

■ www.energy.sintef.no ■

**SINTEF****SINTEF Energiforskning AS**

Postadresse: 7465 Trondheim
Resepsjon: Sem Sælands vei 11
Telefon: 73 59 72 00
Telefaks: 73 59 72 50

www.energy.sintef.no

Foretaksregisteret:
NO 939 350 675 MVA

TEKNISK RAPPORT

SAK/OPPGAVE (tittel)

**Berøringsspenninger i Al-elektrolysehall SU4,
Sunndalsøra**

SAKSBEARBEIDER(E)

Horst Förster

(forfatter)

/ajf

OPPDRAAGSGIVER(E)

Norsk Hydro ASA

TR NR.

TR A6045

DATO

2004-12-08

OPPDRAAGSGIVER(E)S REF.

Thorfinn Løke

PROSJEKTNR.

14X29601

ELEKTRONISK ARKIVKODE

J:\Prosjekt\Avd14\14X296

PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.)

Hallvard Faremo

GRADERING

Åpen

ISBN NR.

82-594-2743-5

RAPPORTTYPE

FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.)

Hallvard Faremo

OPPLAG

5

SIDER

26

AVDELING

Elkraftteknikk

BESØKSADRESSE

Sem Sælands vei 11

LOKAL TELEFAKS

73 59 72 50

RESULTAT (sammendrag)

Undersøkelser for å kartlegge bygningsmessige forhold med hensyn til isolasjonsmotstand i elektrolysehallen etter oppstart av seksjon 3.

Før oppstart av seksjon 3 i elektrolysehall SU4 på Sunndalsøra, ble isolasjonsmotstanden i elektrolysehallen kartlagt. Oppstarten av seksjon 3 medførte at driftsspenningen ble økt fra 1000 V til 1500 V. Ønsket isolasjonsmotstand er minimum 200 Ω/V , dvs >300 k Ω . Dette tilsvarer en maksimal berøringsstrøm på 5 mA.

Målingene i 2004 konsentrerte seg rundt den enden av hallen som har størst spenning. Isolasjonsmotstanden varierte mellom 16,6 k Ω og 975 k Ω , men var for det meste i området ca 30 - 200 k Ω , dvs. lavere enn ønsket. I forhold til 2003 var det en markant, for det meste, forbedring og etter at porten SO-203 blir stengt forventes det en ytterlige forbedring. I tillegg til stikkprøver, ble det målt isolasjonsmotstand i golv i seksjon 2 (ovn nr A 112) og i seksjon 3 (ovn nr D 112). Isolasjonsmotstanden var relativ høy i forhold til spenningen, dvs berøringsstrømmen ligger mellom 2 og 9 mA. Forholdene er følgelig ikke helt tilfredsstillende.

Det skal være tre isolasjonsbarrierer mot strømgjennomgang i personell. Derfor er det påkrevd med isolerende hansker, sko og annen bekledning, samt isolasjon i golv og vegger. Isolerende sko og isolerende hansker er hver for seg prinsipielt tilstrekkelig som vern, slik at det ikke foreligger et direkte faremoment til tross for at isolasjonsmotstanden i golv og vegger ikke er tilfredsstillende enda.

Skinnegangen ved Gantry'en er forlenget siden desember 2003 og rekker nå til enden av seksjon 3. Isolasjonsmotstanden er ikke tilfredsstillende og strømmen over en motstand på 1 k Ω er >125 mA. Sikringene i måleledninger fikk brudd. Isolasjonsmotstanden i hovedskinnekorridoren er ikke tilfredsstillende

Inntil bygningsmessige forhold er blitt tilfredsstillende, er nøyaktig kontroll av sko og hansker påkrevd.

Faste installasjoner på golv og vegger viste tilfredsstillende motstandsverdier.

STIKKORD

EGENVALGTE

Berøringssikkerhet

Al-elektrolyse

Driftsspenning

Betong

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1 BAKGRUNN	3
2 MÅLEMETODEN	4
3 HALLENS DRIFTSDATA	5
4 ISOLASJONSMOTSTAND I GULV, VEGGER OG ANDRE GJENSTANDER I ELEKTROLYSEHALLEN	6
4.1 ISOLASJONSMOTSTAND I GOLV OG VEGGER VED OVNENE A 001 OG B 001	6
4.2 ISOLASJONSMOTSTAND I OMRÅDER Lenger inn i hallen	7
4.3 ISOLASJONSMOTSTAND I TVERRFELTET VED OVNENE A/B 054 OG A/B 055	7
4.4 ISOLASJONSMOTSTAND I KJØLEBOKSER	8
4.5 ISOLASJONSMOTSTAND AV ULIKE INNSTALLASJONER I ELEKTROLYSEHALLEN	8
4.6 ISOLASJONSMOTSTAND I KJELLEREN UNDER ELEKTROLYSEHALLEN	8
5 ANDRE MÅLINGER OG FORHOLD	10
5.1 KONTROLL AV JORDFEILVERNET	10
5.2 FORHOLDENE I KJELLEREN	10
5.3 DIVERSE ANDRE FORHOLD	10
6 FORSLAG TIL KONTROLLMÅLINGER	11
7 REFERANSER	11
8 KONKLUSJONER	12
VEDLEGG	
RESULTATER FRA MÅLINGENE OG BESKRIVELSE AV PLASSERINGEN TIL MÅLEPUNKTENE	14

1 BAKGRUNN

Befaringen og målingene ble utført 08. og 09. november 2004 i elektrolysehall SU4 etter at seksjon 3 ble startet.

Tilstede under målingene var:

Thorfinn Løke	Norsk Hydro ASA (08.11.2004)
Geir Gjerde	Norsk Hydro ASA (09.11.2004)
Horst Förster	SINTEF Energiforskning AS (SEfAS)

Den elektriske personsikkerheten er blant annet ivaretatt ved tre isolasjonsbarrierer:

- Hansker og klær
- Isolerende vernesko og
- Isolasjonsevnen til betongen i golv og vegger.

Hver barriere skal hver for seg begrense berøringsstrømmen til maksimalt 5 mA (200 Ω /V).

Målingene i november 2004 er en oppfølging av målingene som ble utført i desember 2003 for å følge med i hvordan isolasjonsmotstanden i elektrolysehallen SU4 utvikler seg. I desember 2003 var isolasjonsmotstanden i golv og vegger ikke tilfredsstillende og det forventes en forbedring i november 2004 siden betongen har hatt mer tid på seg til uttørking. Resultatene fra desember 2003 er beskrevet i SEfAS TR F5953 "Berøringsspenninger i Al-elektrolysehall SU4, Sunndalsøra" [4].

Befaringen og målingene som ble utført, skulle gi en oversikt over isolasjonstilstanden i elektrolysehallen etter oppstart av seksjon 3, samt danne et grunnlag for nødvendige tiltak og fremtidige kontrollrutiner.

Målingene av isolasjonsmotstand i golv, vegger og installasjoner som variatoruttak, uttak for trykkluft, rekkverk, etc. konsentrerte seg rundt ovnene nr A 001 og B 001 siden spenningen mot jord er størst i dette området. Samtidig skal målingene som er utført på samme punktene gi muligheten til en direkte sammenligning av verdiene for isolasjonsmotstand i 2003 og 2004.

Dessuten ble det foretatt målinger foran ovnene A 112 og D 112. Ovn A 112 har i 2004 større spenning enn i 2003 slik at det ble relevant med en kontroll og ovn D 112 er ovnen med størst spenning i seksjon 3.

I andre områder ble det tatt stikkprøver, delvis på samme punktene som i desember 2003.

2 MÅLEMETODEN

Våren 2000 ble det gjennomført tilsvarende målinger i en elektrolysehall på Årdal. Bakgrunn for grenseverdiene for strømgjennomgang i personer og målemetoder er beskrevet i SEfAS Teknisk Rapport TR F5189 "Berøringsspenninger i Al-elektrolysehallen", april 2000 [1].

Det viste seg at måleelektroder iht. VDE 0100 [2] var mest pålitelige, og denne typen elektroder ble derfor også benyttet under målingene på SU4. Elektrodene består av en metallplate på 250 mm x 250 mm som legges på en fuktig klut på 270 mm x 270 mm. Måleledningene var utstyrt med sikringer 1200 V, 125 mA DC.

Til sammenligning med VDE-elektroden ble en aluminiumsplate på 250 mm x 250 mm uten fuktig klut, brukt som måleelektrode. Resultatene viste at det ikke var mulig å oppnå tilstrekkelig elektrisk kontakt med betongen. Dette skyldes at metallplaten bare hviler på de øverste forholdsvis tørre sandkornene i betongen og ikke får kontakt med hele arealet under platen. Overgangsmotstanden mot et punkt i golvet ble målt til 2.000 k Ω med aluminiumsplaten som elektrode, men målingen med VDE-elektroden ga et resultat på 108 k Ω .

Målemetoden er basert på å måle spenningen mellom en ovn, eller en strømskinne, og et målepunkt med et høyohmig multimeter ($R_i = 10 \text{ M}\Omega$). Deretter ble det målt spenningsfall over en motstand på 1 k Ω som var i parallell med instrumentet. Spenningsfallet, målt i volt, gir da direkte strømverdien i mA som en person uten isolerende verneutstyr og god kontakt (fuktig hud) ville ha blitt utsatt for. Isolasjonsmotstanden ble så beregnet ut ifra verdiene for strøm og spenning. Dette er nærmere beskrevet i SEfAS TR F5189 [1].

3 HALLENS DRIFTSDATA

Hallens driftsdata var:

	Målt 16.12.2003	Målt 08.11.2004
Strøm	275 kA	278 kA
Spenning	940 V	1429 V

Data fra jordfeilvakt:

	Målt 16.12.2003	Målt 08.11.2004
Nullpunktforskyvning	47 V	- 117 V
Total seriemotstand mot jord	> 1000 Ω	> 1000 Ω

Hvis alle ovner hadde lik motstand til jord, ville enden av seksjon 3, dvs midten av ovnsrekken, være spenningsløs i forhold til jord. Den ene halvparten av ovnsrekken har betegnelse "A" og "D" den andre "B" og "C". Deteksjonsspenningen oppgir differansen mellom halvparten av drifts-spenningen ved midten av ovnsrekken og den målte spenningen mot jord. Den er et mål for forskjellen i isolasjonsmotstand mellom ovnsrekkene A og D i forhold til ovnsrekkene B og C. Målingen av nullpunktforskyvning (Deteksjonsspenning) brukes for å detektere og til en viss grad lokalisere jordfeil i anlegget.

Målingen fra 08.11.2004 tilsa at spenningen mot jord skulle ha vært null ved ovn nr C 082. Målinger viste at ovn nr C 082 hadde en spenning på +64 V mot jord, mens ovn nr C 092 hadde en spenning på +20 V mot jord. Det ble ikke videre undersøkt, hvor det faktiske nullpunktet var, men med en cellespenning på ca 4 V kan man gå ut ifra at det faktiske nullpunktet var ved ovn nr C 097.

Målingene i hallen ble gjennomført ca seks timer etter at dataene ble avlest ved likeretteren og det kan følgelig ikke utelukkes at det har skjedd forandringer i jordingsforholdene i løpet av den tiden.

Dessuten kan en overlaging av ulike lekkstrømmer fra ovner til jord føre til uoversiktlige forhold, slik at anleggets faktiske nullpunkt ikke nødvendigvis stemmer helt overens med beregningen ut fra deteksjonsspenningen.

4 ISOLASJONSMOTSTAND I GULV, VEGGER OG ANDRE GJENSTANDER I ELEKTROLYSEHALLEN

Isolasjonsmotstanden ble målt før oppstart i alle tre seksjoner vha. megging og strømspenningsmålinger (egen rapport fra Norsk Hydro [3]).

4.1 ISOLASJONSMOTSTAND I GOLV OG VEGGER VED OVNENE A 001 OG B 001

Disse ovnene er lokalisert nærmest likerettere og midlertidig innkjørsel til hallen. Under drift vil man her ha de høyeste berøringsspenningene mot jord og det er viktig med god isolasjon her. Ved full symmetri i lekkstrømmer fra ovner mot jord vil spenningen være henholdsvis + 750 V og – 750 V.

Til tross for en markant forbedring i forhold til desember 2003 er verdiene for isolasjonsmotstanden ikke tilfredsstillende. Verdiene for isolasjonsmotstand varierte mellom 16,6 kΩ og 975 kΩ. Tabell 1 og 2 i vedlegget viser motstandsverdiene, både fra 2003 og 2004, som ble beregnet ut fra verdiene som er målt for strøm og spenning i målepunktene. Figurene 1 og 2 i vedlegget viser posisjonen av målepunktene ved ovnene A 001 og B 001. Målepunktene som ligger nærmest ovnene (avstand 0,5 m) viser betydelig høyere motstandsverdier enn målepunktene som ligger lenger vekk fra ovnene (2 m og større avstand). Det skyldes bedre forhold for uttørring av betongen.

Motstandsverdiene ved rekkverket viser en forverring. Langs rekkverket er det boret hull i betonggolvet. Hullene har en diameter på ca 10 mm og dybden ble målt ved hjelp av en trepinne til inntil 80 mm. Slike hull kan føre til vanninntrenging i betongen når det fraktes kjølebokser som plasseres langs rekkverket.

Isolasjonsmotstanden i golvet og veggene er avhengig av uttørringen av betongen. På tidspunktet da målingene ble utført var innkjørselen til elektrolysehallen ved ovnene A 001 og B 001, men det pågikk arbeid med å demontere og stenge porten. Trafikken medførte at fuktighet ble dratt inn i hallen av kjøretøyene, og uttørringen av betongen ble hindret eller forsinket.

Den midlertidige innkjørselen i enden av hallen ble flyttet og det bør foretaes kontrollmålinger for å følge med i utviklingen siden spenningen er høyest ved ovnene A 001 og B 001.

4.2 ISOLASJONSMOTSTAND I OMRÅDER LENGER INN I HALLEN

Det ble også utført målinger lenger inn i hallen. Resultatene og plassering av målepunktene er vist i tabellene 3 – 6 i vedlegget.

Lenger inn i hallen ble resultatene for isolasjonsmotstand gradvis bedre og nærmer seg eller har nådd tilfredsstillende verdier.

4.3 ISOLASJONSMOTSTAND I TVERRFELTET VED OVNENE A/B 054 OG A/B 055

Tverrfeltet ved ovnene A/B 054 og A/B 055 skiller seg ut fra resten av elektrolysehallen. Her er det plassert en innredning til vedlikehold av traverskraner i elektrolysehallen, en såkalt Transfer Gantry. Traverskraner kan kjøres opp på Transfer Gantry'en og flyttes sidelengs ut av elektrolysehallen til vedlikehold.

Transfer Gantry'en går på en skinnegang på tvers av hallen. Skinnegangen har en stor overflate som er i kontakt med betong og passerer både ovnsrekkene A og B mellom seksjon 2 og 3 og ovnsrekkene C og D i enden av seksjon 3. Av den grunn er den delt opp i segment som er isolert fra hverandre og har en isolert opplagring mot betongen. Pga. store mekaniske belastninger er muligheten til isolasjon mot betongen begrenset.

Isolasjonsmotstanden i tverrfeltet var veldig lav med verdier $< 5,4 \text{ k}\Omega$. Tabell 7b i vedlegget viser måleresultatene og beskriver plasseringen av målepunkt i tverrfeltet.

Trafikken inn i elektrolysehallen går ved Gantry'en og det er uheldig at det på denne måten bringes fuktighet i dette område. Et overbygg over rampen til innkjørselen ville redusere fuktighet, snø og slaps ved Gantry'en. Dessuten ville et overbygg forbedre fremkommeligheten vinterstid.

I tillegg til lav isolasjonsmotstand ble det observert et annet faremoment. Avstanden mellom raiserne til ovnene og Transfer Gantry'en er kort. Det er mulig å støtte seg på raiseren og samtidig nå Transfer Gantry'en med den andre hånden. Her er det stor berøringsfare mot raiserne til ovnene A 055 og B 054 både fra gulvet utenfor forstøttningsmuren og spesielt fra Transfer Gantry. Både Gantry'en og raisere har blitt utstyrt med tilleggisolasjon for å redusere berøringsfaren.

4.4 ISOLASJONSMOTSTAND I KJØLEBOKSER

Kjøleboksene brukes til avkjøling og avgassing av brukte elektroder. Boksene ligner på en container både når det gjelder vekt og av- og pålessing. Siden boksene representerer store, elektrisk ledende gjenstander, ble disse viet spesiell oppmerksomhet. Måleresultatene og plasseringen av kjøleboksene er beskrevet i tabell 8 i vedlegget. Det ble tatt stikkprøver i området mellom ovnene B 009 og B 015. Isolasjonsmotstanden var mellom 764 k Ω og 4.250 k Ω . Stikkprøver i noen andre områder som det ikke er referert til i tabell 8, viste lignende resultat.

4.5 ISOLASJONSMOTSTAND AV ULIKE INNSTALLASJONER I ELEKTROLYSEHALLEN

Etter at målingene på golv og vegger var utført, ble andre ulike installasjoner målt. Det ble målt på alle metallrister i golvet, variatoruttak, luftuttak, metalliske holdere til nødstop, dører, skilt-oppheng til redskap og lignende. Måleresultatene og plassering av målepunktene er beskrevet i tabell 9 i vedlegget.

Ved ovn B 122 og ved mellom ovn B 001 og porten SO-203 var det satt opp stiger til kranen. Isolasjonsmotstanden var henholdsvis 24,6 k Ω og 22,1 k Ω , men stigene er godt utenfor den lovpålagte arbeidssonen på 1,25 m.

Alle andre detaljer som ble målt oppviste høye verdier for isolasjonsmotstand. De fleste var over 300 k Ω som er kravet for hele hallen.

4.6 ISOLASJONSMOTSTAND I KJELLEREN UNDER ELEKTROLYSEHALLEN

Området under elektrolysehallen er underlagt strenge restriksjoner, og det kreves et eget kurs før personer får lov til å ferdes der. Det forgår ingen rutinemessige arbeidsoperasjoner i kjelleren som knyttes til normal drift av elektrolysehallen.

Målingene er tatt i form av stikkprøver ved ovnene A/B 001 hvor spenningen mot jord er størst, ved ovnene A 090/010 og B 090/010, ved ovn A 112, ved ovn D 112 og under strømskinnen som forbinder ovn C 055 med ovn D 055. Resultatene og beskrivelsen av målepunktene er vist i tabell 10 i vedlegget.

Verdien for isolasjonsmotstand under seksjon 1 og 2 viser en markant økning i forhold til målingene i 2003. Golvet under seksjon 3 viser verdier for isolasjonsmotstand som svarer til målingene under seksjon 1 og 2 i 2003 og man kan regne med en tilsvarende forbedring over tid.

4.7 ISOLASJONSMOTSTAND I HOVEDSKINNEKORRIDOREN

Det ble referert til at en person mener å ha fått elektrisk støt ved berøring av negativ hovedskinne. Av den grunn ble det gjennomført målinger av isolasjonsmotstand i golvet i hovedskinnekorridoren. Selve stedet hvor det skal ha skjedd var ikke tilgjengelig, men isolasjonsmotstanden ble målt like ved. Det ble målt lave verdier mellom 29,4 k Ω og 38,4 k Ω . Det har kommet vann inn i dette området under utvidelsen av likerettere og tiltak for å tørke betongen hadde allerede blitt iverksatt. Resultatene og en beskrivelse av målepunktene er vist i tabell 10.

5 ANDRE MÅLINGER OG FORHOLD

5.1 KONTROLL AV JORDFEILVERNET

Jordfeilvakten viste konstant 1000 Ω som skapte usikkerhet om den fungerte. Når jordfeilvakten viser 1000 Ω , betyr dette i henhold til bruksanvisning $> 1000 \Omega$.

For å kontrollere jordfeilvakten, ble det koblet en motstand på 1000 Ω mellom en ovn (ca A 050) og jord i 2003. Jordfeilvakten viste da 600 Ω .

I mellomtiden hadde jordfeilvakten vært kontrollert en gang til, slik at vi avstod fra en måling i november 2004.

5.2 FORHOLDENE I KJELLEREN

Under måling av isolasjonsmotstand i kjelleren ble følgende observert:

- Nødutganger er ikke tilstrekkelig merket. Skiltene er ikke synlige i kjellerens langsretning når man går langs sjalusiene, ser man ikke skiltene før man er rett ved døra.
- Hele kjelleren er uryddig og preget av mye smuss og søppel. Under seksjon 1 lå det 10-15 koster. (Dette er vel en forklaring på hvorfor vi hadde problemer med å finne en kost i seksjon 1 for å rense golvet før målingene).
- Støv og smuss ligger høyt på samleskinnene og i golvet.

5.3 DIVERSE ANDRE FORHOLD

Det er betenkelig at det ikke finnes en isolasjonsstrekning på rørene for trykkluft som har galvanisk kontakt over rekkverkene i hallen som skiller A og B-siden. Rørene bør isoleres.

Av- og pålasting av kjølebokser medfører skader på golvet pga. et smalt, mekanisk høyt belastet støttehjul med liten diameter midt under vognene for kjølebokser. Her er det fare for blottlegging av armeringsjern. Det ser ut som det pågår fortløpende utbedringer. Det ble ikke observert skader på betonggolvet, men mange spor etter utbedringer.

Det ble oppdaget en rekke, opp til 80 mm dype, hull langs rekkverket i seksjon 1. Det bør kontrolleres i hvilken utstrekning golvet blir skadet på denne måten og utbedring må iverksettes. Det var ikke mulig å kontrollere hele utstrekningen av skadene pga. kjølebokser som stod langs rekkverket.

6 FORSLAG TIL KONTROLLMÅLINGER

Måleutstyr som benyttes av SEfAS bør anskaffes av Norsk Hydro. Det bør brukes samme målemetode og målepunkter som er beskrevet i denne rapporten for å ha et sammenligningsgrunnlag.

Årlig kontroll:

- Utstyr som er festet til betong
- Kjølebokser
- Golv og vegger nær ovn ved likeretter; lenger inn i hallen bare stikkprøver
- Rister
- Tverrseksjon
- Kjeller
- Visuell kontroll av golvet med hensyn til betongskader

7 REFERANSER

- [1] Horst Förster:
”Berøringsspenninger i Al-elektrolysehaller”.
SEfAS TR F5189, Trondheim, april 2000.
(Årdal)
- [2] VDE 0100 / DIN 57 100
”Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000V, § 24: Prüfung des Isolationszustandes von Fussböden ”.
- [3] Hydro intern rapport: SU-M4-NHT-E15-00005, ”SU4, Isolasjonsmålinger likeretter og elektrolysehall- Seksjon 1”.
- (4) Horst Förster:
”Berøringsspenninger i Al-elektrolysehall SU4, Sunndalsøra”.
SEfAS TR F5953, Trondheim, mars 2004.

8 KONKLUSJONER

Før oppstart av seksjon 3 i elektrolysehall SU4 på Sunndalsøra, ble isolasjonsmotstanden i elektrolysehallen kartlagt. Oppstarten av seksjon 3 medførte at driftsspenningen ble økt fra 1000 V til 1500 V. Ønsket isolasjonsmotstand er minimum 200 Ω/V , dvs $>300 \text{ k}\Omega$. Dette tilsvarer en maksimal berøringsstrøm på 5 mA.

Målingene i 2004 konsentrerte seg rundt den enden av hallen som har størst spenning. Isolasjonsmotstanden varierte mellom 16,6 $\text{k}\Omega$ og 975 $\text{k}\Omega$, men var for det meste i området ca 30 - 200 $\text{k}\Omega$, dvs. lavere enn ønsket.

I forhold til 2003 var det en markant, for det meste, forbedring og etter at porten SO-203 blir stengt, forventes det en ytterligere forbedring. I tillegg til stikkprøver, ble det målt isolasjonsmotstand i golv i seksjon 2 (ovn nr A 112) og i seksjon 3 (ovn nr D 112). Isolasjonsmotstanden var relativ høy i forhold til spenningen, dvs berøringsstrømmen ligger mellom 2 og 9 mA. Forholdene er følgelig ikke helt tilfredsstillende.

Det skal være tre isolasjonsbarrierer mot strømgjennomgang i personell. Derfor er det påkrevet med isolerende hansker, sko og annen bekledning, samt isolasjon i golv og vegger. Isolerende sko og isolerende hansker er hver for seg prinsipielt tilstrekkelig som vern, slik at det ikke foreligger et direkte faremoment til tross for at isolasjonsmotstanden i golv og vegger ikke er tilfredsstillende enda.

Skinnegangen ved Gantry'en har blitt forlenget siden desember 2003 og rekker nå til enden av seksjon 3. Isolasjonsmotstanden er ikke tilfredsstillende og strømmen over en motstand på 1 $\text{k}\Omega$ er $>125 \text{ mA}$. Sikringene i måleledningene fikk brudd. Isolasjonsmotstanden i hovedskinnekorridoren er ikke tilfredsstillende.

Verdien for isolasjonsmotstand under seksjon 1 og 2 oppviser en markant økning i forhold til målingene i 2003. Golvet under seksjon 3 oppviser verdier for isolasjonsmotstand som svarer til målingene under seksjon 1 og 2 i 2003 og man kan forvente en tilsvarende forbedring over tid.

Inntil bygningsmessige forhold er blitt tilfredsstillende, er nøyaktig kontroll av sko og hansker påkrevet.

Faste installasjoner på golv og vegger oppviste tilfredsstillende motstandsverdier.

I hovedskinnekorridoren ble det målt lave verdier for isolasjonsmotstand i golvet på mellom 29,4 $\text{k}\Omega$ og 38,4 $\text{k}\Omega$.

Det ble oppdaget hull i golvet langs rekkverket i seksjon 1. Omfattende kontroll av golvet anbefales samt rensing og tetting av hullene. Det kreves 50 mm overdekning av armeringsjern med betong for å sikre dens isolasjonsevne. Hullene har en dybde på inntil 80 mm.

Det foreslås å gjennomføre en ny måling av isolasjonsmotstand om et års tid for å kontrollere at forventede forbedringer i seksjon 3 inntreffer og den stort sett positive trenden i seksjon 1 og 2 fortsetter.

Andre forhold:

Under måling av isolasjonsmotstand i kjelleren ble følgende observert:

- Nødutganger er ikke tilstrekkelig merket. Skiltene er ikke synlige i kjellerens langsretning når man går langs sjalusiene; man ser ikke skiltene før man er rett ved døra.
- Hele kjelleren er uryddig og preget av mye smuss og søppel. Under seksjon 1 lå det 10-15 koster. (Dette er vel en forklaring på hvorfor vi hadde problemer med å finne en kost i seksjon 1 for å rense golvet før målingene.)
- Støv og smuss ligger høyt på samleskinnene og på golvet.

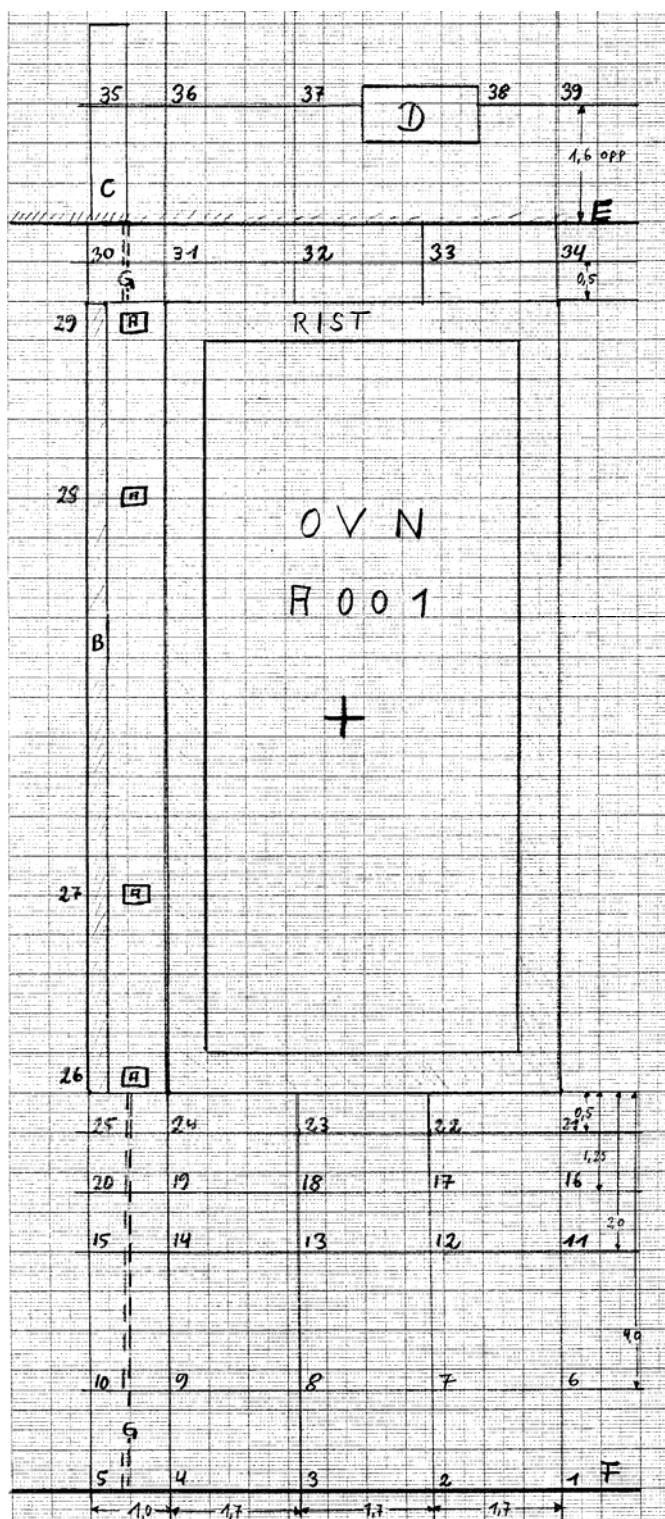
Dessuten må det bemerkes at vi følte oss utrygge under målingene på kvelden pga. kjøring med tungt redskap i høye hastigheter. Fartsgrensen innendørs på 10 km/t ble neglisjert.

Tilstanden med hensyn til støv, smuss og orden har blitt betydelig forverret, spesielt i seksjon 1, i forhold til desember 2003. For å kunne måle golvet og legge ifra oss utstyr, måtte tykke lag med støv fjernes. Redskaper lå på golvet langs rekkverket, mens stativene var nærmest tomme. Vi lette en stund etter en kost og fant til slutt en som var klemt bak et skap.

VEDLEGG

**RESULTATER FRA MÅLINGENE OG BESKRIVELSE AV
PLASSERINGEN TIL MÅLEPUNKTENE**

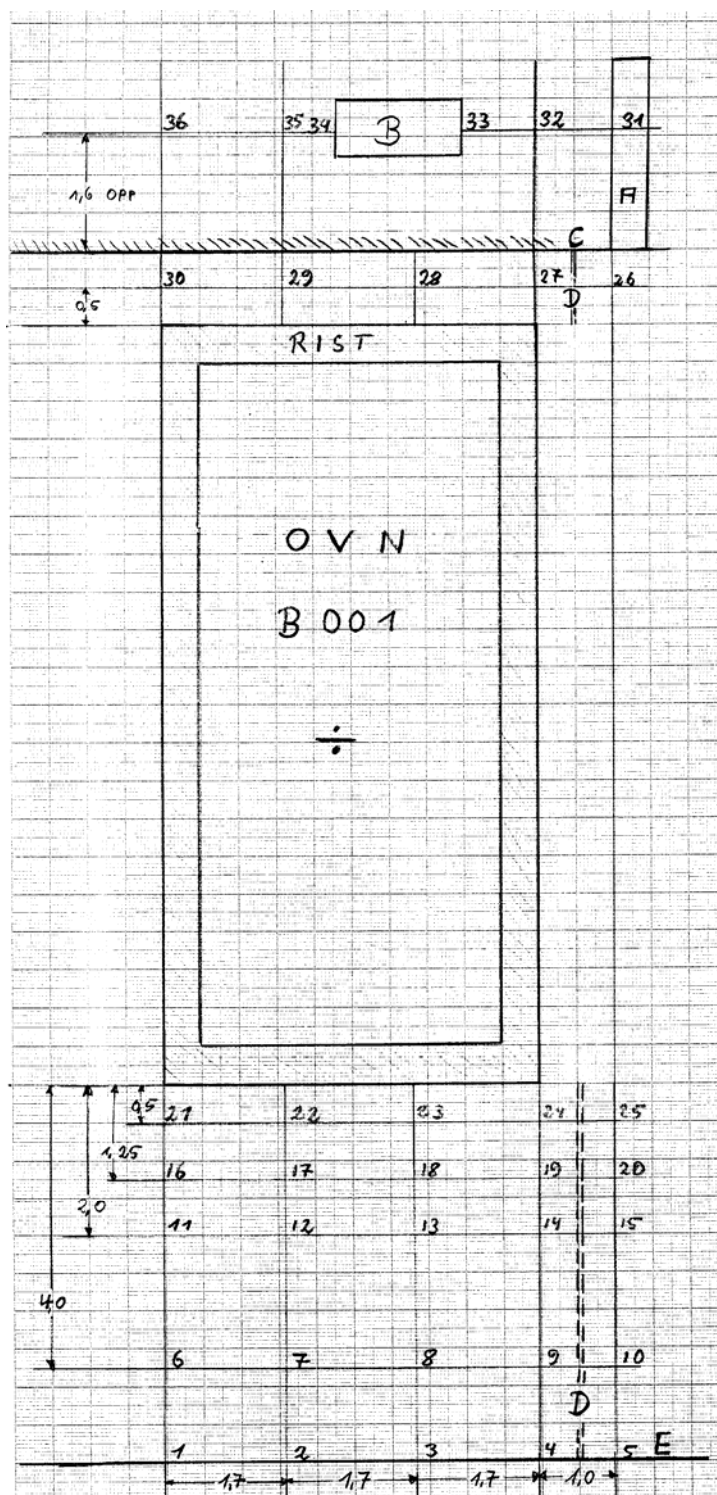
Tabellene 1 – 11 gjelder seksjon 1 og 2 . Når resultat fra desember 2003 og november 2004 ikke er vist i samme tabell, er resultat fra desember 2003 merket med ”a” og tabeller som gjelder målinger fra november 2004 er merket med ”b”.



Figur 1: Skisse av ovn nr A 001 med målepunktene.

Tabell 1: Verdier for berøringspenning, -strøm og isolasjonsmotstand ved ovn A 001.

Målepunkt nr	Resultat fra desember 2003			Resultat fra november 2004		
	Spennning (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)	Spennning (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)
1	551	21,0	26,2	878	45	19,5
2	542	11,2	48,4	894	25,7	34,8
3	527	13,2	39,9	890	28,8	30,9
4	548	24,0	22,8	895	42,6	21,0
5	540	5,8	93,1	860	2,5	344
6	551	19,9	27,7	893	26,4	33,8
7	553	34,2	16,2	879	5,5	159,8
8	558	27,5	20,3	893	26,3	34,0
9	548	23,0	23,8	893	40,8	21,9
10	547	16,2	33,8	893	16,4	54,5
11	555	32,8	16,9	888	12,5	71,0
12	557	28,0	19,9	882	7,6	116,1
13	558	24,8	22,5	891	13,9	64,1
14	545	17,3	31,5	886	8,8	100,7
15	538	10,0	53,8	884	6,3	140,3
16	552	24,9	22,2	888	14,5	61,2
17	555	18,0	30,8	878	7,7	114
18	555	28,5	19,5	895	23,4	38,2
19	538	6,9	78,0	882	7,1	124
20	544	10,5	51,8	882	5,5	160
21	548	11,9	46,1	888	13,5	65,8
22	547	6,1	89,7	876	6,1	144
23	544	7,5	72,5	887	9,8	90,5
24	537	6,0	89,5	890	13,6	65,4
25	535	5,5	97,3	874	3,9	224
26	572	21,5	26,6	895	10	89,5
27	545	6,2	87,9	881	7,8	113
28	520	8,3	62,7	889	12,6	70,6
29	561	15,0	37,4	889	16,8	52,9
30	529	3,0	176	880	5,5	160
31	531	2,6	204	866	4,8	180
32	522	2,1	249	866	3,8	228
33	517	1,8	287	866	3,6	241
34	439	1,7	258	871	4,3	203
35	525	6,5	80,8	855	7,4	116
36	556	8,2	67,8	872	4,8	182
37	555	8,6	64,5	850	3,5	243
38	559	10,4	53,8	870	5,7	153
39	555	7,4	75,0	864	4,5	192



A – søyle
 B – skap
 C – yttervegg
 D – fuge
 E – rekkverk

1-36 målepunkt
 Alle mål i meter

Figur 2: Skisse av ovn nr B 001 med målepunktene.

Tabell 2: Verdier for berøringsspenning, -strøm og isolasjonsmotstand ved ovn B 001.

Målepunkt nr	Resultat fra desember 2003			Resultat fra november 2004		
	Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)	Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)
1	382	8,5	44,9	526	31,7	16,6
2	438	6,2	70,6	541	30	18,0
3	389	13,0	29,9	541	21	25,8
4	348	15,8	22,0	548	23,3	23,5
5	348	10,0	34,8	543	13,6	39,9
6	415	6,1	68,0	525	4	131
7	390	11,5	33,9	532	20	26,6
8	372	12,0	31,0	538	19,1	28,2
9	350	11,0	31,8	530	14,3	37,1
10	347	11,0	31,5	539	14,6	36,9
11	351	1,5	234	409	0,5	818
12	355	1,5	237	476	0,6	793
13	350	1,5	233	490	0,9	544
14	345	7,5	46,0	520	4,4	118
15	375	13,0	28,8	525	13	40,4
16	346	1,0	346	480	0,7	686
17	365	3,2	114	510	1,9	268
18	366	4,1	89,3	512	2,3	223
19	344	5,7	60,4	524	4,5	116
20	373	10,3	36,2	529	11	48,1
21	308	0,4	770	462	0,5	924
22	312	0,4	780	490	0,7	700
23	360	2,2	164	514	2	257
24	350	1,3	269	498	1	498
25	366	5,9	62,0	532	3,5	152
26	332	11	30,2	525	11,9	44,1
27	309	1,5	206	445	1,2	371
28	314	1,5	209	445	1,2	371
29	310	1,2	258	445	1,1	405
30	347	1,4	248	435	1,3	335
31	250	0,3	833	390	0,4	975
32	366	4,7	77,9	520	3,3	158
33	366	5,1	71,8	520	3,6	144
34	370	4,7	78,7	520	3,2	163
35	371	3,7	100	515	2,4	215
36	370	3,3	112	517	2,5	207

Tabell 3a: Verdier for berøringsspenning, -strøm og isolasjonsmotstand mellom ovnene A 009 og A 010 i kjørebanelen mellom ovnene og rekkverk, målt i desember 2003.

Avstand fra ovn	Dato 16.12.2003			Dato 17.12.2003		
	Spennings (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)	Spennings (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)
0,5 m	515	6,4	80,5	515	6,0	85,8
1,0 m	498	3,2	155,6	516	5,9	87,5
2,0 m	511	12,3	41,5	516	7,3	70,7
4,0 m	483	7,3	66,2	503	2,6	194
Ved rekkverk	508	12,8	39,7	524	20	26,2
Golv ved yttervegg	Ikke målt	Ikke målt	Ikke målt	560	18	31,1
Fundament	Ikke målt	Ikke målt	Ikke målt	560	18	31,1

Tabell 3b: Verdier for berøringsspenning, -strøm og isolasjonsmotstand mellom ovnene A 009 og A 010 i kjørebanelen mellom ovnene og rekkverk målt i november 2004.

Avstand fra ovn	Dato 08.11.2004		
	Spennings (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)
0,5 m	827	2,4	345
1,0 m	830	3	277
2,0 m	834	3,3	253
4,0 m	834	3,5	238
Ved rekkverk	860	21,5	40
Golv ved yttervegg	736	2,7	273
Fundament	840	3,8	221

Tabell 4a: Verdier for berøringsspenning, -strøm og isolasjonsmotstand på begge sider av en fuge ved ovnene A 014 og A 015 i kjørebanelen mellom ovnene og rekkverk, målt i desember 2003.

Avstand fra ovn	På siden til ovn A 014			På siden til ovn A 015		
	Spennings (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)	Spennings (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)
0,5 m	477	2,3	207,4	466	1,5	311
1,0 m	436	0,98	444,9	444	1,1	404
2,0 m	500	3,4	147,1	485	3,6	135
4,0 m	454	1,1	412,7273	492	4,1	120
Ved rekkverk	488	4	122	467	1,6	292

Tabell 4b: Verdier for berøringsspenning, -strøm og isolasjonsmotstand på begge sider av en fuge ved ovnene A 014 og A 015 i kjørebanelen mellom ovnene og rekkverk, målt i november 2004.

Avstand fra ovn	På siden til ovn A 014			På siden til ovn A 015		
	Spennings (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)	Spennings (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)
0,5 m	785	1,5	523	798	1,8	443
1,0 m	780	1,5	520	765	1,3	588
2,0 m	680	0,7	971	760	1,2	633
4,0 m	775	1,3	596	808	2,9	279
Ved rekkverk	833	7,3	114	809	2,3	352

Tabell 5a: Verdier for berøringsspenning, -strøm og isolasjonsmotstand mellom ovnene B 009 og B 010 i kjørebanelen mellom ovnene og rekkverk, målt i desember 2003.

Avstand fra ovn	Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)
0,5 m	338	2,6	130
1,0 m	342	4,0	85,5
2,0 m	323	1,0	323
4,0 m	325	1,8	181
Ved rekkverk	345	2,2	157
Golv ved yttervegg	305	13	23,5
Fundament	305	9	33,9

Tabell 5b: Verdier for berøringsspenning, -strøm og isolasjonsmotstand mellom ovnene B 009 og B 010 i kjørebanelen mellom ovnene og rekkverk, målt i november 2004.

Avstand fra ovn	Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)
0,5 m	474	1,5	316
1,0 m	453	0,8	566
2,0 m	445	0,7	636
4,0 m	476	1,6	298
Ved rekkverk	470	1,9	247
Golv ved yttervegg	363	0,4	908
Fundament	469	1,4	335

Tabell 6a: Verdier for berøringsspenning, -strøm og isolasjonsmotstand på begge sider av en fuge ved ovnene B 014 og B 015 i kjørebanelen mellom ovnene og rekkverk, målt i desember 2003.

Avstand fra ovn	På siden til ovn B 014			På siden til ovn B 015		
	Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)	Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)
0,5 m	325	1,8	180,6	326	1,7	192
1,0 m	291	1,3	223,8	340	14,5	23,4
2,0 m	299	3,1	96,5	300	9,1	33,0
4,0 m	294	3,4	86,5	329	2,1	157
Ved rekkverk	333	2,5	133,2	336	3,7	90,8

Tabell 6b: Verdier for berøringsspenning, -strøm og isolasjonsmotstand på begge sider av en fuge ved ovnene B 014 og B 015 i kjørebanelen mellom ovnene og rekkverk, målt i november 2004.

Avstand fra ovn	På siden til ovn B 014			På siden til ovn B 015		
	Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)	Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)
0,5 m	443	1,0	443	449	1,4	321
1,0 m	430	0,7	614	458	2	229
2,0 m	400	0,4	1000	425	0,5	850
4,0 m	455	2,7	168	430	0,6	717
Ved rekkverk	463	3,1	149	464	3,3	141

Tabell 7a: Verdier for berøringsspenning, -strøm og isolasjonsmotstand ved tverrfeltet ved ovnene A/B 054 og A/B 055, målt i desember 2003.

Punktene som målingene ble utført imellom	Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)
Mellom ovn A 054 og skinnegang i midtgang	273	41	6,66
Mellom ovn A 054 og skinnegang ved yttervegg	340	47	7,23
Mellom ovn A 054 og Transfer Gantry	322	47	6,85
Mellom ovn A 055 og skinnegang i midtgang	338	45	7,51
Mellom ovn A 055 og skinnegang ved yttervegg	325	48	6,77
Mellom ovn A 055 og Transfer Gantry	332	49	6,78
Mellom ovn B 054 og skinnegang i midtgang	165	24	6,88
Mellom ovn B 054 og skinnegang ved yttervegg	160	21	7,62
Mellom ovn B 054 og Transfer Gantry	162	22	7,36
Mellom ovn B 055 og skinnegang i midtgang	157	21	7,48
Mellom ovn B 055 og skinnegang ved yttervegg	159	21	7,57
Mellom ovn B 055 og Transfer Gantry	159	21	7,57

Tabell 7b: Verdier for berøringsspenning, -strøm og isolasjonsmotstand ved tverrfeltet ved ovnene A/B 054 og A/B 055, målt i november 2004.

Punktene som målingene ble utført imellom	Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)
Mellom ovn A 054 og skinnegang i midtgang	674	>125 ^{*1}	8,69(<5,4) ^{*1}
Mellom ovn A 054 og skinnegang ved yttervegg	306	31,0	9,87(<5,4) ^{*2}
Mellom ovn A 054 og Transfer Gantry	Ikke målt, Gantry var på kranverkstedet		
Mellom ovn A 055 og skinnegang i midtgang	669	67,4 ^{*2}	9,92(<5,4) ^{*2}
Mellom ovn A 055 og skinnegang ved yttervegg	667	69,6 ^{*2}	8,58(<5,4) ^{*2}
Mellom ovn A 055 og Transfer Gantry	Ikke målt, Gantry var på kranverkstedet		
Mellom ovn B 054 og skinnegang i midtgang	311	30,0	10,4
Mellom ovn B 054 og skinnegang ved yttervegg	306	31,0	9,87
Mellom ovn B 054 og Transfer Gantry	Ikke målt, Gantry var på kranverkstedet		
Mellom ovn B 055 og skinnegang i midtgang	305	31,0	9,84
Mellom ovn B 055 og skinnegang ved yttervegg	306	30,5	10,0
Mellom ovn B 055 og Transfer Gantry	Ikke målt, Gantry var på kranverkstedet		
Mellom ovn A 055 og buffer til Gantryen	667	68,1	8,79(<5,4) ^{*2}
Mellom ovn A 054 og buffer til Gantryen	675	66,5	10,0(<5,4) ^{*2}

*¹ Brudd i sikringen på 125 mA kvikk ved en shunt på 1 kΩ. Ved en shunt på 10 kΩ ble målespenningen redusert fra 674 V tomgangsspenning til ca 340 V.

*² Målingen mellom ovn A 054/A 055 og skinnegang i midtgang førte til sikringsbrudd. Av den grunn ble det bare målt med en shunt på 10 kΩ for å unngå brudd i sikringer. Verdiene for berøringsstrøm og isolasjonsmotstand er beregnet uten å ta hensyn til spenningsavhengigheten for elektrisk motstand i betong. Bruddet i sikringene viser at motstandsverdiene er meget spenningsavhengig og det må regnes med en isolasjonsmotstand på < 5,4 kΩ.

Tabell 8a: Verdier for berøringsspenning, -strøm og isolasjonsmotstand for kjølebokser (stikkprøver), målt i desember 2003.

Plassering ved ovn nr	Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (k Ω)
A 009	508	6,0	84,7
A 010	385	0,6	642
A 014 / A 015	425	0,95	447
B 009	165	0,07	2357
B 010	58	0,008	7250
B 014 / B 015	267	0,4	668

Tabell 8b: Verdier for berøringsspenning, -strøm og isolasjonsmotstand for kjølebokser (stikkprøver), målt i november 2004.

Plassering ved ovn nr	Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (k Ω)
A 009	Ingen kjølebokser i området		
A 010	Ingen kjølebokser i området		
A 014 / A 015	Ingen kjølebokser i området		
B 009	304	0,12	2533
B 010	170	0,04	4250
B 014 / B 015	420	0,55	764

Tabell 9: Verdier for berøringspenning, -strøm og isolasjonsmotstand for ulike installasjoner i elektrolysehallen.

Nr	Område	Måleobjekt	Resultat fra desember 2003			Resultat fra november 2004		
			Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)	Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)
1	A 001	Variatoruttak	660	60	11	11	0,05	220
2	A 001	Luftuttak	50	0,005	10.000	72	0,6	120
3	A 002	Feste til nødstop	320	0,16	2.000	560	0,2	2800
4	A 007	Variatoruttak	130	0,33	394	Ikke målt		
5	A 013	Variatoruttak	250	0,09	2.778	Ikke målt		
6	B 001	Rekkverk	420	4	105	484	1,5	323
7	B 001	Luftuttak	238	0,1	2.380	130	0,019	6842
8	B 001	Variatoruttak	317	30	10,6	9,6	<0,001	>9600
9	B 002	Nødstop	226	0,12	1.883	464	0,5	928
10	B 006	Variatoruttak	190	0,12	1.583	Ikke målt		
11	B 012	Variatoruttak	130	0,09	1.444	Ikke målt		
12	A / B 007	Skilt, ventilasjonsrist, dør, dørstokk og rist ved nøddusj	> 300			>300		
13	A 018	Rist i gjennomgang	416	1,2	347	663	0,5	1326
14	B 018	Rist i gjennomgang	261	0,55	474,5455	595	0,4	1488
15	A/B 031	Trykkluftuttak, oppheng til redskap, rist, dør, dørstokk og stige ved nøddusj	>300			>300		
16	A 074	Rist i gjennomgang	190	0,2	950	510	0,45	1133
17	B 074	Rist i gjennomgang	57	0,2	285	570	1,8	317
18	A 093 / 094	Rist	165	1,2	138	488	1,2	407
19	B 093 / 094	Rist	3,3	0,15	22	234	0,06	3900
20	A 093 / 094	Rist	80	0,05	1.600	239	0,05	4780
21	B 112	Vann i golvet	89	9	9,9	Tørket opp		
22	B 112	Blikk ved provisorisk yttervegg	90	11	8,2	Veggen er fjernet		
23	B 112	Golv ved nødutgang	89	4,5	19,8	Ikke målt		
24	Port S0-203	Stige til kran	Var ikke montert i 2003			530	24	22,1
25	A 112	Rekkverk	Var ikke montert i 2003					>300
26	B 112	Rekkverk mellom seksjon 2 og 3	Var ikke montert i 2003					>300
27	B 122	Stige til kran	Var ikke montert i 2003			69	2,8	24,6
28	D 093	Rist på D-side	Var ikke montert i 2003			340	2,7	126
29	D 093	Rist på C-side	Var ikke montert i 2003			334	2,6	128
30	D 074	Rist på D-side	Var ikke montert i 2003			231	0,2	1155
31	D 074	Rist på C-side	Var ikke montert i 2003			242	0,35	691

Tabell 10a: Verdier for berøringsspenning, -strøm og isolasjonsmotstand i kjelleren under elektrolysehallen, målt i desember 2003.

Nr	Beskrivelse av målepunkt	Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)
1	Golv foran ovn B 001 under innkjørselen	340	11	30,9
2	Søyle ved ovn B 001	323	1,4	230
3	Golv foran ovn B 001 mot midtgangen	327	2,3	142
4	Fundament ved ovnen B 001 ved midtgangen	313	1,0	313
5	Søyle ved ovn B 001 ved midtgangen	323	1,4	230
6	Golvet ved yttervegg ved ovn A 001	600	51	11,8
7	Golvet i midtgangen ved ovn A 001	472	1,6	295
8	Som nr 7 etter kosting	590	9,0	65,6
9	Golv i midtgang mellom ovnene A 009 / 010	548	4,0	137
10	Golv i midtgang mellom ovnene B 009 / 010	310	2,5	124
11	Golv ved yttervegg ved ovnene A 009 / 010	560	18	31,1
12	Fundament ved ovnen A 009 / 010	560	18	31,1
13	Golv ved yttervegg ved ovnene B 009 / 010	305	13	23,5
14	Fundament ved ovnene B 009 / 010	305	9,0	33,9

Tabell 10b: Verdier for berøringsspenning, -strøm og isolasjonsmotstand i kjelleren under elektrolysehallen, målt i november 2004.

Nr	Beskrivelse av målepunkt	Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (kΩ)
1	Golv foran ovn B 001 under innkjørselen	522	7,2	72,5
2	Søyle ved ovn B 001	516	2,7	191
3	Golv foran ovn B 001 mot midtgangen	503	1,2	419
4	Fundament ved ovnen B 001 ved midtgangen	495	1	495
5	Søyle ved ovn B 001 ved midtgangen	508	1,6	318
6	Golvet ved yttervegg ved ovn A 001	897	27	33,2
7	Golvet i midtgangen ved ovn A 001	875	3,5	250
8	Som nr 7 etter kosting	624	0,3	2080
9	Golv i midtgang mellom ovnene A 009 / 010	837	3,4	246
10	Golv i midtgang mellom ovnene B 009 / 010	465	1,2	388
11	Golv ved yttervegg ved ovnene A 009 / 010	854	9,9	86,3
12	Fundament ved ovnen A 009 / 010	800	1,8	444
13	Golv ved yttervegg ved ovnene B 009 / 010	482	4,6	105
14	Fundament ved ovnene B 009 / 010	461	1,4	329
15	Golv foran ovn A 112 mot midtgangen	404	0,7	577
16	Golv ved yttervegg ved ovn A 112	404	15,5	26,1
17	Golv foran ovn D 112 mot midtgangen	425	10	42,5
18	Golv ved yttervegg ved ovnene D 112	419	2,4	175
19	Golv i innkjørselen ved ovn D 055	185	2,4	77,1
20	Golv i midten under strømskinne mellom ovnene D 055 og C 055	47	0,007	6714
21	Golv i innkjørselen ved ovn C 055	150	8	18,8

Tabell 11: Verdier for berøringsspenning, -strøm og isolasjonsmotstand ved ovn A 112, målt i november 2004.

Avstand fra ovn	Foran ovn			På utsiden av golvsegment mot storflaten		
	Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (k Ω)	Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (k Ω)
0,5 m	425	5,6	75,9	422	4	106
1,0 m	422	3,3	128	427	7,2	59,3
2,0 m	424	3,8	112	425	4,8	88,5
4,0 m	427	6,3	67,8	425	6,1	69,7
Ved rekkverk	428	11,3	37,9	427	7,9	54,1

Tabell 12: Verdier for berøringsspenning, -strøm og isolasjonsmotstand ved ovn D 112, målt i november 2004.

Avstand fra ovn	Foran ovn			På utsiden av golvsegment mot storflaten		
	Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (k Ω)	Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (k Ω)
0,5 m	419	5,3	79,1	405	2,1	193
1,0 m	419	6,8	61,6	400	2	200
2,0 m	421	14,3	29,4	400	2	200
4,0 m	408	19	21,5	422	9	46,9
Ved rekkverk	421	16	26,3	422	9,1	46,4

Tabell 13: Verdier for berøringsspenning, -strøm og isolasjonsmotstand i hovedskinnekorridor.

Målepunkt	Spenning (V)	Strøm (mA)	Motstand (k Ω)
Under skinne fra LR 42	880	6,3	140
Under skinne fra LR 43	900	37,5	23,3*
Under skinne fra LR 45	900	44,1*	19,4*
På den ene siden av en sprekk i betong	898	23,4	38,4
På de andre siden av en sprekk i betong	900	27	33,3

* Målingen er foretatt med en shuntmotstand på 10 k Ω ; mot normal 1 k Ω . Ved målinger ved Gantry'en ble det målt tilsvarende høye spenninger (ca 300V) og målinger med en shunt på 1 k Ω førte til brudd i sikringer (125 mA) pga. motstandens spenningsavhengighet i betong. Verdiene for berøringsstrøm og isolasjonsmotstand er beregnet uten å ta hensyn til spenningsavhengigheten for elektrisk motstand i betong.

SINTEF Energiforskning AS
Adresse: 7465 Trondheim
Telefon: 73 59 72 00

SINTEF Energy Research
Address: NO 7465 Trondheim
Phone: + 47 73 59 72 00