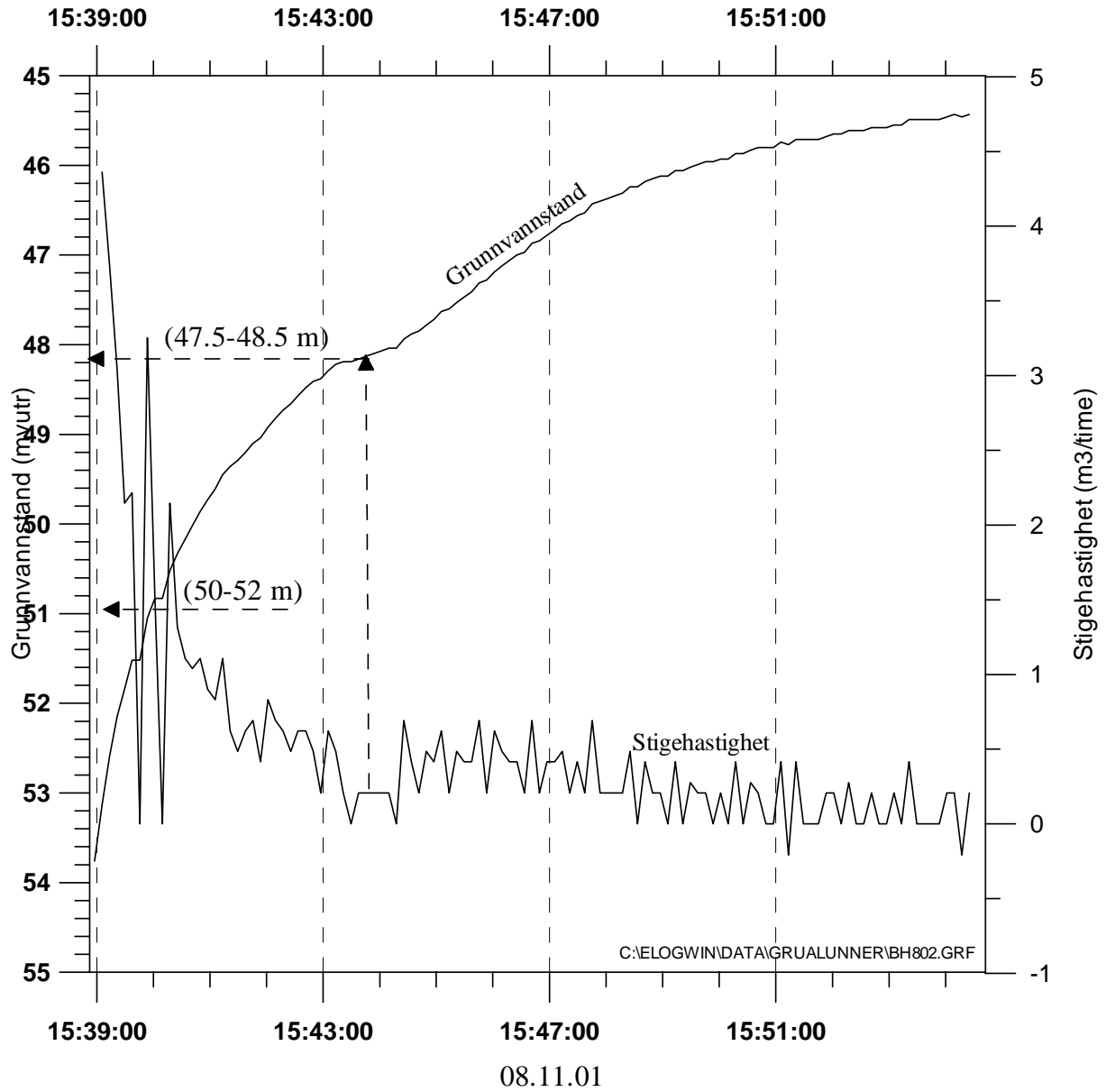
Figur 12

Senkningsdata BH8 - Grua i Lunner.



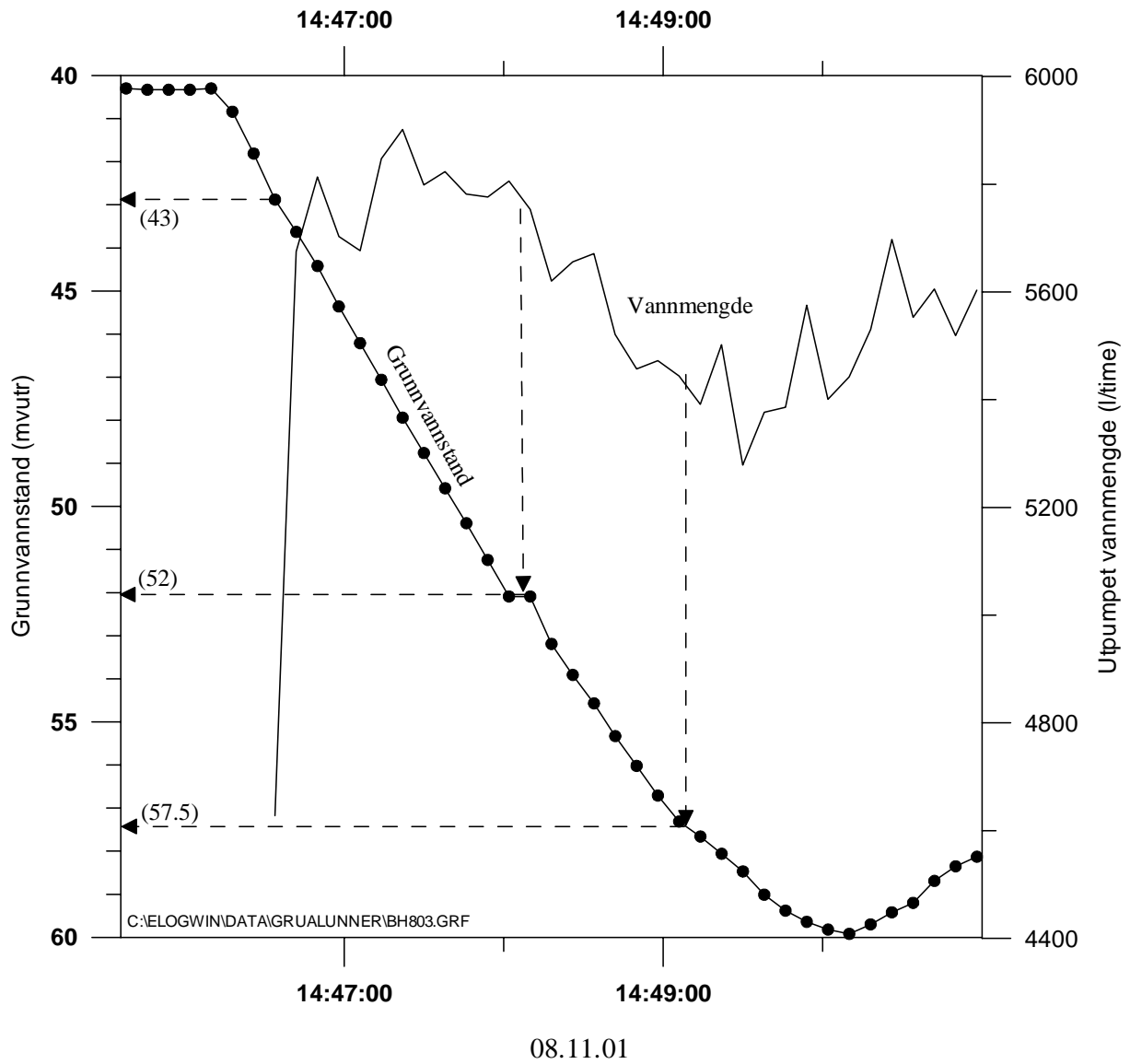
Figur 13

Stigningsdata BH8 - Grua i Lunner.

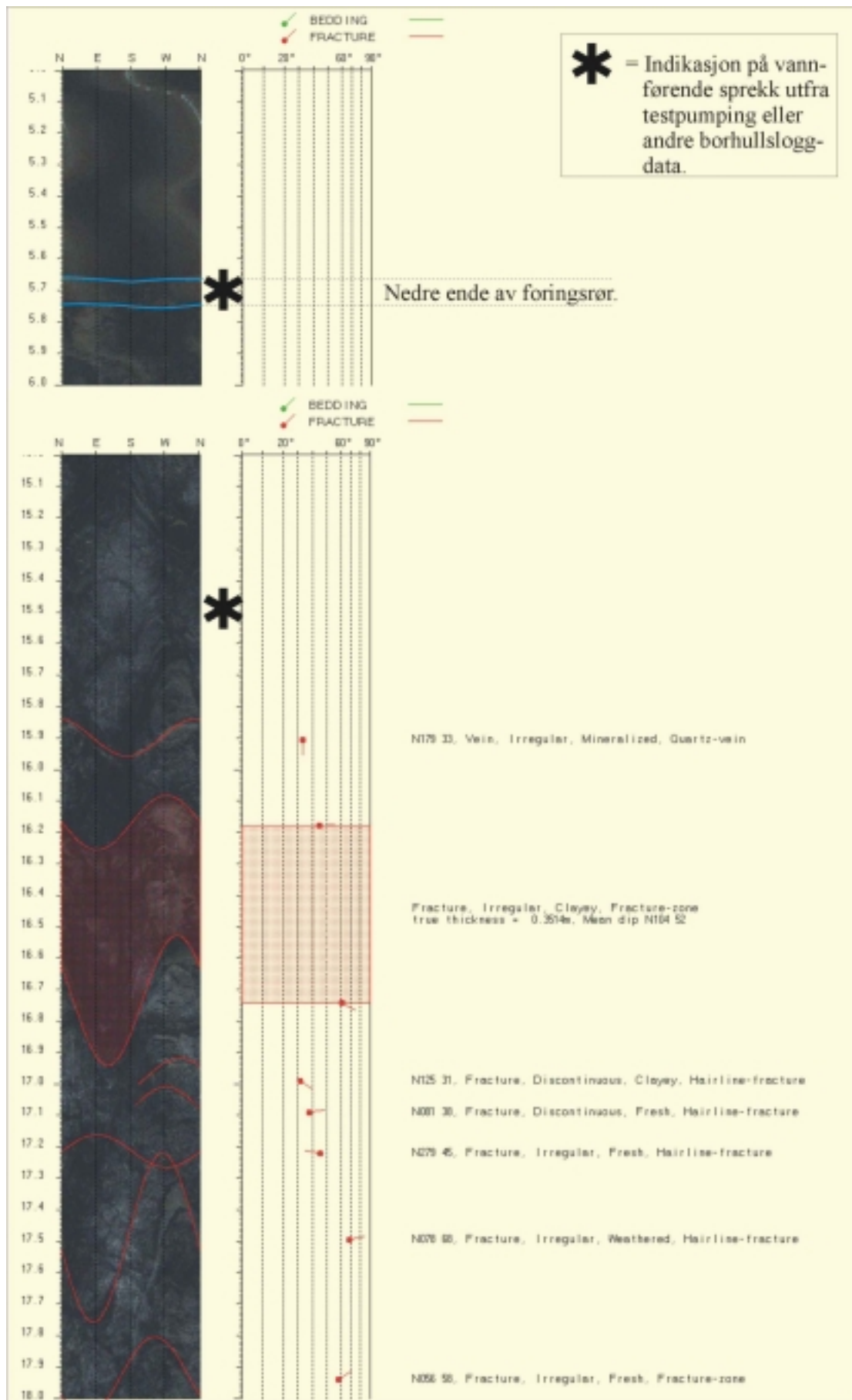


Figur 14

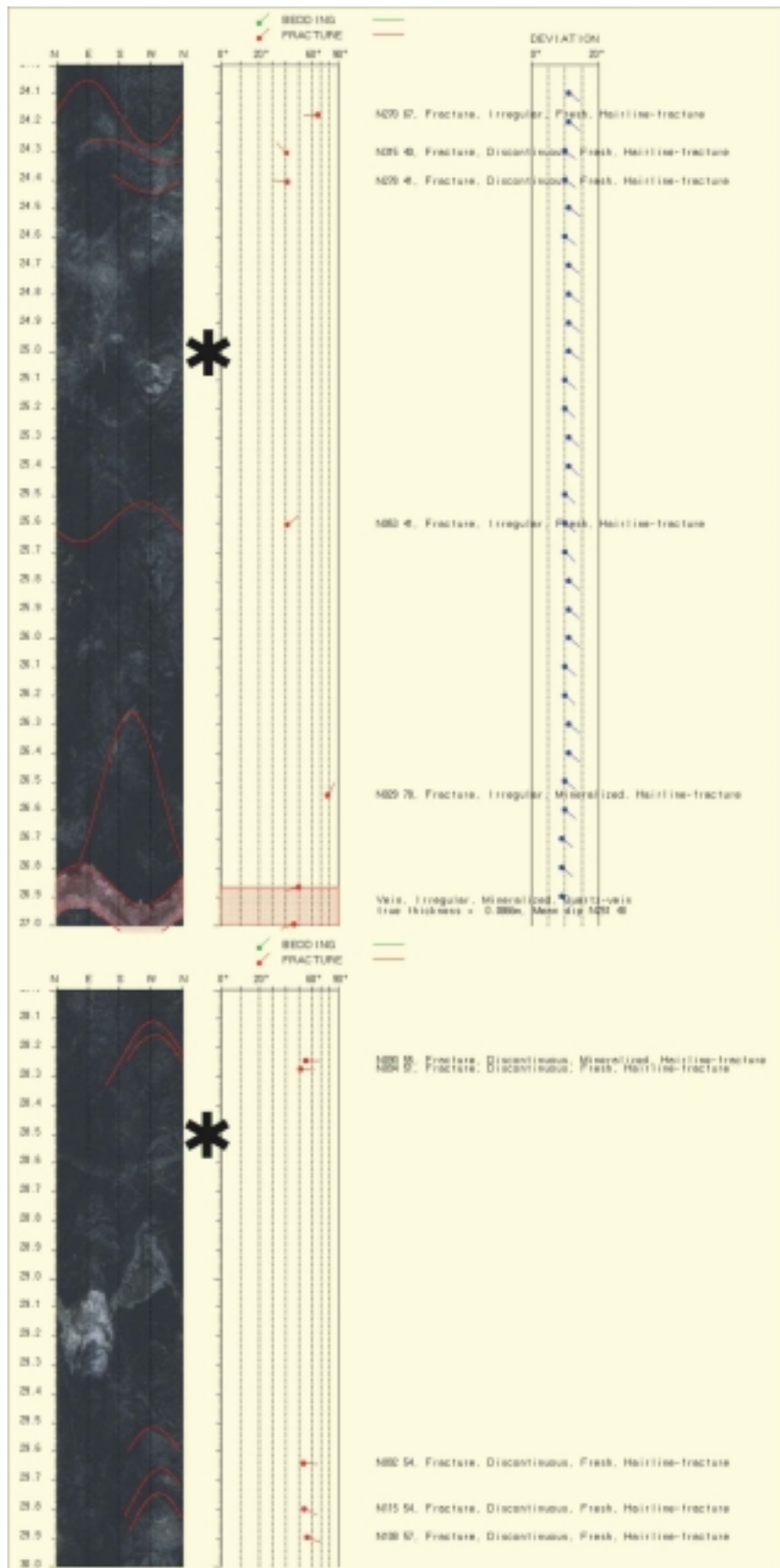
Vannstand og vannmengde BH8 - Grua i Lunner.



Figur 15

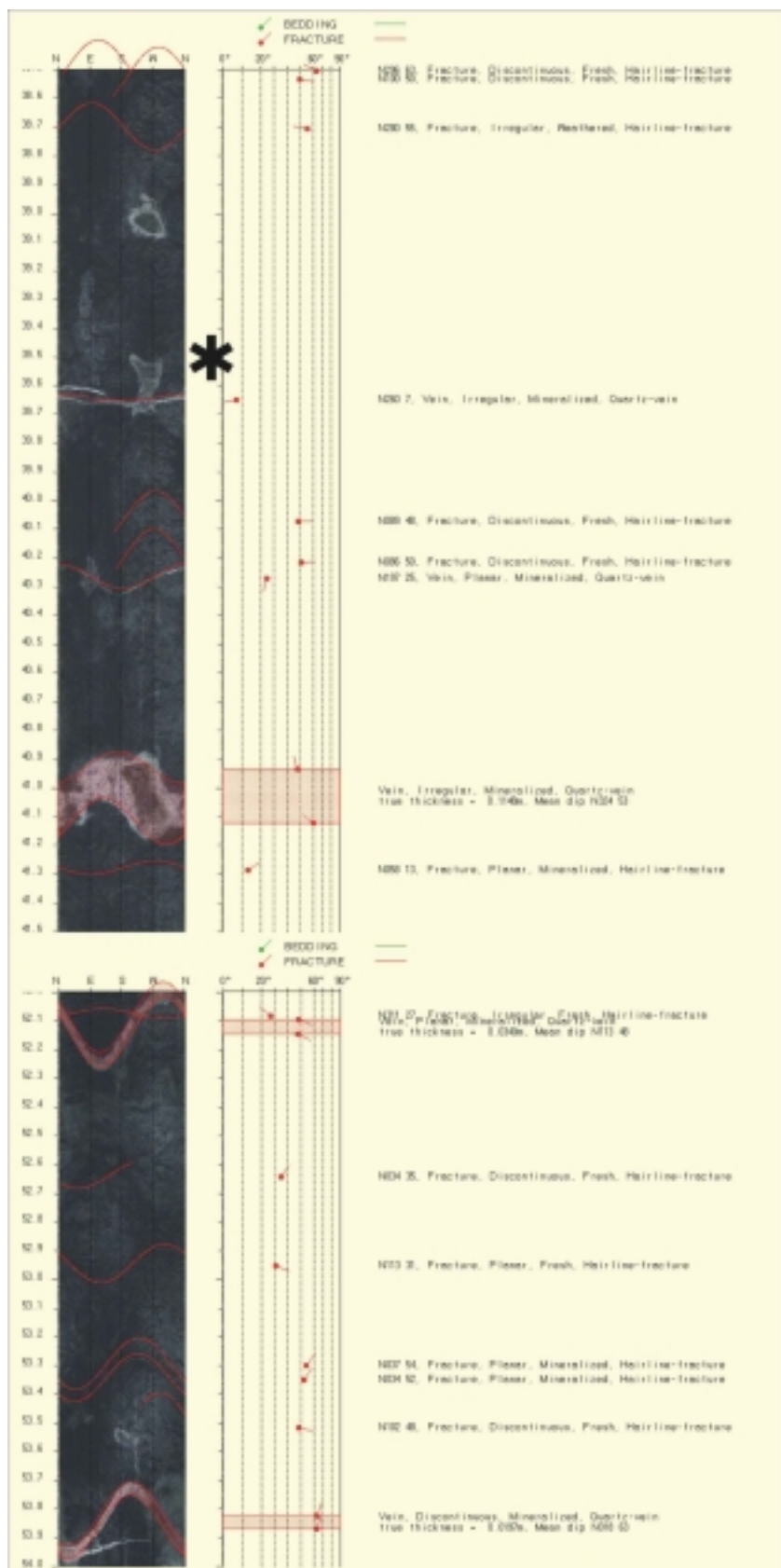


Figur 16: Bilde-logg borhull 5, 5-6 lpm og 15-18 lpm.



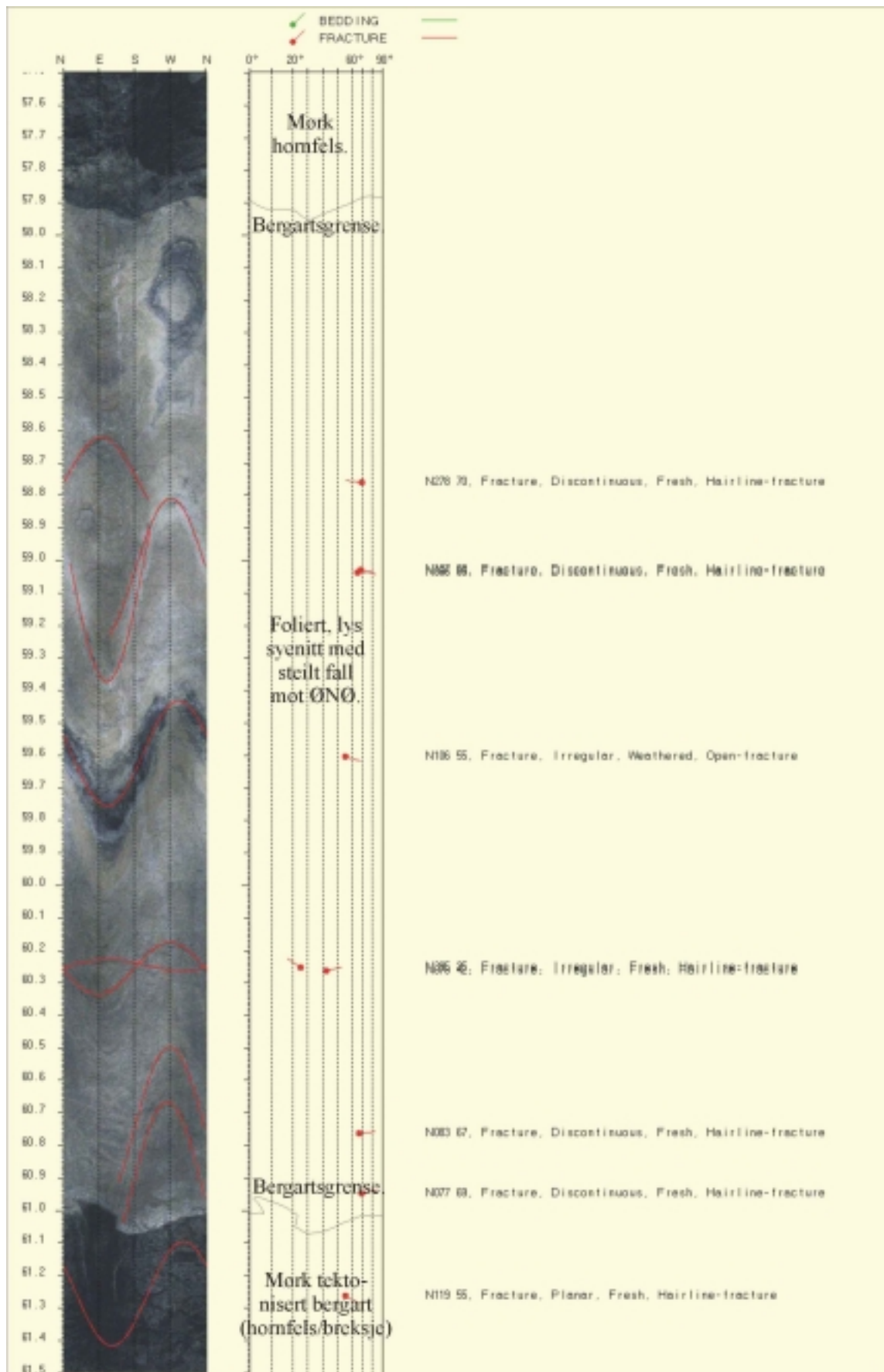
***** = Indikasjon på vannførende sprekk utfra testpumping eller andre borhullslogg-data.

Figur 17: Bilde-logg borhull 5, 24-27 lpm og 28-30 lpm.

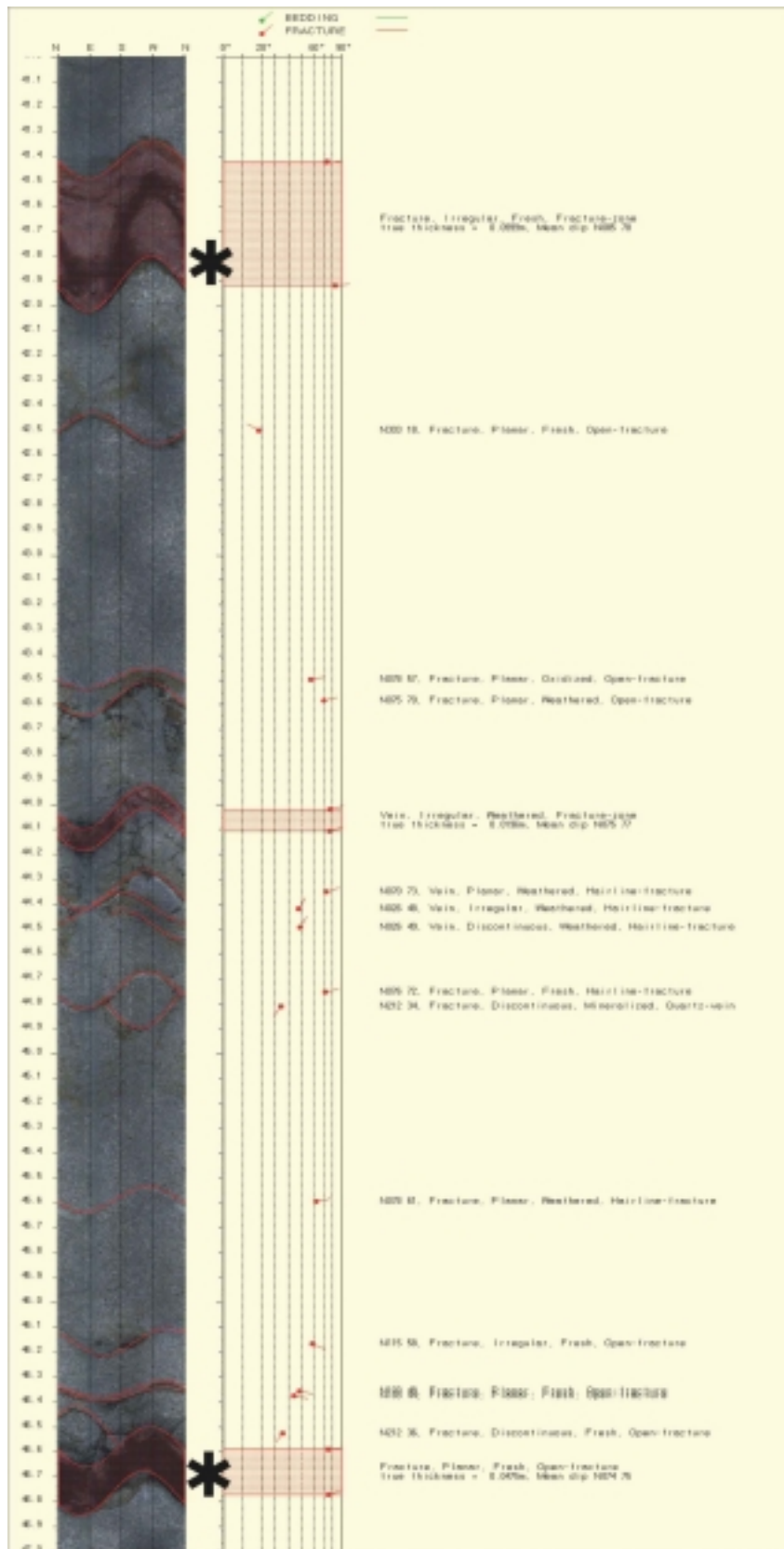


***** = Indikasjon på vannførende sprekk utfra testpumping eller andre borhullslogg-data.

Figur 18: Bilde-logg borhull 5, 38.5-41.5 lpm og 52-54 lpm.

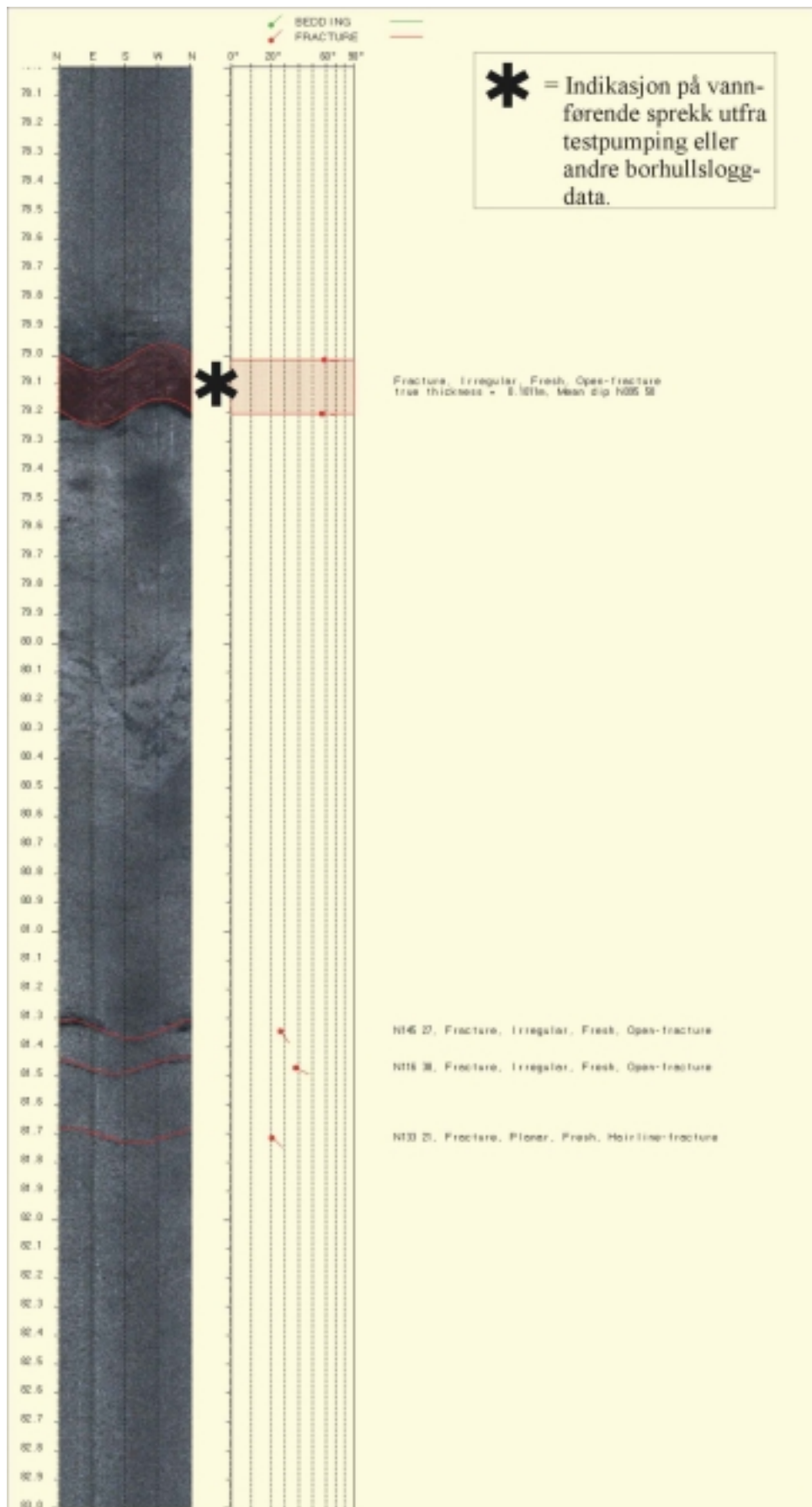


Figur 19: Bilde-logg borhull 5, 57.5-61.5 lpm.

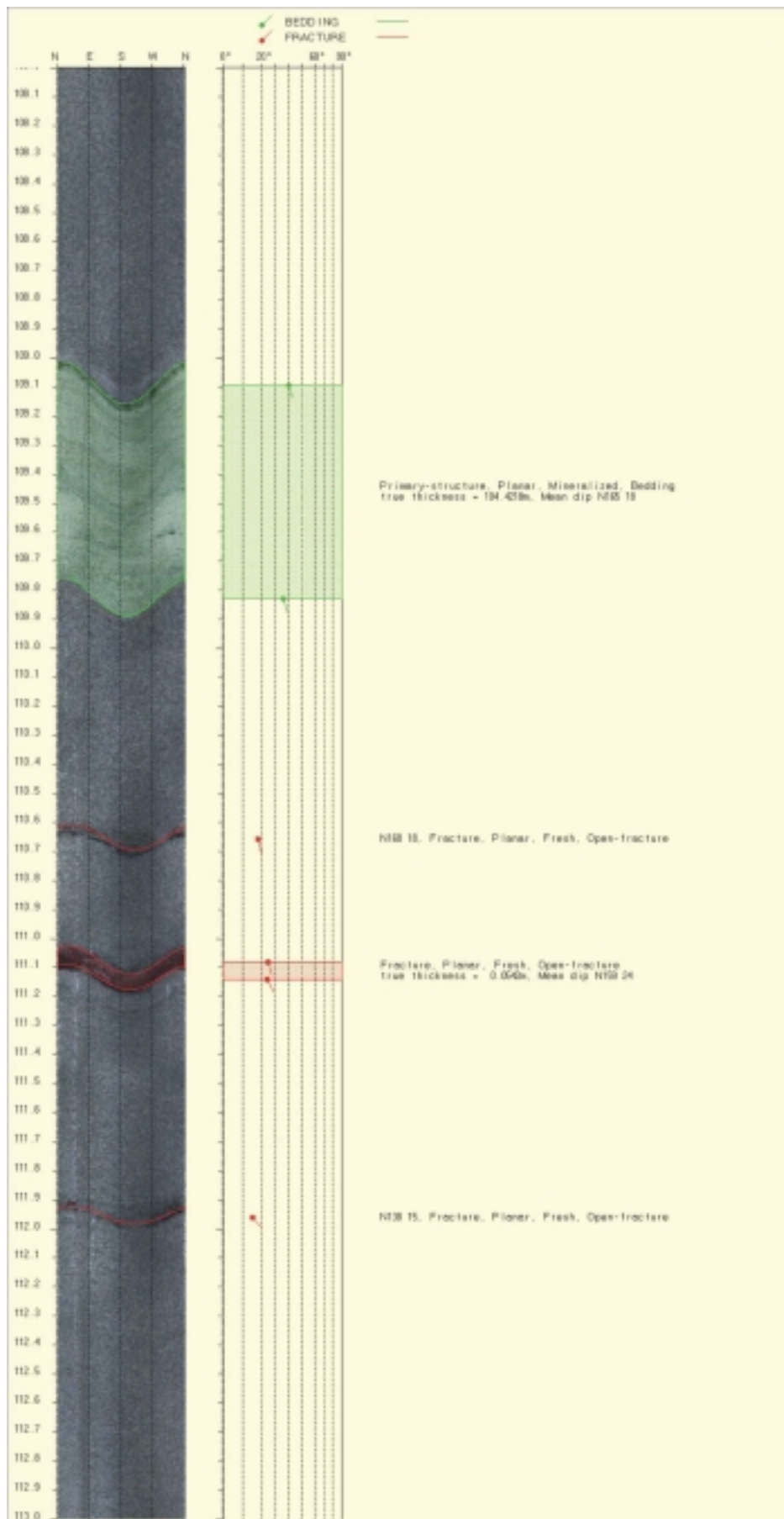


* = Indikasjon på vannførende sprekk utfra testpumping eller andre borhullslogg-data.

Figur 20: Bilde-logg borhull 6, 41-47 lpm.



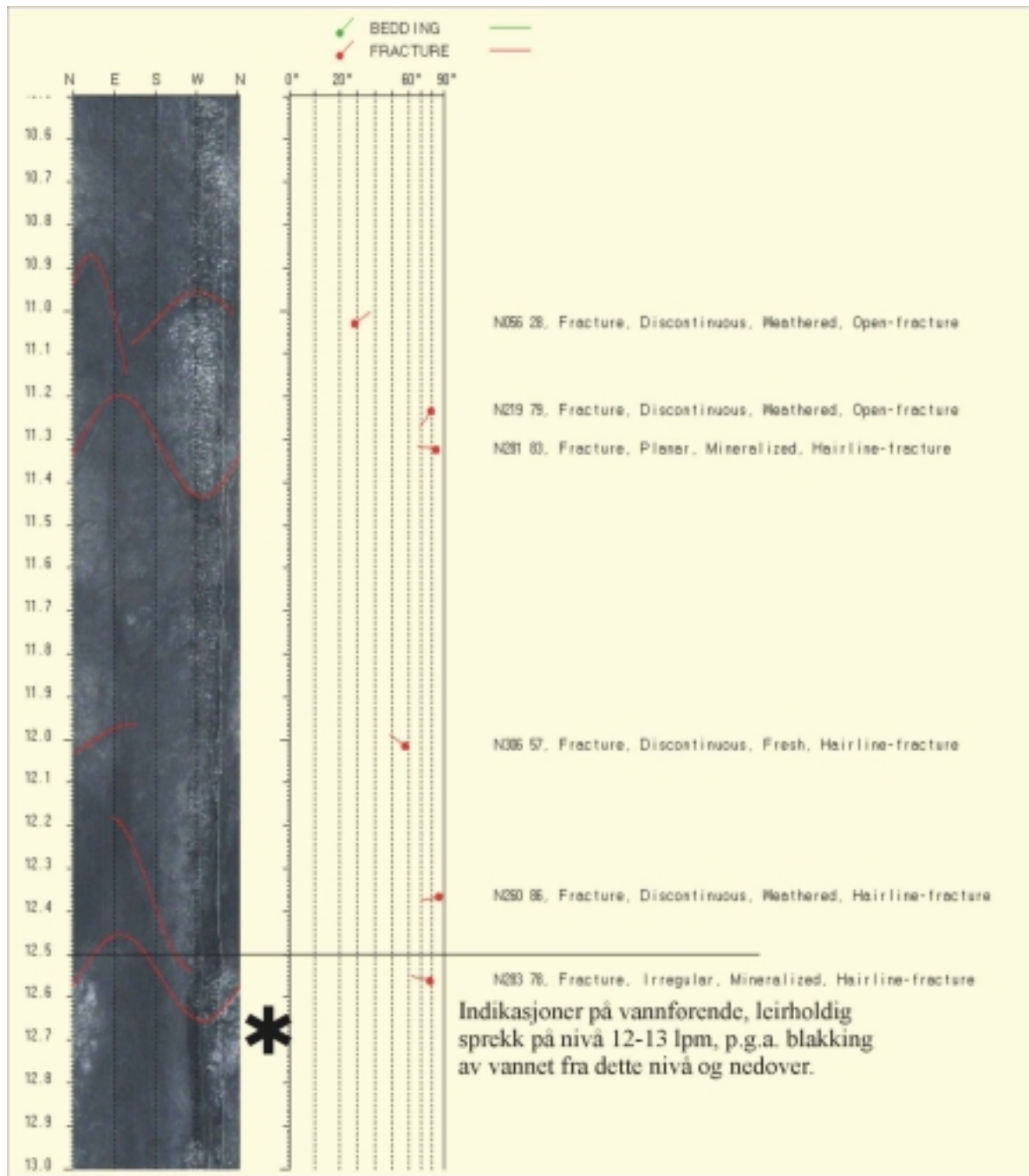
Figur 21: Bilde-logg borhull 6, 78-83 lpm.



Figur 22: Bilde-logg borhull 6, 108-113 lpm.



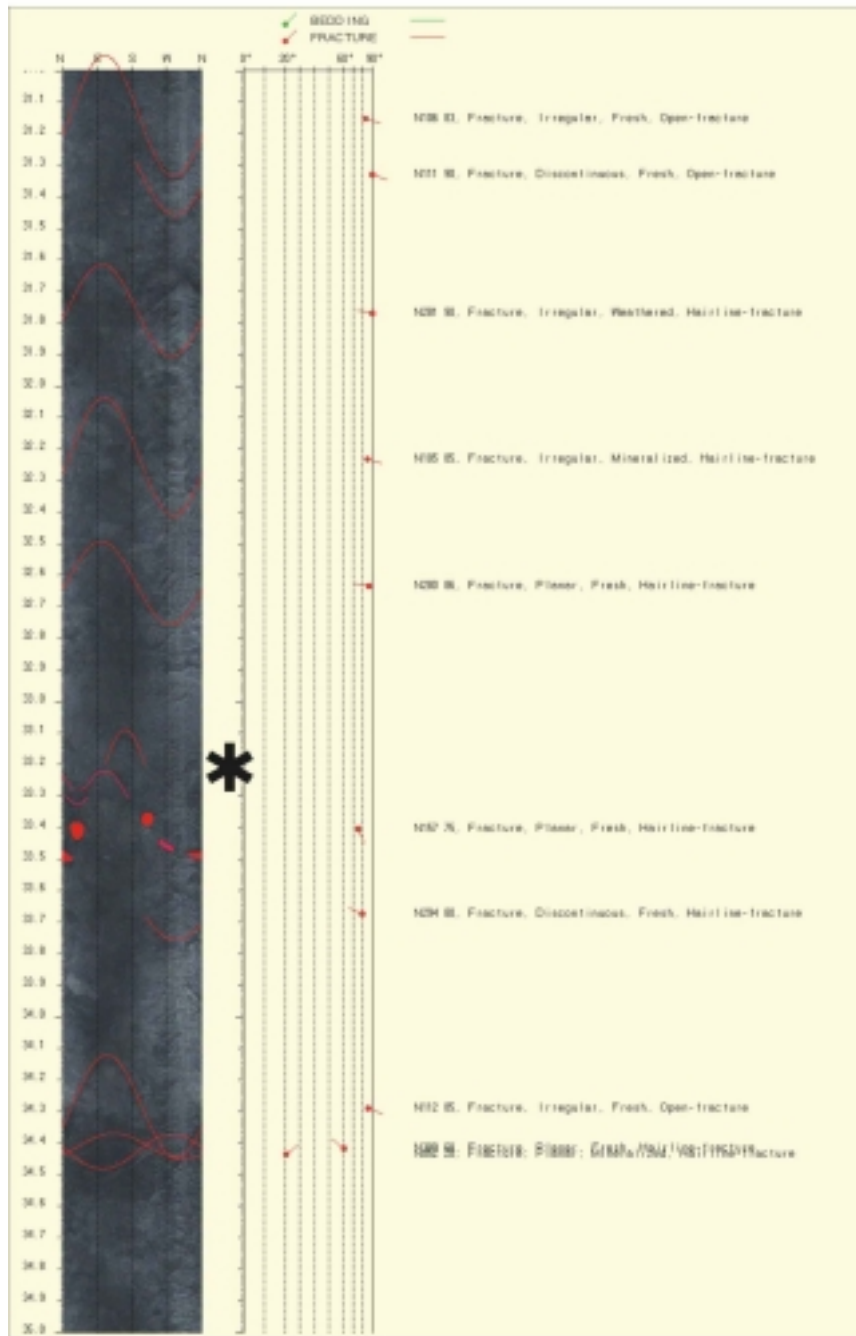
Figur 23: Bilde-logg borhull 7, 5.5-10.5 lpm.



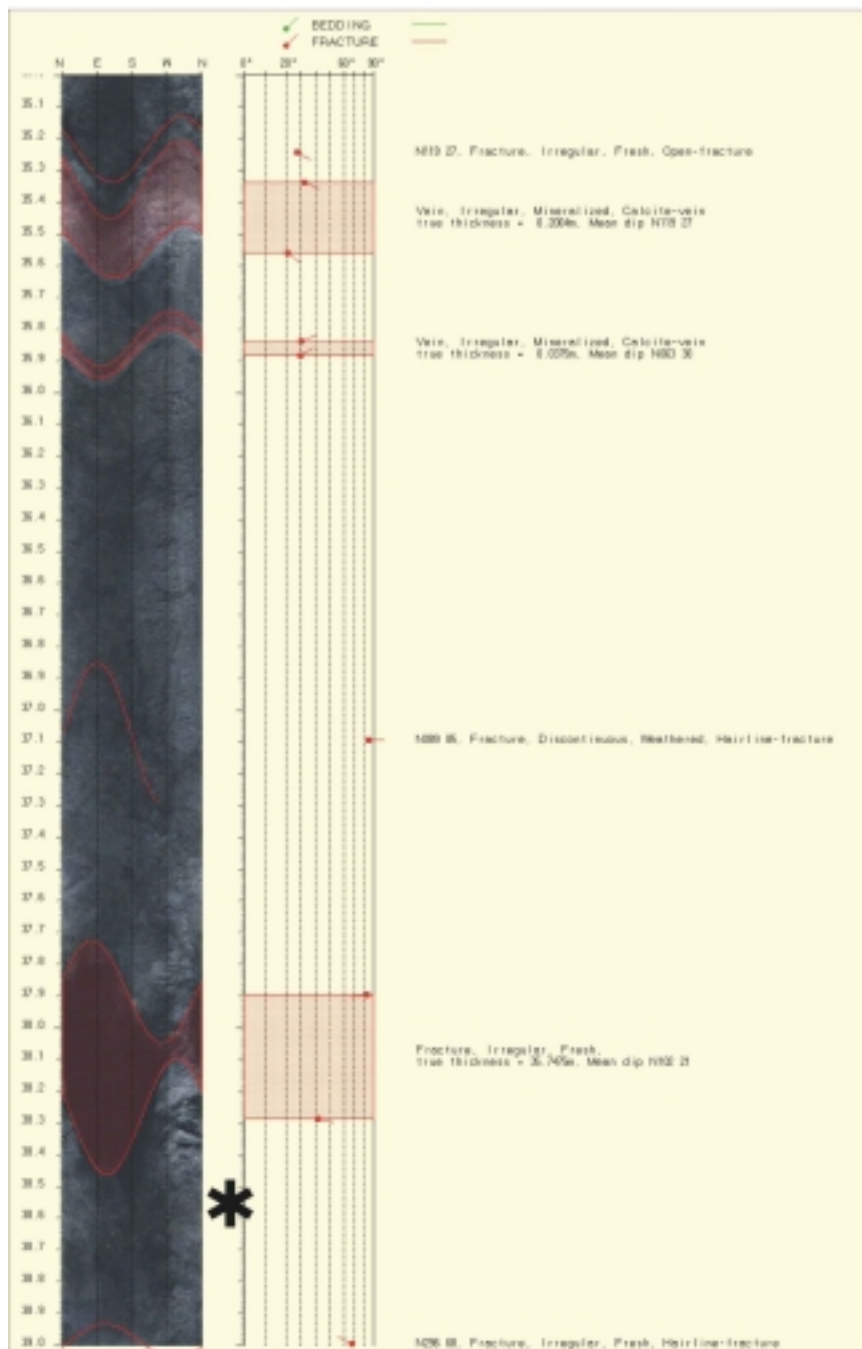
***** = Indikasjon på vannførende sprekk utfra testpumping eller andre borhullsloggdata.

Figur 24: Bilde-logg borhull 7, 10.5-13 lpm.

***** = Indikasjon på vannførende sprekk utfra testpumping eller andre borhullsloggdata.

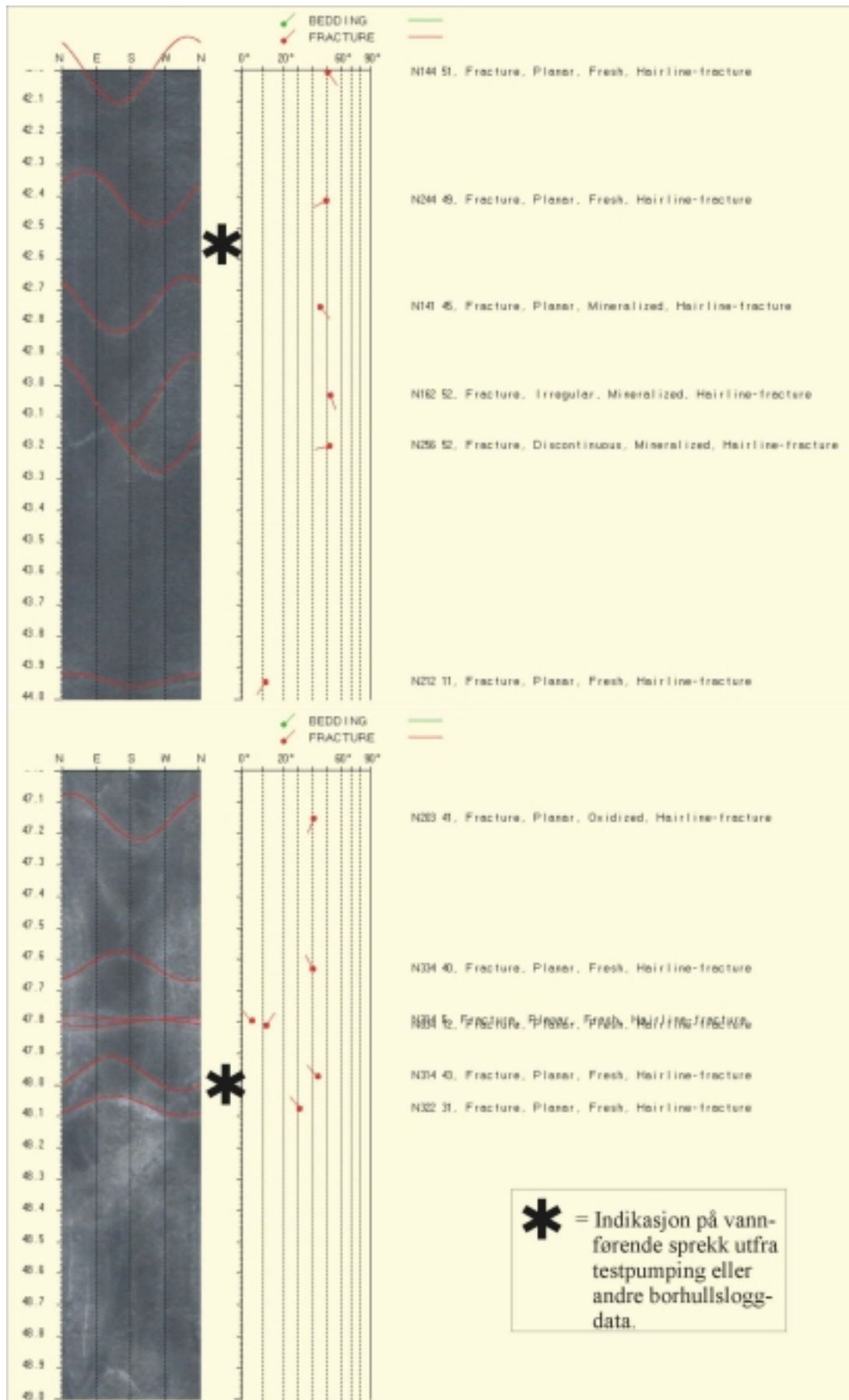


Figur 25: Bilde-logg borhull 7, 31-35 lpm.

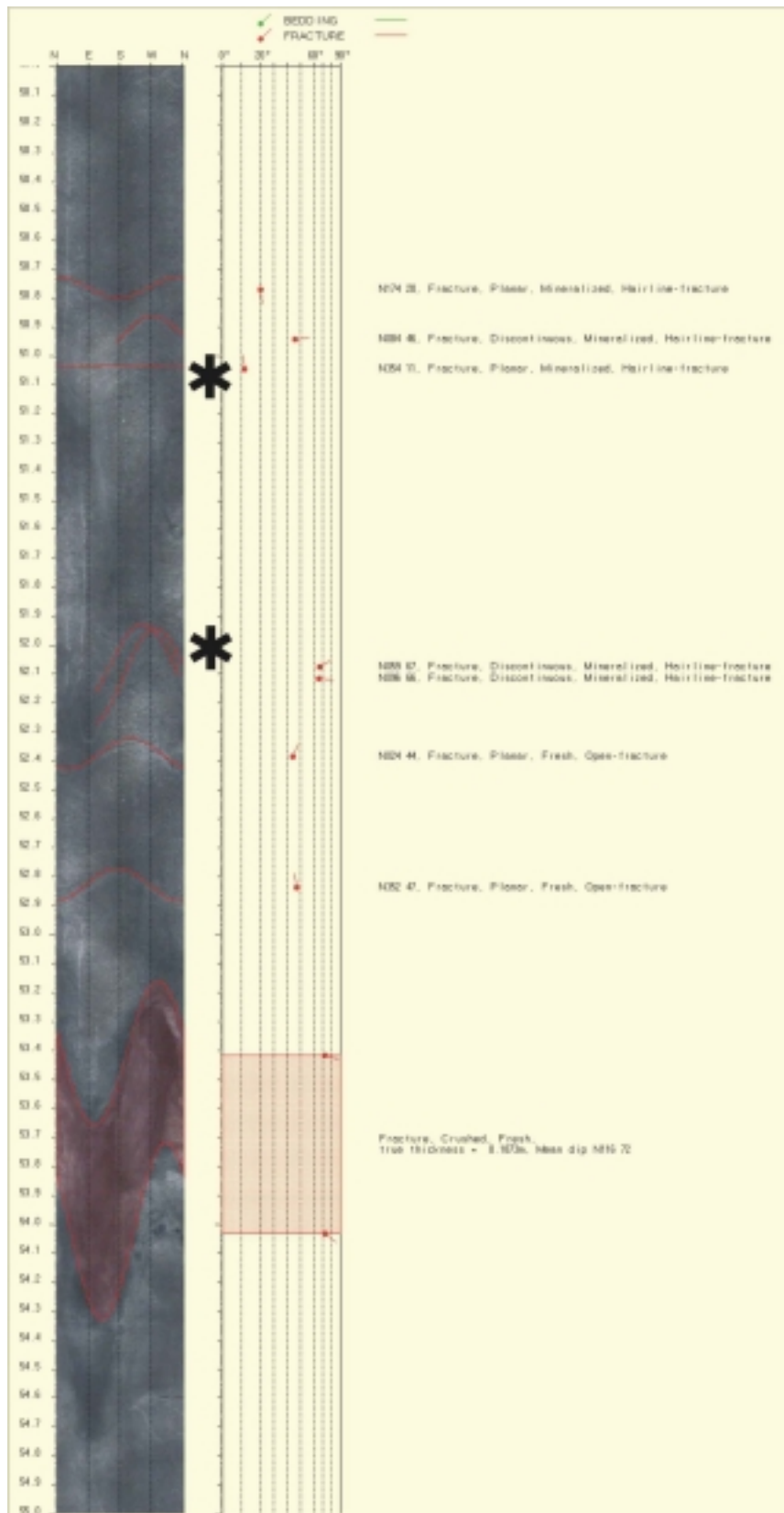


* = Indikasjon på vannførende sprekk utfra testpumping eller andre borhullsloggdata.

Figur 26: Bilde-logg borhull 7, 35-39 lpm.

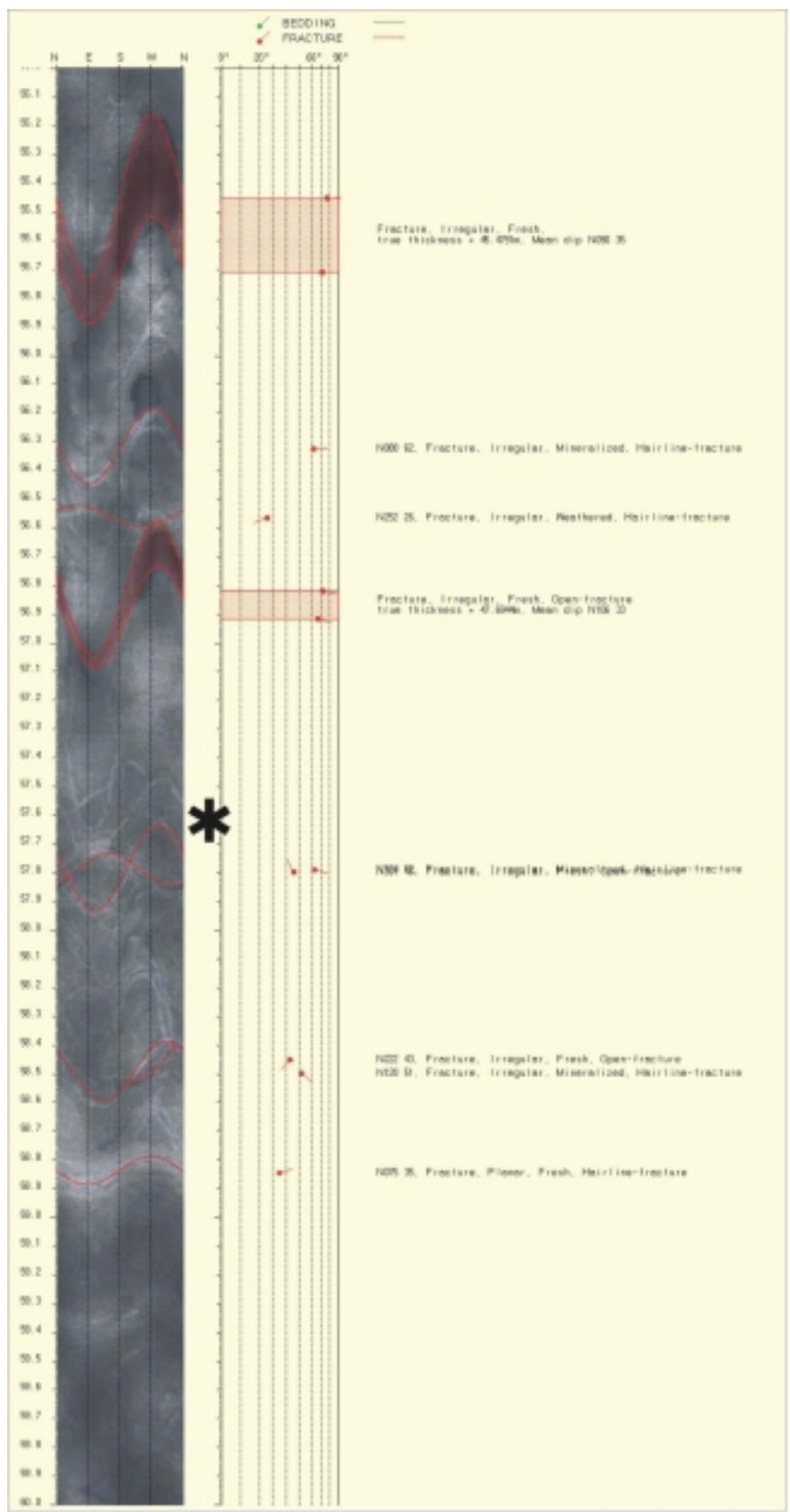


Figur 27: Bilde-logg borhull 8, 42-44 lpm og 47-49 lpm.



* = Indikasjon på vannførende sprekk utfra testpumping eller andre borhullsloggdata.

Figur 28: Bilde-logg borhull 8, 50-55 lpm.



* = Indikasjon på vannførende sprekk utfra testpumping eller andre borhullsløgg-data.

Figur 29: Bilde-logg borhull 8, 55-60 lpm.