

FFI RAPPORT

Oppvarming av litium- og litiumionceller

Sissel Forseth, Tom Cato Johannessen og Øistein Hasvold

FFI/RAPPORT-2006/02358

Oppvarming av litium- og litiumionceller

Sissel Forseth, Tom Cato Johannessen
og Øistein Hasvold

FFI/RAPPORT-2006/02358

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge

P O BOX 25
 NO-2027 KJELLER, NORWAY
REPORT DOCUMENTATION PAGE

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2006/02358	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 56
1a) PROJECT REFERENCE 3280-IV/914	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	
4) TITLE Oppvarming av litium- og litiumionceller Heating of lithium and lithium ion cells		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) FORSETH Sissel, JOHANNESSEN, Tom Cato, HASVOLD Øistein		
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)		
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH:		
a) <u>Lithium batteries</u>	b) <u>heating</u>	c) <u>Safety mechanisms</u>
d) <u>Safety aspects</u>	e) <u>State of charge (SOC)</u>	
IN NORWEGIAN:		
a) <u>Litium batterier</u>	b) <u>oppvarming</u>	c) <u>sikkerhetsanordninger</u>
d) <u>sikkerhetsaspekter</u>	e) <u>ladetilstand</u>	
THESAURUS REFERENCE:		
8) ABSTRACT Lithium cells may for safety purposes be equipped with safety vents, shut down separators and various types of fuses. In this work lithium primary cells, lithium ion cells and a lithium ion polymer battery block have been heated to 250°C at a rate of 4°C/minute. Thus far above their recommended operating temperature. The results showed that fully charged cells with vent released their electrolyte (no flame observed) when heated above a certain temperature. Further heating, with two exceptions (Li/SO ₂ LO 26 SX and Li/SOCl ₂ LS 33600), resulted in a fire. A heating test was also performed on cells of 50% SOC. The cells type tested were: Li/SO ₂ Cl ₂ (CSC93) as well as Li/SO ₂ (LO 26 SX)and Li/SOCl ₂ (LSH20). The 50% SOC CSC93 cell vented with flames where as the two other types behaved similar to fresh cells. A cell type (Li/SOCl ₂) with no vent was also heated. This cell type exploded violently at 227 °C (average of 4 experiments). A lithium ion cell of 0% SOC only vented when heated, where as fully charged cells will on further heating after venting, catch fire. A fully charged Li ion polymer battery consisting of parallel connected polymer cells moulded in a polyurethane block was also heated. At 300 °C a fissure in the mould occurred, allowing the electrolyte to evaporate. Self heating took place and at approximately 470 °C, flames were observed.		
9) DATE 2006-09-06	AUTHORIZED BY This page only Nils Størkersen	POSITION Director of Research

ISBN 978-82-464-1230-6

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHOOLD

	Side	
1	INNLEDNING	7
2	UTSTYR, TESTBETINGELSER OG CELLETYPER	7
3	RESULTATER	10
3.1	D Li/SOCl ₂ SL-780 Sonnenschein	10
3.2	Li/SOCl ₂ LSH 20 SAFT	12
3.3	Li/SOCl ₂ LS 33600 SAFT	15
3.4	DD Li/SO ₂ Cl ₂ CSC93 (Electrochem)	17
3.5	D Li/MnO ₂ U3360H Ultralife	21
3.6	D Li/SO ₂ , LO26SX SAFT	23
3.7	D Li-ion, ICR34600, AGM	26
3.8	Li – ion polymer kloss, HUGIN 1000 ver. 0	30
4	RESULTATENE I TABELLFORM	35
5	KOMMENTARER OG OPPSUMMERING	37
5.1	Generelt	37
5.2	Li/SOCl ₂ , SL780, LSH20 og LS 33600	37
5.3	Li/SO ₂ Cl ₂ , CSC93	38
5.4	Li/MnO ₂ U3360H	38
5.5	Li/SO ₂	38
5.6	Li-ion	39
5.7	Li-ion polymer kloss HUGIN	39
6	KONKLUSJON	39
A	APPENDIKS 1	40
B	APPENDIKS 2	41
C	APPENDIKS 3	42
	Litteratur	56

Oppvarming av litium- og litiumionceller

1 INNLEDNING

Test 4 er en test i en serie med tester under oppdrag 328001: "Sikkerhetsaspekter ved store batteripakker i undervannssystemer" som går ut på å karakteriseres ulike typer Li og Li-ion batterier, spesielt med tanke på bruk i store undervannssystemer og i AUVer. En økning av sikkerhetsnivå ved bruk av slike batterier kan bare oppnås med en øket forståelse av hvordan batterier bør konstrueres og brukes. Et sammendrag av testene er gjort i sluttrapporten (1).

I test 4 varmes celler og våre egen produserte batteriklosser opp på en kontrollert og reproducerbar opp. Hensikten er å bestemme ved hvilken temperatur en eventuell sikkerhetsventil åpner, om cellen har en shut-down separator eller en annen anordning som øker celles indre motstand samt å få et inntrykk av hvor brennbare/eksplosive de ulike cellene er.

2 UTSTYR, TESTBETINGELSER OG CELLETYPEN

Til oppvarming av cellene ble det brukt en aluminiumssylinder og en aluminiumskloss utstyrt med varmelementer. Sylinderen hadde en aksial utsparring for D og DD celler. Til styring av ovnen ble det brukt en programmerbar temperaturkontroller (Minicor 41) utstyrt med to termoelementer av type K. Ovnene til oppvarming av våre egenproduserte batteriklosser var laget på samme måte. De eneste forskjellene var at utsparringen var større og tilpasset begge typer batteriklosser samt at kontrolleren var av et annet merke (SHINKO FCR-13 A). I tillegg ble tomrommet mellom celle/kloss fylt med silikonolje (LL 200 FLUID/100 CS Dow Corning) for blant annet å sikre god termisk overføring. Dessuten var vi interessert i å finne ut hva som skjer med silikonoljen ved oppvarming. Tegningene av ovnene befinner seg i appendiks 1 og 2. En D-celle er ca 60 mm lang og har en diameter på ca 33 mm. En DD-celle er 111.4 mm lang og har en diameter på 33.5 mm.

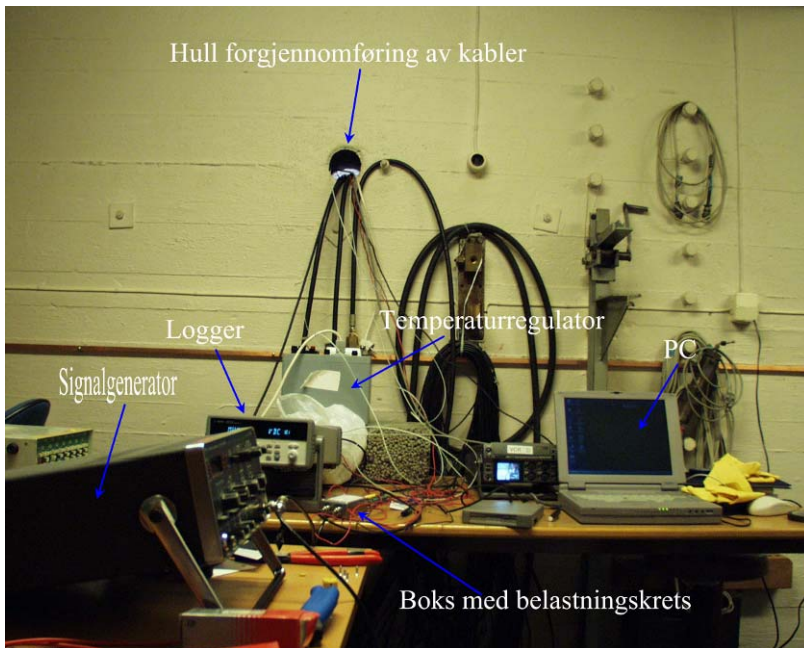
Temperaturen på celle/kloss ble målt ved at et termoelement ble plassert mellom bunnen på cellen/klossen og ovnen. Termoelementet ble termisk isolert fra ovnen med keramisk vatt.

D og DD cellene ble belastet elektrisk under oppvarming. Belastningen på cellen bestod av en krets med en ohmsk motstand som ble koplet til og fra ved hjelp av en MOSFET transistor. MOSFET transistoren ble styrt av en signalgenerator. Den resulterende AC-spenningen ble brukt som en indikasjon på cellens indre motstand.

Cellespenning, AC-spenning, ovnstemperatur og celletemperatur ble registrert ved hjelp av en datalogger (Agilent 34970A). Celletemperaturen ble målt ved å plassere et termoelement mellom bunnen av utsparringen (dekket med glassvatt) og cellen.

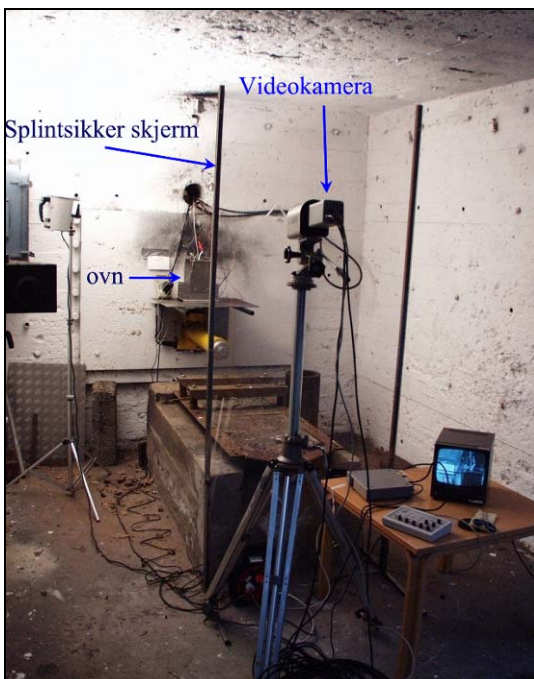
Forsøkene ble videofotografert (SONY DCR-PC 120/115).

Figur 2.1 viser utstyret for oppvarming av D og DD celler plassert inne i bunkeren.



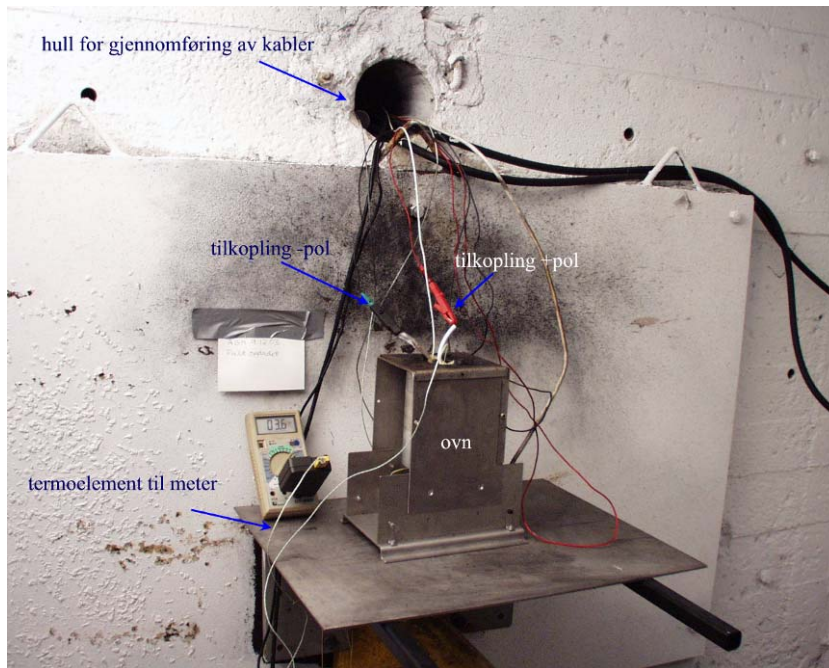
Figur 2.1 viser utstyr som er plassert inne i bunkeren.

Figur 2.2 gir en oversikt over utstyret som ble plassert på den andre siden av veggen. (Videokameraet som er avbildet ble bare brukt i de innledende forsøkene. De resterende forsøk ble filmet med SONY kameraet).



Figur 2.2 viser oppsettet ute. Den splintsikre skjermen ble brukt for å beskytte kamera.

Bilde av ovnen med celle klar til oppvarming sees i figur 2.3.



Figur 2.3 viser detalj av oppsettet ute i bunkeren for testing av D og DD celler.

Figur 2.4 viser oppsettet for testing av batteriklosser. I midten av bildet er ovnen som batteriklossen ble satt ned i. På venstre side av ovnen er det en kabel for strømtilførsel til varmelementene i ovnen. Bak ovnen sees en stang for å feste det ytre termoelementet i. På høyre side sees det en loggekabel.



Figur 2.4, oppsett ved testing av batterikloss. Ovnen (rektangulær) i midten av bildet. Bak ovnen sees stangen hvor det utvendige termoelementet var festet. To kabler sees også, den venstre for strøm til ovnen og den til høyre er en loggekabel.

Tabell 2.1 viser celletyper som har blitt testet.

celletype/betegnelse	cellesp/kapasitet	størrelse/antall	fabrikat
Li/SOCl ₂ SL780	nom 3.6 V/16.5 Ah	D/ 4 stk	Sonnenschein
Li/SOCl ₂ LSH20	nom 3.6 V/13.0 Ah	D/ 3 stk + 2 stk halvutladet	SAFT
Li/SOCl ₂ LS 33600	nom 3.6 V/17.0 Ah	D/ 4 stk	SAFT
Li/SO ₂ Cl ₂ CSC93	OCV 3.9 V/ 30 Ah	DD/ 3 stk + 2 stk halvutladet	Electrochem
Li/MnO ₂ U3360H	OCV 3.0 V/ 11 Ah	D/4 stk	Ultralife
Li/SO ₂ LO26SX	OCV 3.0 V/ 7.5 Ah	D/ 3 stk + 2 stk halvutladet	SAFT (Hawker)
Li-ion ICR34600	nom 3.6 V/5.2 Ah	D/ 3 stk + 2 stk helt utladet	AGM
Li-ion polymer	nom 3.8 V/36.4 Ah	Kloss, 2 stk	FFI / Ultralife (HUGIN 1000)

Tabell 2.1 angir testede celler og klosser.

Oppvarmingshastigheten i forsøkene var 4 °C/min. Cellene ble varmet opp til ca 260 °C, med unntak av cellen LS 33600 og batteriklossen som ble varmet opp til 300 °C.

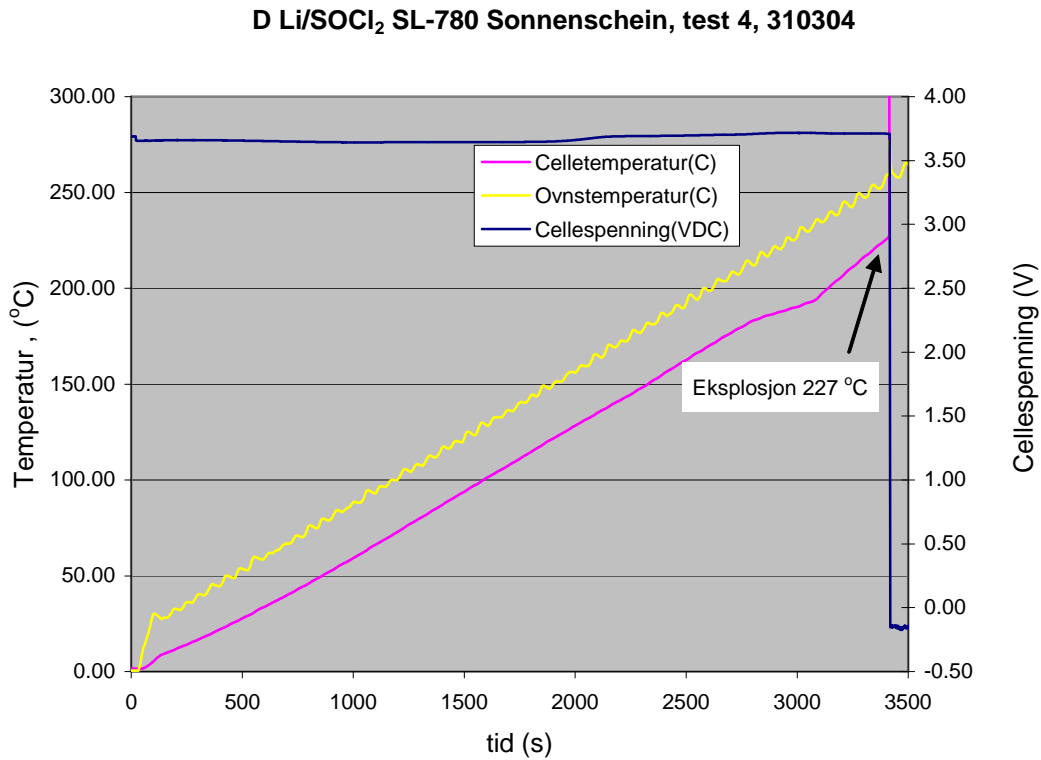
For å måle D og DD cellenes impedans som funksjon av temperatur ble en ohmsk motstand koplet til og fra (200 Hz firkantpuls 10% duty cycle) ved hjelp av en MOSFETtransistor. Størrelsen på motstanden var enten 10, 100 eller 1000 ohm avhenging av celletype. Det var viktig at belastningen på cellen var liten slik at ladetilstanden ikke endret seg vesentlig i løpet av forsøkets varighet siden ladetilstanden påvirker impedansen.

3 RESULTATER

Som det fremgår an tabell 2.1 er det gjennomført minst 3 forsøk med hver celletype bortsett fra i det tilfellet hvor vi testet vår egenproduserte batterikloss. Like celler hadde omtrentlig samme forløp ved oppvarming. Ved hvilke temperaturer de ulike hendelsene oppstod varierte noe. For ikke å lage denne rapporten for omfattede blir imidlertid bare ett forsøk med hver celletype kommentert i detalj. De resterende forsøkene kommer med i oppsummeringstabellen til slutt.

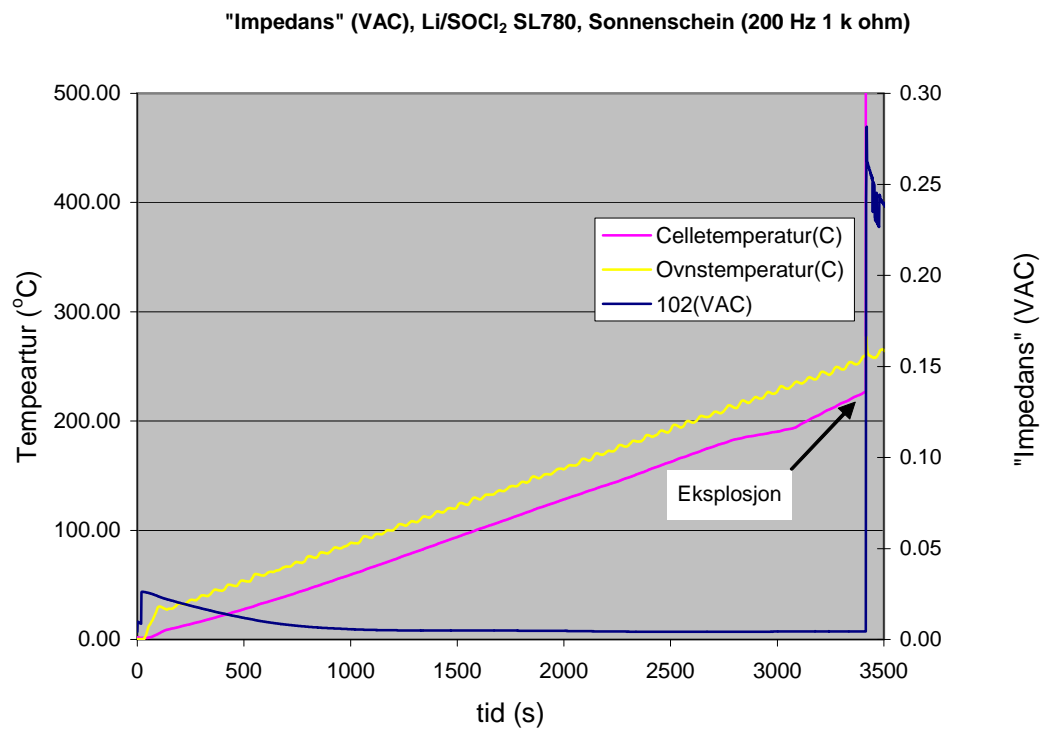
3.1 D Li/SOCl₂ SL-780 Sonnenschein

Figur 3.1 viser celledtemperatur, celledspenning og ovnstemperatur som funksjon av tid. Cellen er ubrukt, det vil si at "state of charge" SOC er 100 %.



Figur 3.1 viser celleteperatur, cellespenning og ovnstemperatur som funksjon av tid, SL780.

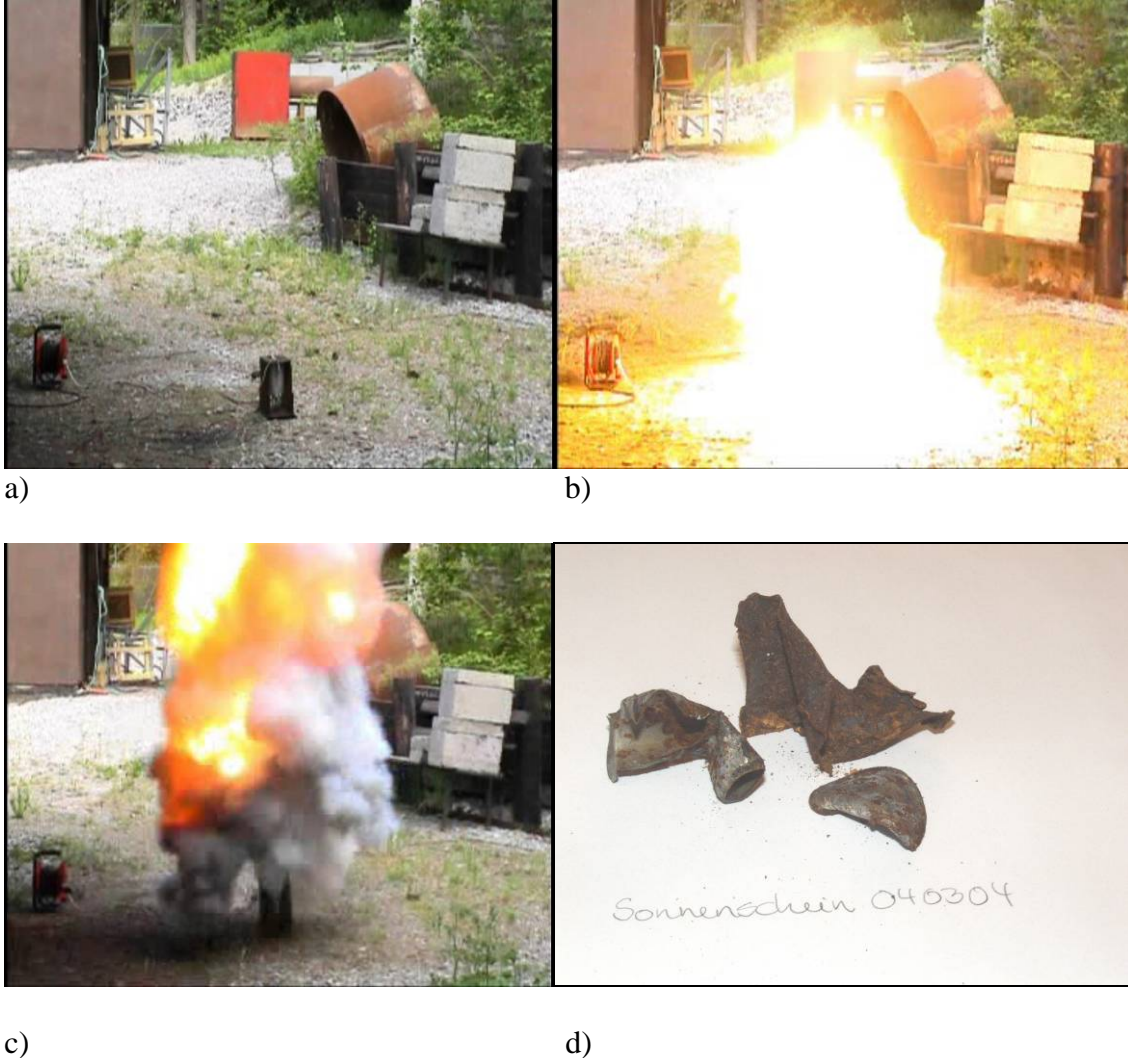
Figur 3.2 viser ovns - og celleteperatur samt "impedans" som funksjon av tid.



Figur 3.2 viser ovns - og celleteperatur samt "impedans" som funksjon av tid, SL780.

I henhold til batteridatabladet, se appendiks 3, har denne cellen ingen shut down separator eller sikkerhetsventil. Det er i overensstemmelse med våre resultater. I all hovedsak, med unntak av et lite fall i stigningen rundt smeltepunktet til Li, 180 °C, stiger celleteperaturen med

ovnstemperaturen. Dette samt det faktum at impedansen synker med økende temperatur, tyder på at cellen ikke har shut down separator eller ventil. Ved 227 °C eksploderer cellen. Forløpet ble filmet. Se vedlagt video. Fra videoen er det tatt ut 3 still bilder i det cellen eksploderer, figurene 3.3a – c. Mellom hvert bilde er det 1/25 s. Figur 3 d viser restene av cella etter eksplosjonen.

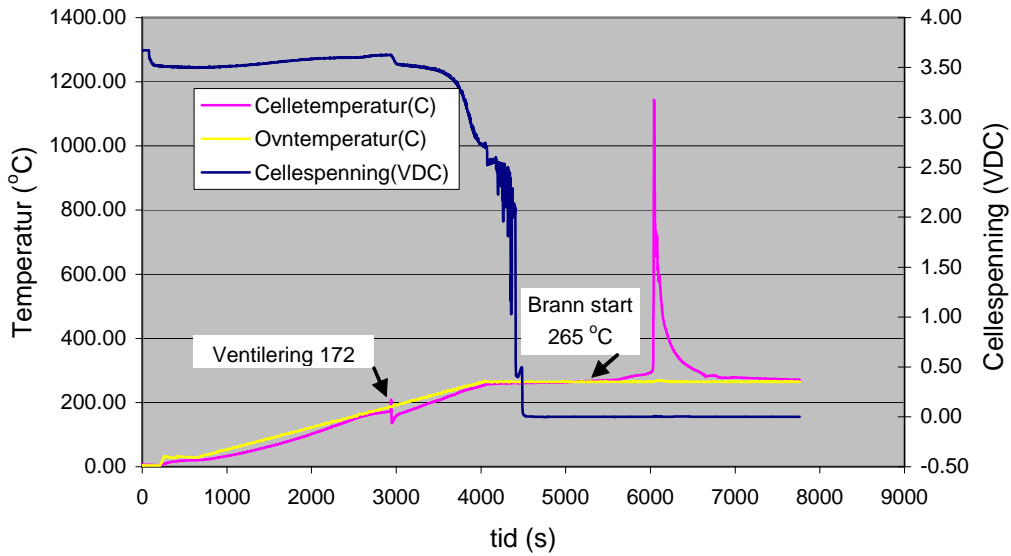


Figur 3.3 a – c viser bilder tatt ut fra videoen rett før, under og etter eksplosjonen startet, SL780. Mellom hvert bilde er det 1/25 s. Figur 3d viser det som ble funnet igjen av cella.

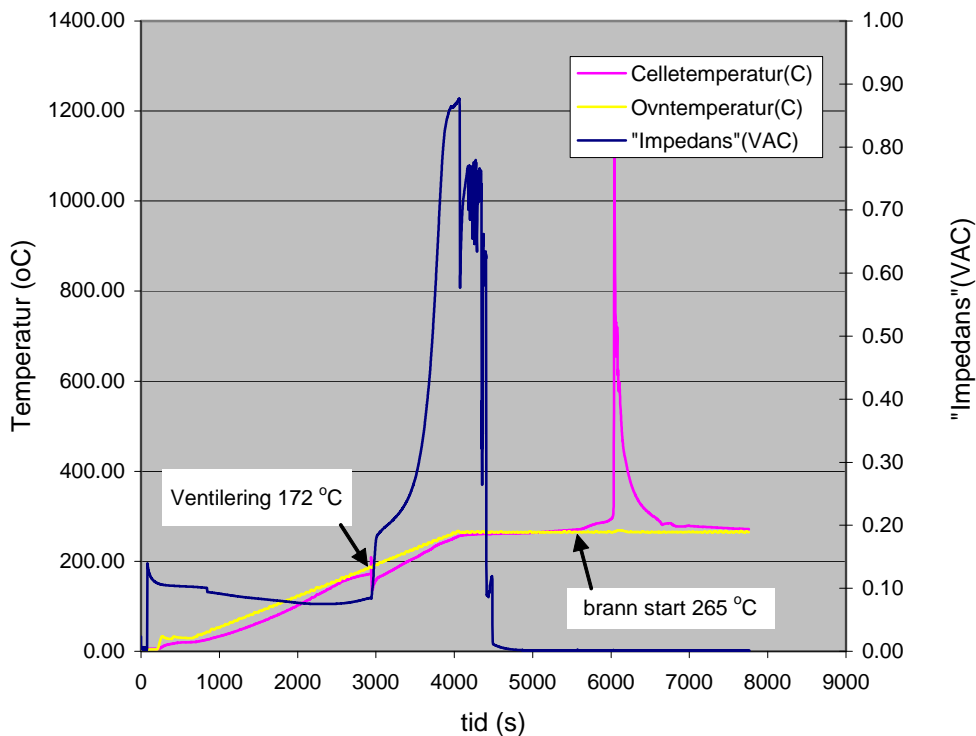
Ved oppvarming eksploderer denne cellen kraftig og uten noen form for forvarsel.

3.2 Li/SOCl₂ LSH 20 SAFT

Figur 3.4 viser cellespenning, ovn - og celleteperatur som funksjon av tid ved oppvarming av cellen (SOC 100 %). Figur 3.5 viser ovn - og celleteperatur samt "impedans som funksjon av tid.

D Li/SOCl₂ LSH20, SAFT, test 4, 200304

Figur 3.4 viser ovn - og celleteperatur samt cellespenning som funksjon av tid, LSH 20.

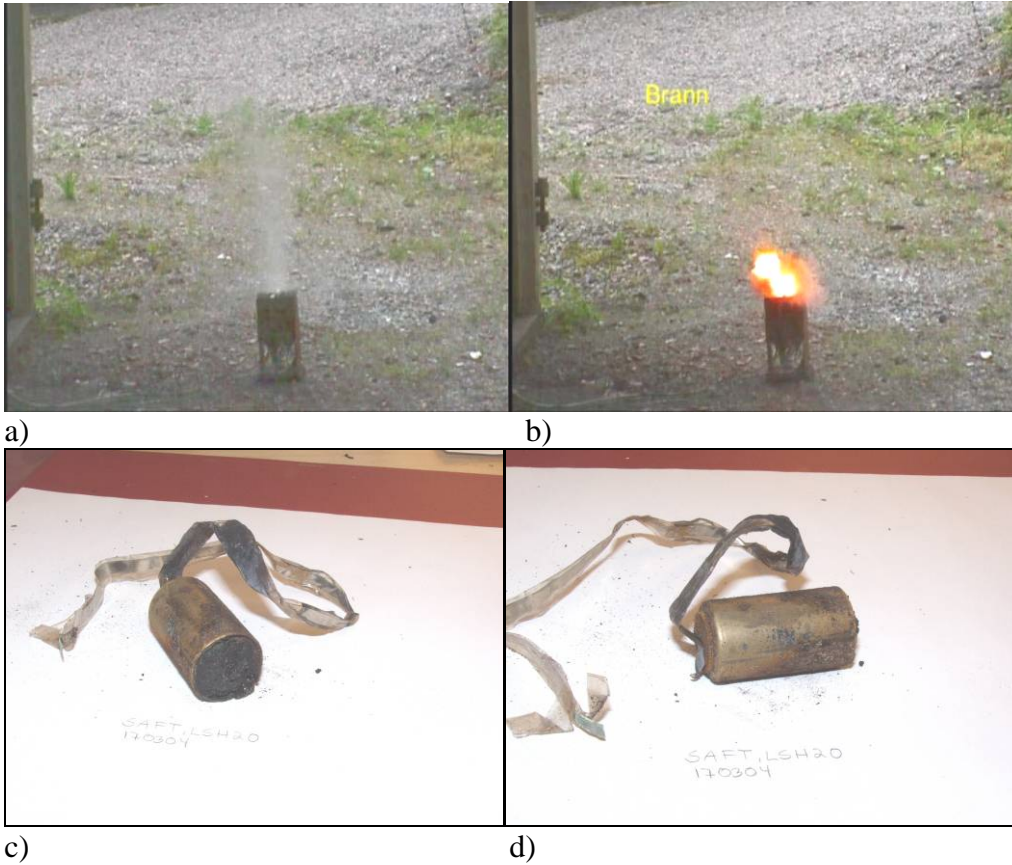
"Impedans" (VAC), Li/SOCl₂ LSH 20, (1 k Ohm 200 Hz) 200304

Figur 3.5 viser "impedans" (VAC) i tillegg til ovn - og celleteperatur som funksjon av tid for samme forsøk som over, LSH 20.

Som det fremgår av figurene ventilerer denne cellen ved 172 °C. Dette medfører at cellespenningen faller og impedansen øker. Dette er som forventet fordi ved ventilering blir elektrolytten i cellen borte. Som det fremgår av figurene stiger celleteperaturen ved ventileringen opp til 209 °C for så å synke til 135 °C før den igjen begynner å stige. At cellen

har et varmetap ved ventilering er som forventet, men hvorfor celledemperaturen innledningsvis øker har jeg på det nåværende tidspunkt ingen god forklaring på.

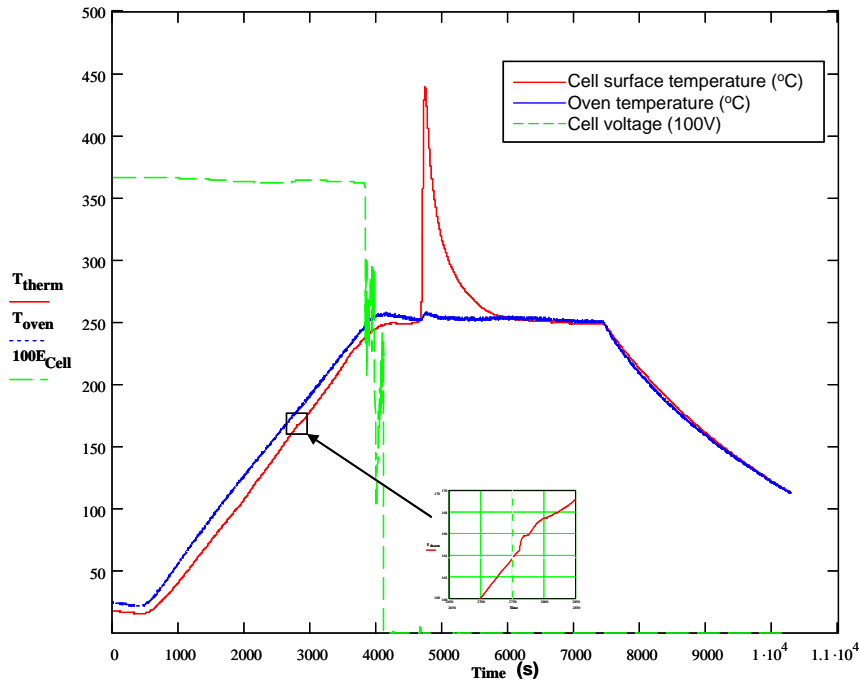
Cellen begynner å brenne ved 265 °C. Hele forløpet er filmet. Det er tatt ut stillbilder i det cellen ventilerer og i det cellen brenner, figur 3.6 a og b.



Figur 3.6, ventilering og brann, samt cellen etter testen, LSH20.

Som det fremgår både av videoen og still bildene oppfører LSH 20 cellen seg svært "fredfullt" ved oppvarming i forhold til SL 780. Figur 3.6 c og d viser cellen etter testen.

Det ble også gjennomført 2 forsøk hvor SOC var 50 %. Figur 3.7 viser celledenspenning, temperatur i ovn og celledenspenning som funksjon av tid.



Figur 3.7, celleteperatur, ovnstemperatur og cellespenning som funksjon av tid, LSH 20 50 % SOC.

Ujevnheter i temperaturen ved 164.4°C som faller sammen med ventilering av cellen. Ventileringen sees tydelig på videoopptaket. Gjennomsnittlig temperaturøkningshastighet forandres marginalt før og etter ventilering. Først ved ca 240°C faller cellespenningen. Etter ca 8 minutter ved 250°C starter en brann med stor røykutvikling og rask temperaturøkning. Kun røyk er synlig utenfor ovnen. Maksimaltemperaturen under cellen ble registrert til 439°C.

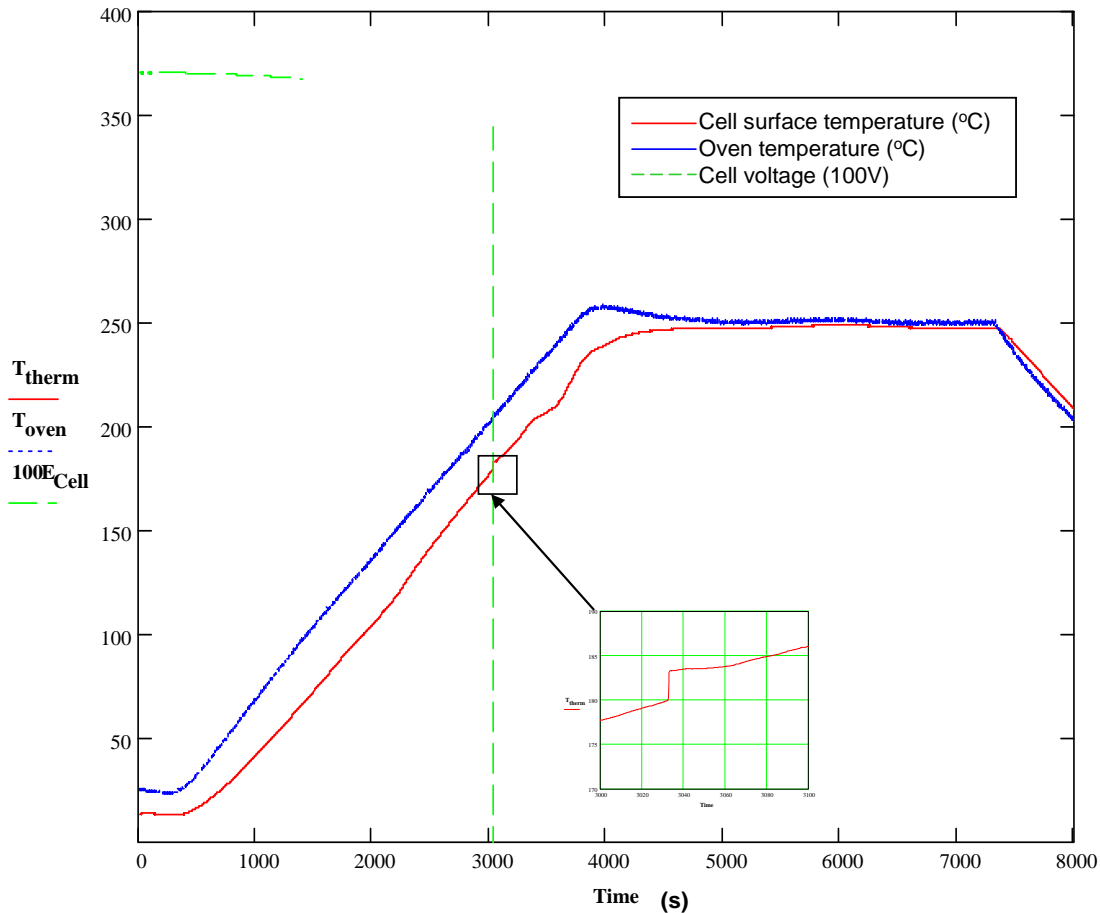
Den neste figuren viser den utbrente cellen.



Figur 3.8, utbrent LSH 20 celle, SOC 50%.

3.3 Li/SOCl₂ LS 33600 SAFT

Figur 3.9 viser cellespenning, ovn- og celleteperatur som funksjon av tid for oppvarming av denne cellen (SOC 100%). Grønn kurve viser cellespenning x100, blå kurve temperaturforløpet i ovnen og rød kurve viser celleteperaturen.



Figur 3.9 viser cellespenning, ovn- og celletemperatur som funksjon av tid for oppvarming av Li/SOCl_2 LS 33600 fra SAFT. Grønn: cellespenning (VDC)x100, rød: celletemperatur ($^{\circ}\text{C}$), blå: ovnstemperatur. Tiden "Time" angitt i sekunder.

Brå økning i temperaturen fra 180.0 $^{\circ}\text{C}$ til 183.3 $^{\circ}\text{C}$ som faller sammen med ventilering av cellen og fall til 0 i cellespenningen. Ventileringen sees tydelig på videoopptaket. Gjennomsnittlig temperaturøkningshastighet forandres marginalt før og rett etter ventilering. Ved ca 208 $^{\circ}\text{C}$ får temperaturutviklingen et vendepunkt hvor det først går saktere, deretter raskere.

Det ble gjort 3 oppvarmingsforsøk til. Disse er oppsummert i tabell 4.1 og forløp som det beskrevet her. Figur 3.10 viser 3 av cellene etter testing.

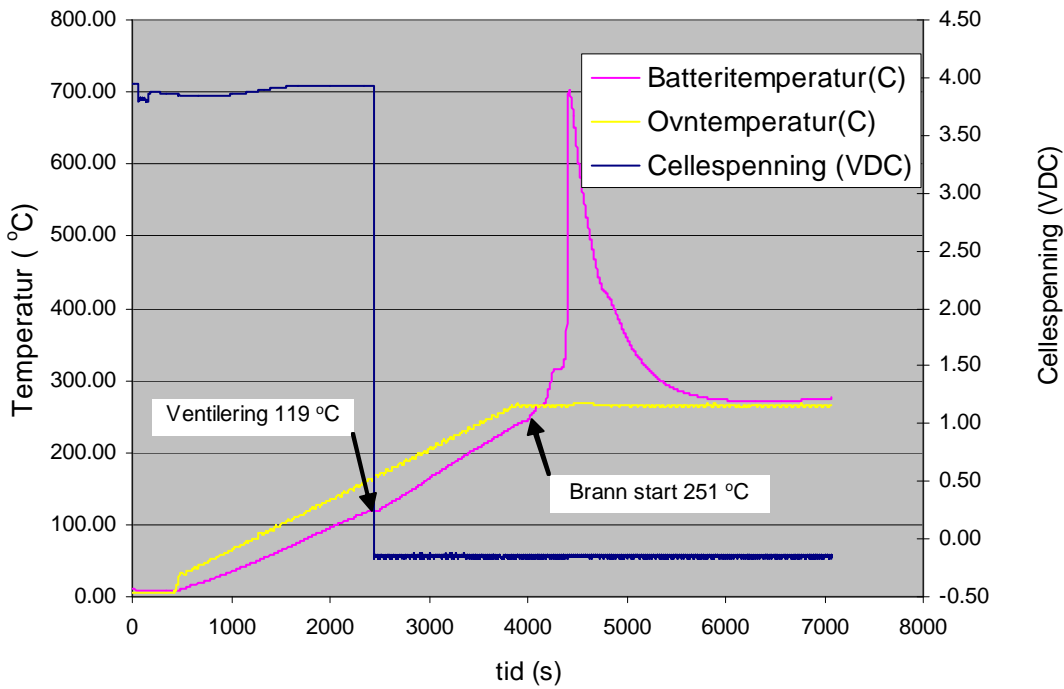


Figur 3.10. Cellene etter testing, LS 33600.

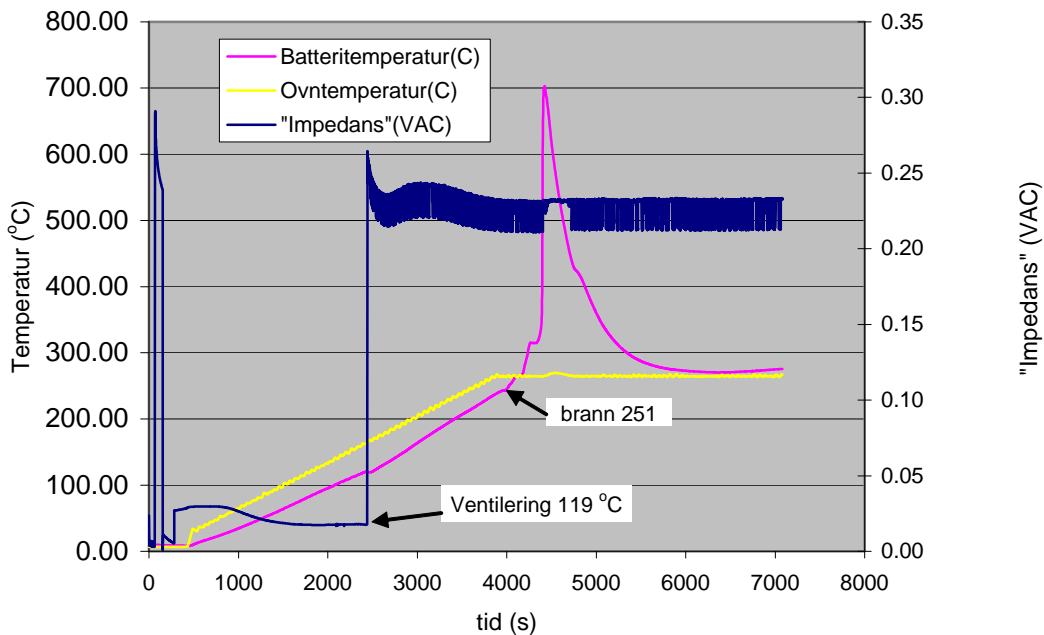
3.4 DD Li/SO₂Cl₂ CSC93 (Electrochem)

Figur 3.11 viser celledspenning, ovn - og celledtemperatur som funksjon av tid for oppvarming av Li/SO₂Cl₂ (SOC 100 %). Som det fremgår av figuren holder celledspenningen seg på omtrent 4 V til cellen ventilerer ved 119 °C. Ventileringen medfører at celledspenningen faller til omtrent 0 V. Videre oppvarming fører til at cellen starter å brenne ved 251 °C.

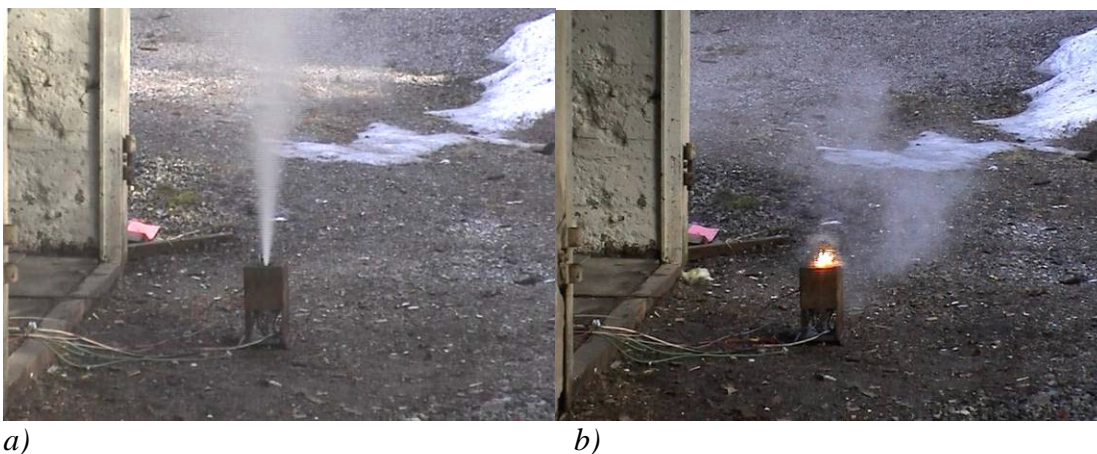
Neste figur viser "impedans", ovn - og celledtemperatur som funksjon av tid. "Impedansen" avtar som forventet med temperatur frem til cellen ventilerer. Det er ikke noe som tyder på at cellen inneholder en shut down separator. Dette er i samsvar med informasjon fra leverandøren. Forsøket ble videofilmet og figur 3.13 a og b viser hvorledes cellen ventilerer og brenner. Bildene er tatt fra videoen.

Li/SO₂Cl₂, DD Electrochem, test 4, 050404

Figur 3.11 viser cellespenning, ovn - og celledtemperatur som funksjon av tid for oppvarming av Li/SO₂Cl₂, CSC93.

"Impedans" (VAC) Li/SO₂Cl₂, Electrochem (200 Hz 100 ohm) 050404

Figur 3.12 viser "impedans", ovn og celledtemperatur som funksjon av tid, CSC93.



a)

b)

Figur 3.13, cellen ventilerer og brenner senere fredlig. Før cellen begynner å brenne, ryker den kraftig, CSC93.



a)

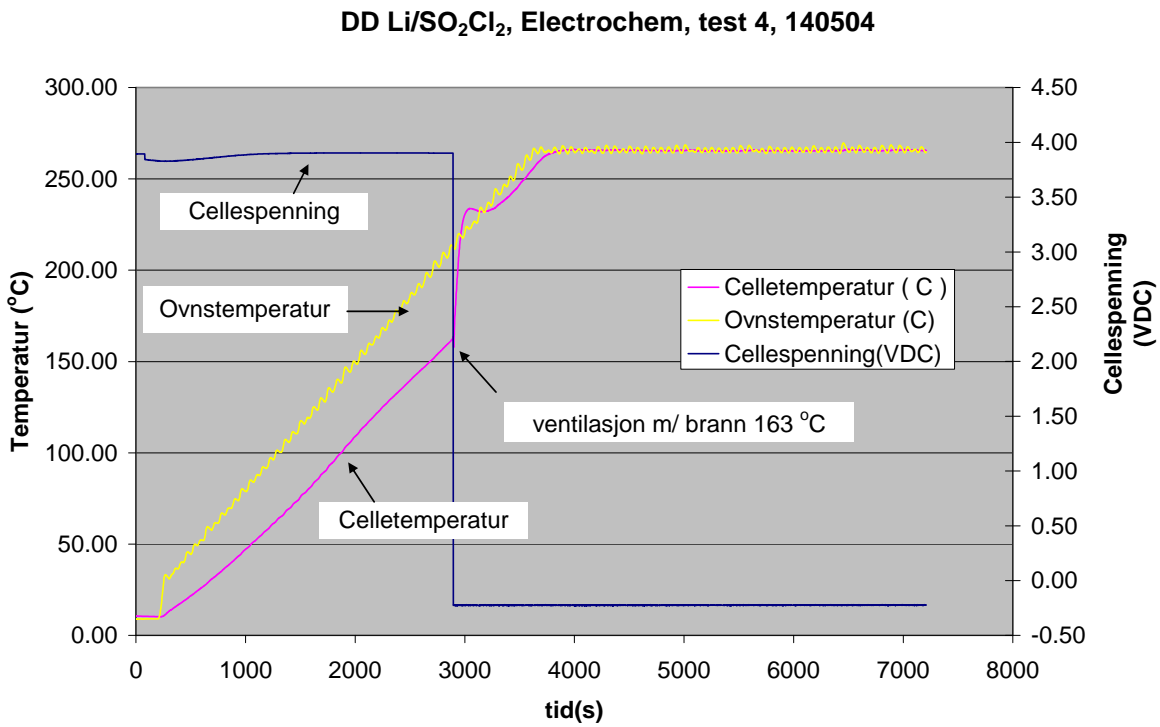
b)

Figur 3.14 viser utbrent DD Li/SO₂Cl₂, CSC93. Fra a) sees det tydelig et hull som sannsynligvis er en del av det som utgjør sikkerhetsventilen. Lokket med beskyttelseskrets har hoppet av. Fra b) ser man at begge endene buler noe ut.

Figur 3.14 viser cellen etter at den har ventilerer og brennet. Lokket med beskyttelseskretsen har hoppet av og det fremgår tydelig at det er et hull i den ene endeplaten. Dette hullet er sannsynligvis en del av det som utgjør sikkerhetsventilen. Bemerk også at begge endene på cella buler noe ut.

Det er også gjort 2 forsøk med halvutladede celler av denne typen (SOC 50%). Figur 3.15 viser celledenspenning, ovns – og celletemperatur som funksjon av tid ved oppvarming for det ett av disse forsøkene. I motsetning til fullt ladede celler, både brenner og ventilerer cellen omtrent samtidig. Dette fremgår tydelig av vedlagt video samt fra figur 3.16 som viser øyeblikket cellen ventilerer og brenner 9/25 – dels sekund senere.

Figur 3.17 viser den utbrente cellen. Det eneste som er igjen er kannen. En halvutladet celle reagerer med andre ord betydelig kraftigere på oppvarming en full celle.



Figur 3.15 viser cellespenning, ovn - og celleteperatur som funksjon av tid i hele forsøket varighet, CSC93.



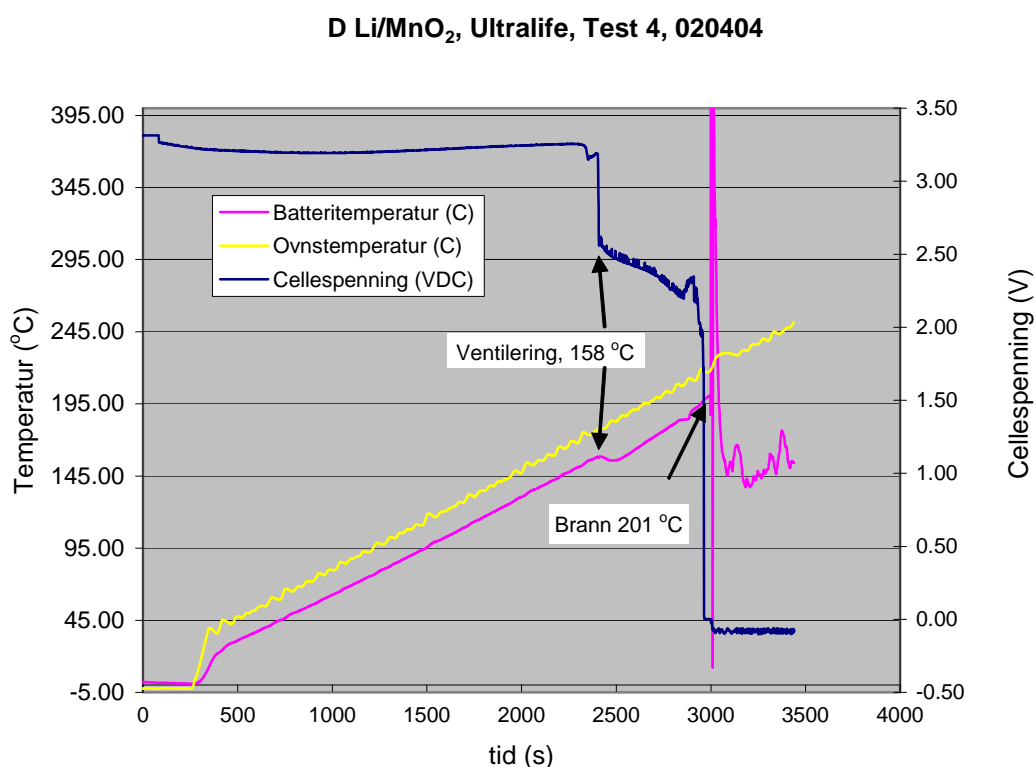
Figur 3.16, cellen ventilerer og brenner omtrent samtidig. Det er ca. 9/25 -dels sekund mellom bildene, CSC93.



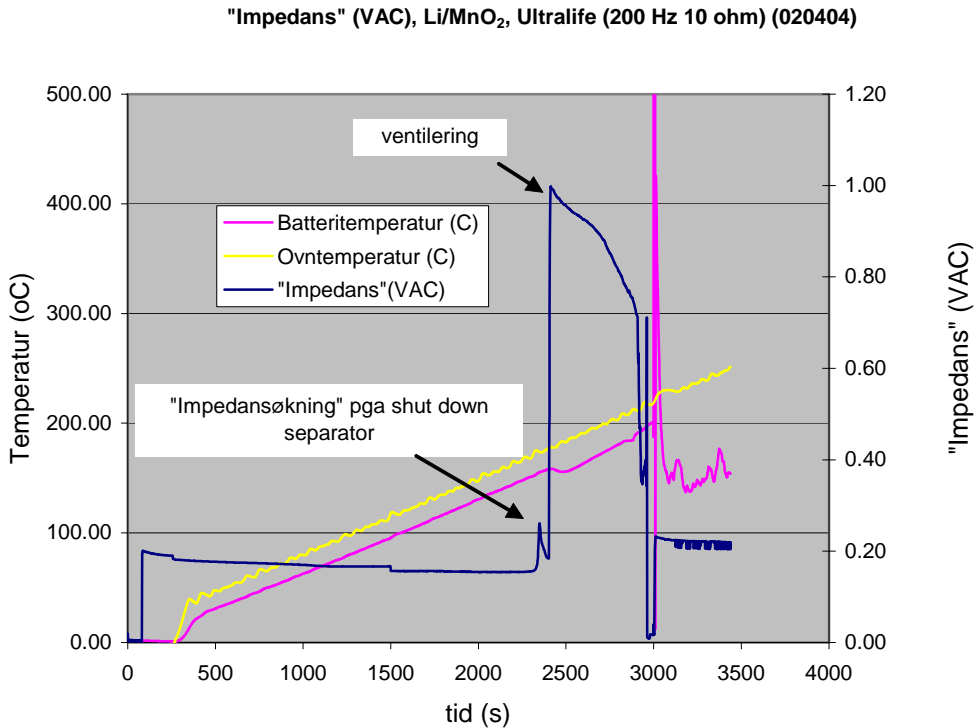
Figur 3.17, bare kannen er igjen, CSC93.

3.5 D Li/MnO₂ U3360H Ultralife

Figur 3.18 viser cellespenning, ovn - og celleteperatur som funksjon av tid ved oppvarming (SOC 100%). Som det fremgår av figurer ventilerer cellen ved 158 °C og den begynner å brenne ved 201 °C. Denne cellen har i følge leverandøren en "shut down" separator. Vi forventer derfor en økning i "impedans" før cellen ventilerer. Figur 3.19 viser "impedans", ovn - og celleteperatur som funksjon av tid ved oppvarming.



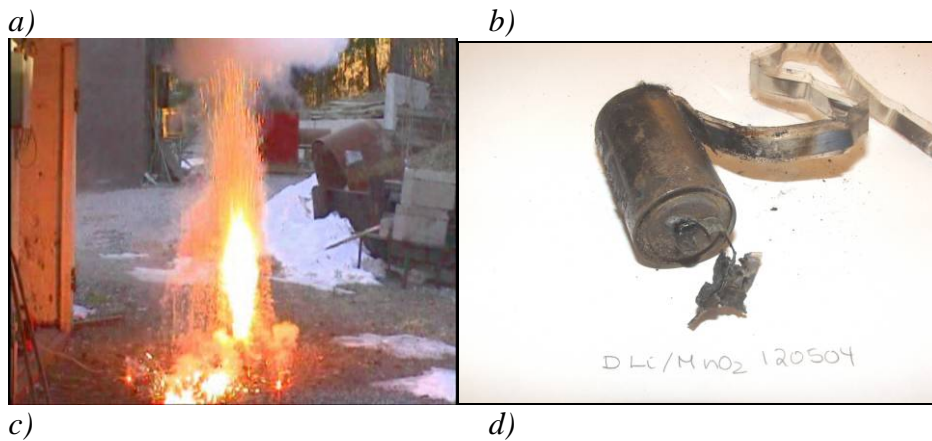
Figur 3.18 viser cellespenning, ovns - og celleteperatur som funksjon av tid ved oppvarming, U3360H.



Figur 3.19 viser "impedans", ovn - og celletemperatur som funksjon av tid ved oppvarming, U3360H.

Som det fremgår av figur 3.19 er det en stigning av impedansen ved ca 150 °C. Dette skyldes høyst sannsynligvis shut down separatorene. Ved noe høyere temperatur ventilerer cellen. Ved 201 °C brenner cellen voldsomt. Se vedlagt video. Figur 3.20 a er tatt fra videoen i det cellen ventilerer. Figur 3.20 b og c viser brannen 9 minutter senere. Figur 3.20 d viser den utbrente cellen. Alle parallellene hadde samme forløp. Cellene oppfører seg som forventet og i henhold til datablad fra leverandøren.





Figur 3.20, a) cellen ventilerer. Ca 9 min senere tar cellen fyr, (b og c). Den utbrente kannen sees i siste bildet (d.), U3360H.

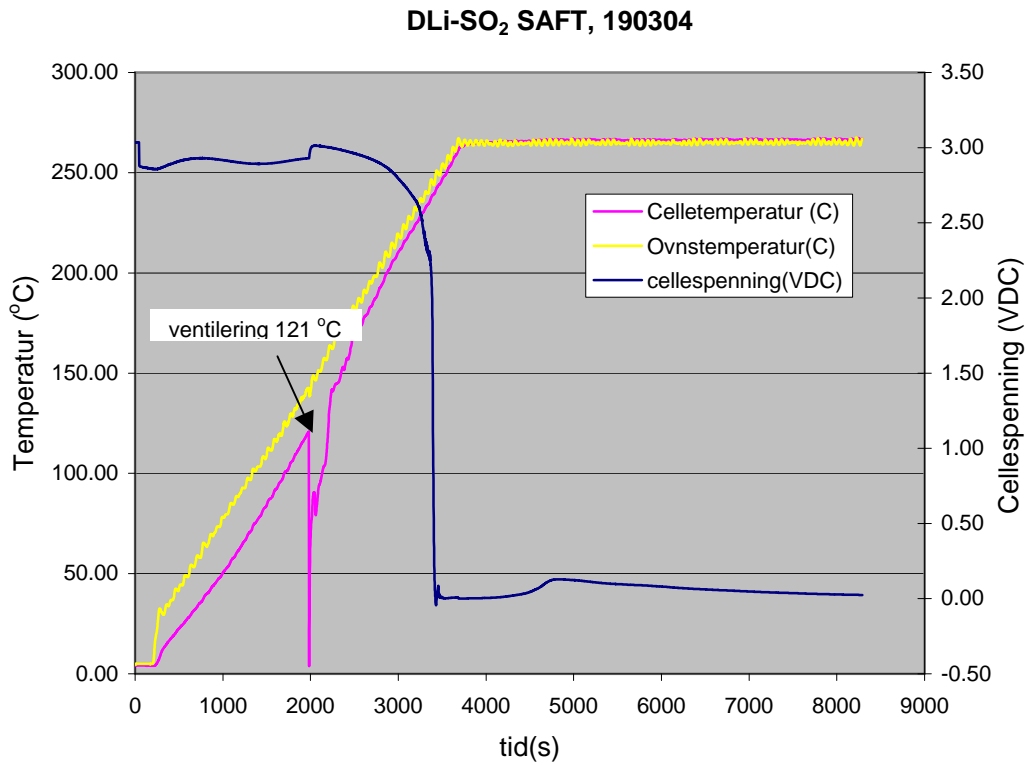
3.6 D Li/SO₂, LO26SX SAFT

Figur 3.21 viser celledspenning, ovns- og celledtemperatur som funksjon av tid. Cellen var som ny (SOC 100%). Som det fremgår av figuren ventilerer cellen ved 121 °C. Etter ventileringen har celledtemperaturen samme forløp som ovnstemperaturen. Det vil si at cellen brenner ikke.

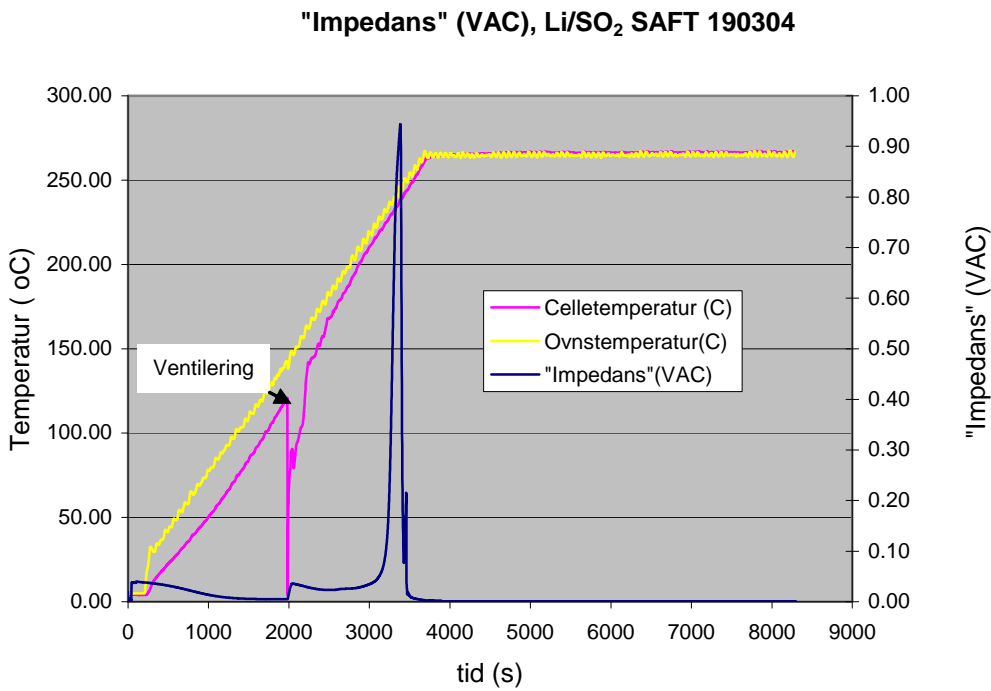
Figur 3.22 viser ovns- og celledtemperatur samt "impedans" som funksjon av temperatur.

Som det fremgår av figuren faller "impedansen" med økende temperatur helt til cellen ventilerer. Cellen har i følge databladet (appendiks 3) ingen "shut down" separator eller lignende, så forløpet er helt som forventet.

Forløpet ble videofotografert. Se vedlagt video. Som det fremgår av figur 3.23 a ventilerer denne cellen uten synlig røyk.



Figur 3.21 viser cellespenning, ovn - og celletemperatur som funksjon av tid, LO26SX.



Figur 3.22 viser ovn og celletemperatur samt "impedans" som funksjon av temperatur, LO26SX.



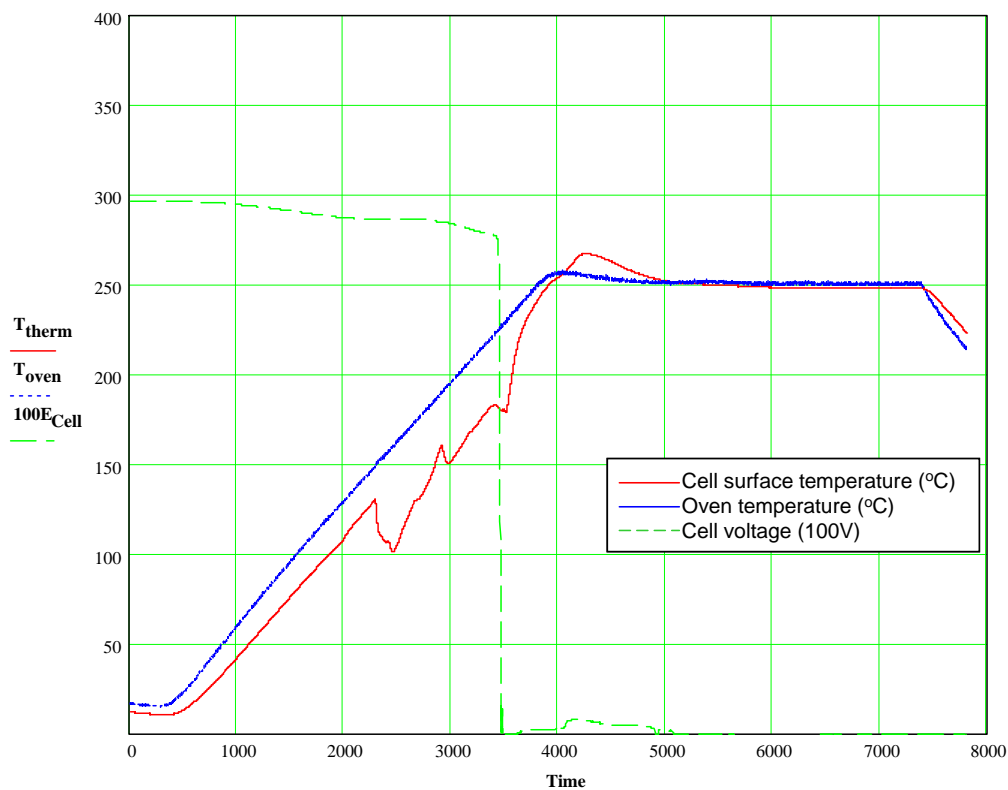
a)

b)

Figur 3.23, a) tatt fra videoen da cellen ventilerer. Ingen synlig røyk. b) Det ene endelokket på cellen har åpnet seg. Ellers virker cellen intakt.

Figur 3.23 b viser cellen etter at den har ventilert. Det ene endelokket har åpnet seg. Cellen virker ellers intakt og ble derfor oppbevart i parafin for å hindre reaksjon mellom Li og fuktighet i luften.

Det ble også foretatt to oppvarmingsforsøk hvor SOC var 50 %. Det ene av de er vist under. Temperaturforløp fra termoelement i ovn og under cellen, samt 100 x celledspenning er gjengitt i figur 3.24.



Figur 3.24, temperaturforløp og celledspenning for av en Li/SO₂, SOC 50%, LO26SX.

Temperaturen under cellen stiger med 4°C/min fram til 130.7°C. Da faller den noe og blir deretter ujevn. Dette skyldes trolig destillering/ventilering av elektrolytt. Samme

temperaturutvikling vises på videoopptaket og en liten røykdott er synlig omtrent samtidig med start av temperatursenkningen. Ventileringen som finner sted er knapt synlig på videoopptaket. Glassvatteddotten over cellen lå fortsatt på plass etter at forsøket var avsluttet. Cellespenningen falt raskt til 0V ved 183 °C. Ved 250°C ble det observert svak røykutvikling fra ovnen og lukt av svovelforbindelser.

Figur 3.25 viser cellen etter testen.



Figur 3.25, viser cellen etter forsøket, LO26SX.

3.7 D Li-ion, ICR34600, AGM

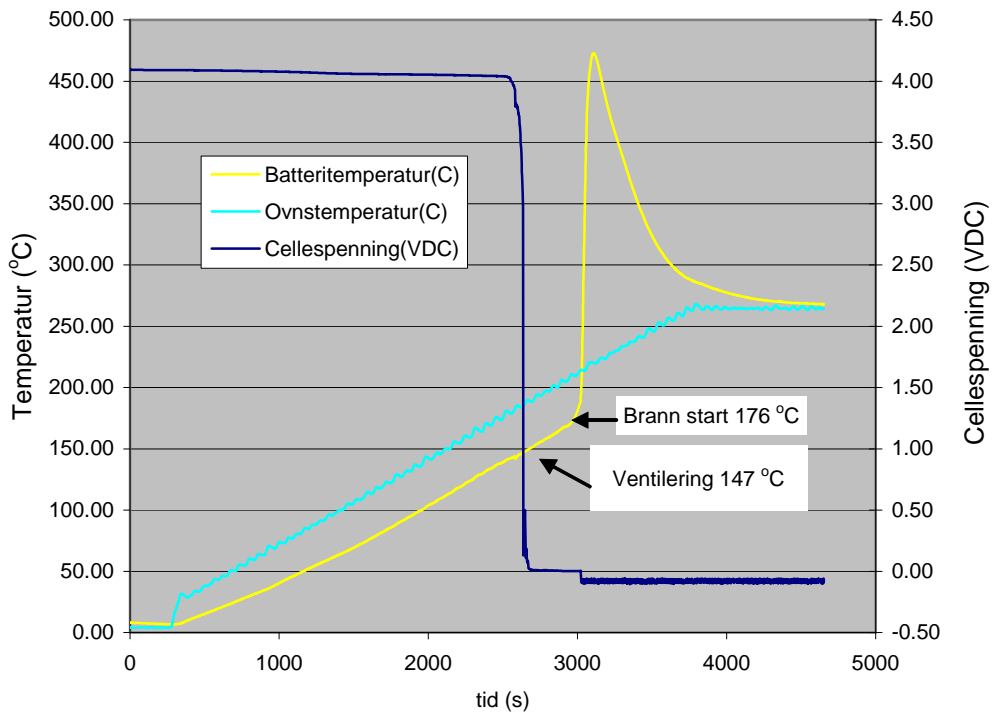
Denne celletypen er ladbar og det er blitt testet 5 stykker av disse. Tre av cellene var fullt oppladet, mens to var helt utladet.

Cellen er i henhold til databladet utstyrt med ventil. Figur 3.26 viser celle- og ovnstemperatur som funksjon av tid. Av denne figuren fremgår det at cellen ventilerer ved ca 150 °C og at den begynner å brenne ved ca 176 °C. De andre parallellene ventilererte og brant ved noe høyere temperatur.

Figur 3.27 viser "impedans" samt ovns – og celledtemperatur som funksjon av tid (SOC 100 %). Figur 3.28 viser et utsnitt av målingene rundt tidspunktet for ventilering. "Impedansen" avtar som forventet med økende temperatur helt til ca. 10 °C før ventilering. Da stiger den noe for så å øke voldsomt i det cellen ventilerer. I henhold til AGM (2) skal også denne cellen ha en shut down separator. Økning av "impedansen" ca 10 °C før cellen ventilerer kan kanskje skyldes en slik anordning. For å få dette bekreftet må det gjøres flere målinger. En måte å finne ut dette på vil være å varme cellen langsomt opp til ca 140 °C (lavere enn ventileringstemperaturen) og holde den ved denne temperaturen samtidig som den belastes.

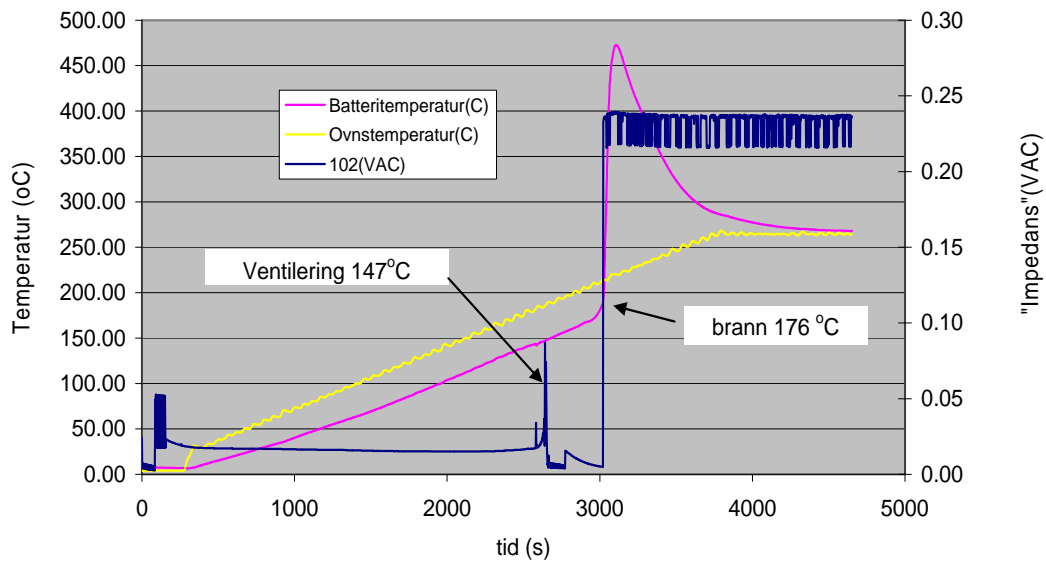
Hele forløpet ble videofotografert.

D Li-ion, AGM, test 4, 060404

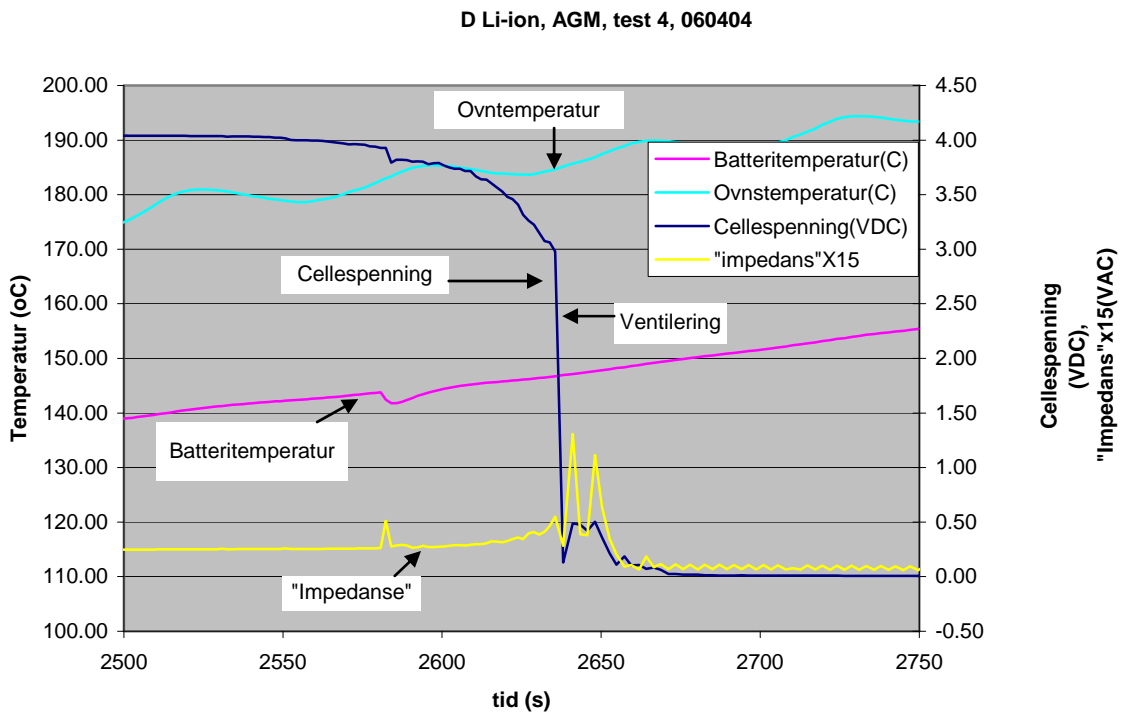


Figur 3.26 viser celledspenning, ovns - celledtemperatur som funksjon av tid, ICR34600.

"Impedans" (VAC), Li-ion, AGM (100 ohm 200 Hz)



Figur 3.27 viser "impedans", ovn - og celledtemperatur som funksjon av tid, ICR34600.



Figur 3.28 viser et utsnitt av data fra forsøket, ICR34600.



a)

b)



c)

d)

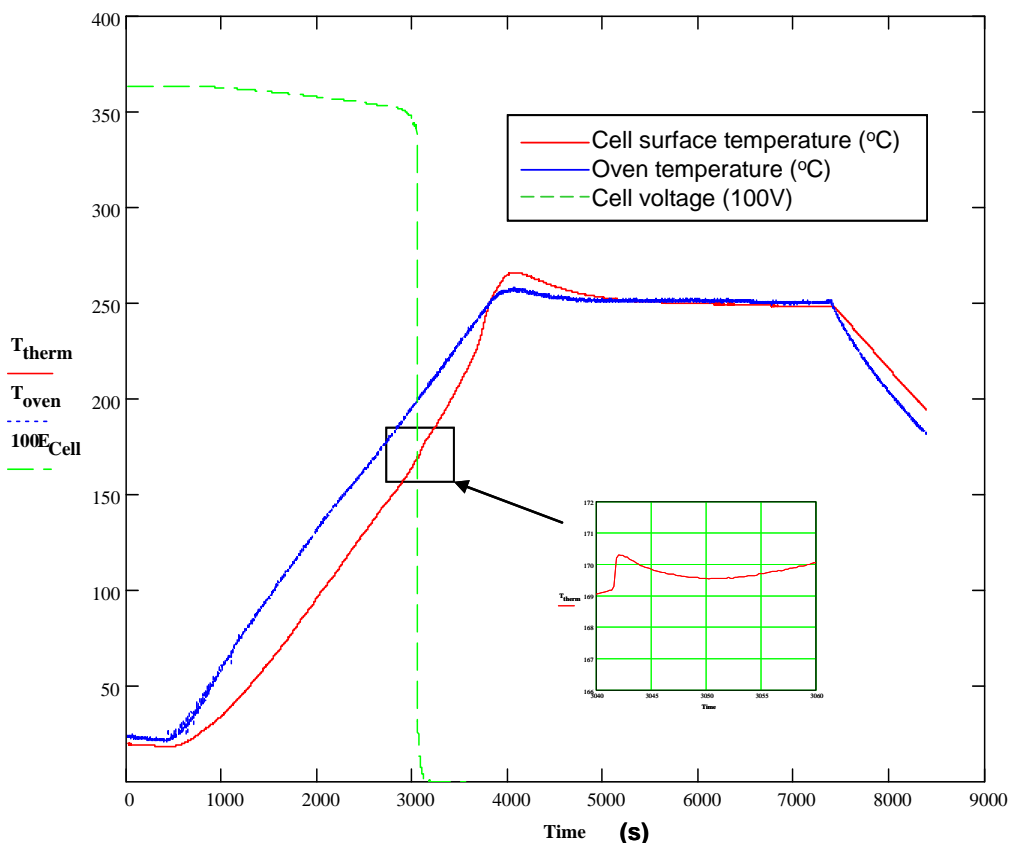


e)

Figur 3.29, a) ventilering, b) røykutvikling rett før cellen brenner, c) maksimal utbredelse av brannen, d) 1/25 del sekund senere, e) utbrent celle, ICR34600.

Det ble tatt ut stillbilder fra videoen. Som det fremgår av figur 3.29 a ventilerer cellen før den begynner å brenne. Figur 3.28 c og d viser at brannen er voldsom. Etter brannen er cellen helt utbrent, figur 3.29 e.

Det ble gjort to forsøk med utladede celler. Resultatene fra det ene er angitt i figur 3.30.



Figur 3.30, oppvarming av helt utladet celle, ICR34600.

Temperaturen under cellen stiger jevnt med ca $4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ fram til 169.2°C , hvor den gjør et lite hopp til 170.3°C . Denne hendelsen skjer samtidig med fall i celledspenningen og observasjon av kortvarig ventilering på videoopptaket. Fra kurvene ser man en eksotermreaksjon som starter ved ca 170°C og gir en moderat varmeutvikling. Figur 3.31 viser cellen etter testing.



Figur 3.31, cellen etter testing, ICR34600.

3.8 Li – ion polymer kloss, HUGIN 1000 ver. 0

Hensikten med dette forsøket var å foreta en kontrollert oppvarming med $4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ til 250°C og holde temperaturen der i 60 minutter før eventuell videre oppvarming til 300°C . Klossen var fullt oppladet ved forsøkets start. Temperatursensorer ble plassert på følgende steder:

Under bunnen av klossen, isolert med litt glava og tape mot ovns bunn lå det et Pt100 samt et termoelement (K). I selve ovnen var det plassert 2 stk. termoelement (mantlet type K). I tillegg var det plassert et over ovnen også.

Ovnen var utvendig isolert og tomrommet i fordypningen rundt klossen var fylt med silikonolje. Klossen og ovnen hadde omgivelsestemperatur da forsøket startet fordi de hadde stått ute (under tak) i 16 timer før forsøket startet. Loggefrekvens for hver enkelt sensor var 5 Hz. Ved start var batterispenning $U_{c,0} = 4.1543 \text{ V}$. Termoelement i bunn av kloss T_{tel} viste 7.59°C , termoelement i ovnen $T_{\text{tel}} = 9.3^\circ\text{C}$ og termoelement for regulering av ovnen T_{tel} viste 16°C .

Hendelse	tidspunkt
Start logging	09:33
Start oppvarming	09:40
Start kamera	10:21
Ovn nådd 250°C	11:39
Start gassutvikling	10:53
Stopp gassutvikling	10:55
Stopp logging	12:16

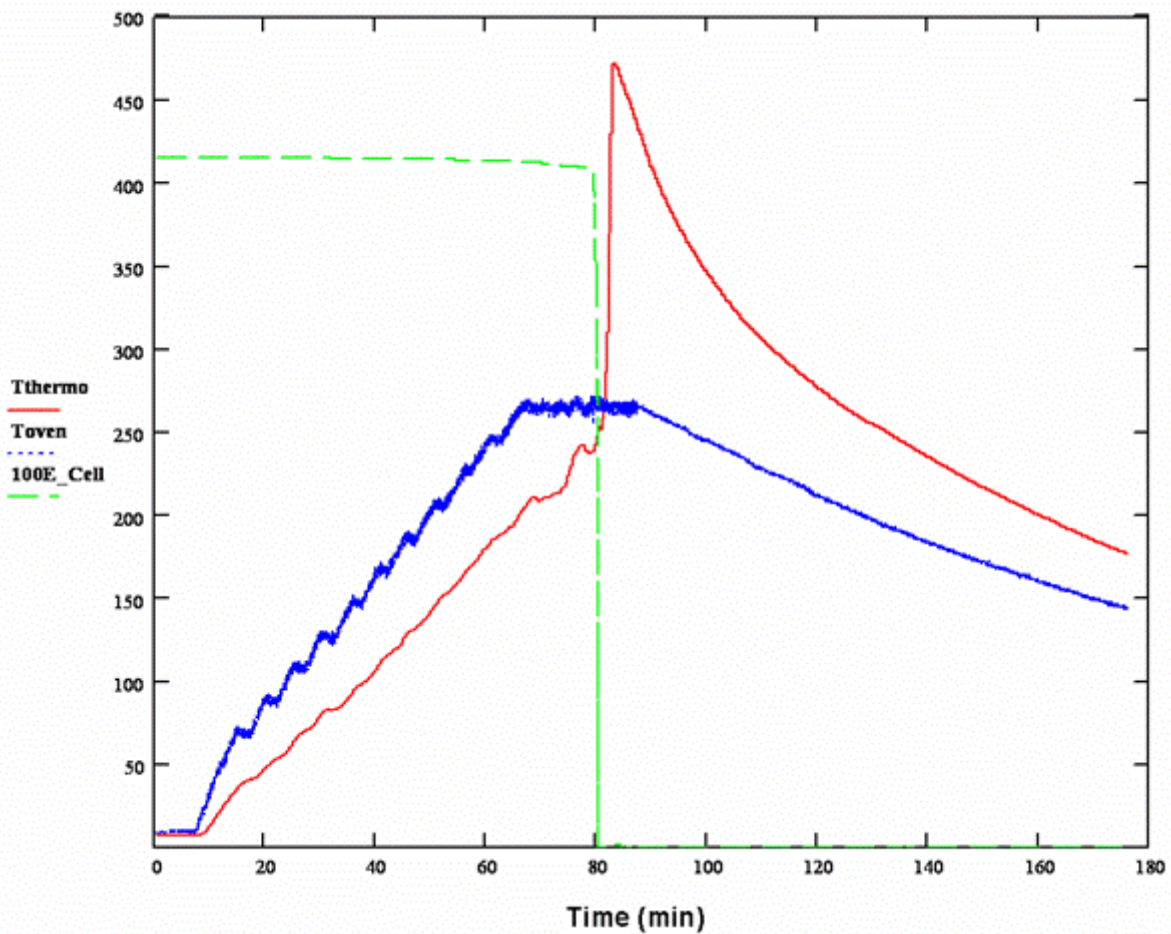
Tabell 3.1 hendelsesforløpet

Tabellen over viser hendelsesforløpet. Oppvarming til 250°C foregikk uten at noen hendelse inntraff. Ved 250°C (bestemt av ovns regulator) gikk det 14 minutter før fresing fra utviklet gass ble observert. Samtidig ble det registrert fall til 0 i spenningen og økning i temperaturavlesningene fra samtlige sensorer. Dersom man benytter starten av utslaget fra temperatursensorer over elementet som starttidspunkt for gassutviklingen ($t = 4771.8 \text{ s}$ fra start av logging) får man følgende avlesninger fra sensorene: Termoelement bunn: 239.1°C . Termoelement i ovn: 265.8°C .

Termoelementet under cellen viste en maksimaltemperatur på 472°C . Loggingen ble foretatt i 93 minutter etter at maksimaltemperatur ble nådd.

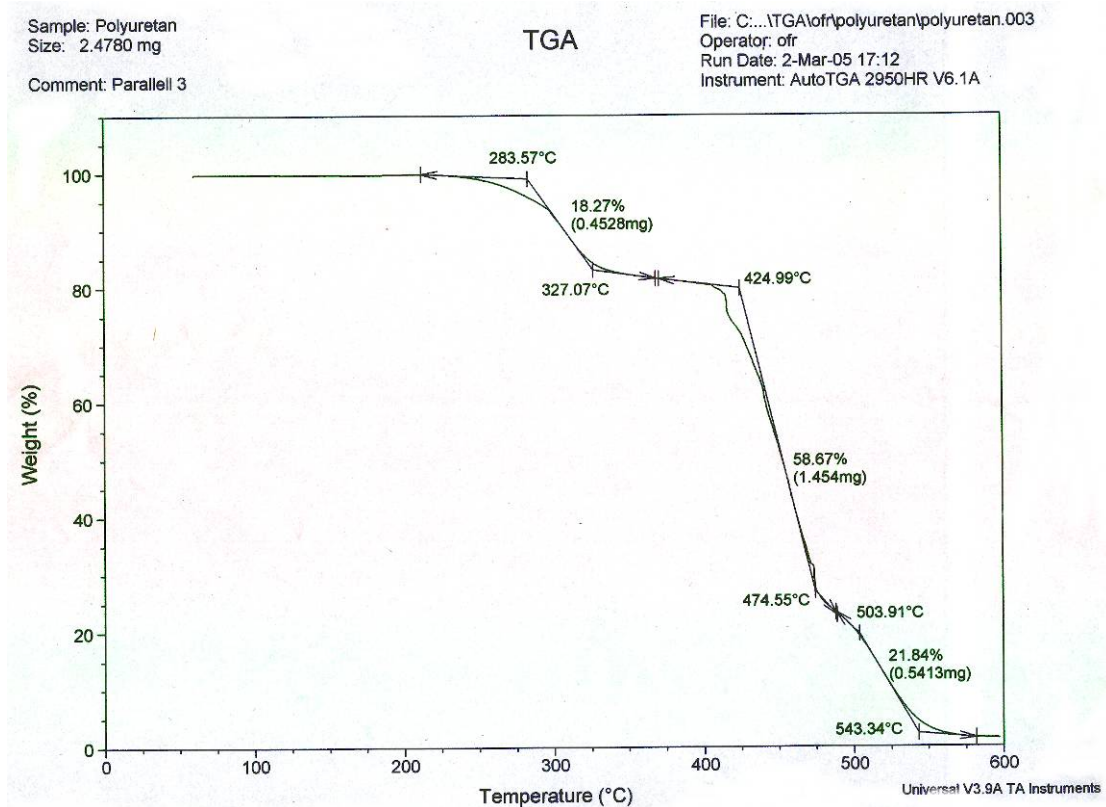
Gassutviklingens intensitet var noe ujevn og vanskelig å se på grunn av stor røykutvikling. Mye av røyken skyldes nok silikonoljen. Varigheten var ca 2 minutter. Det var ikke mulig å se ild, muligens pga for mye røyk, men det er ingen tvil om at gassutviklingen skjedde med høy varmeutvikling.

Temperaturforløp fra termoelement i ovn (blå) og under batteriet (rød), samt 100 x spenning (grønn) er gjengitt i figur 3.32.



Figur 3.32, temperaturforløp og cellespenning. T_{thermo} (rød) = temperatur under batteriet, T_{oven} (blå) = temperatur i ovnen, $100 E_{Cell}$ (lilla) = batterispennigx100.

Figur 3.33 viser vektendring (vekt%) som funksjon av temperatur for polyuretanen som brukes i batteriklossen. Mengde innveid prøve var 2.4780 mg og oppvarmingen foregikk i luft. Oppvarmingshastigheten var 10 °C pr minutt.

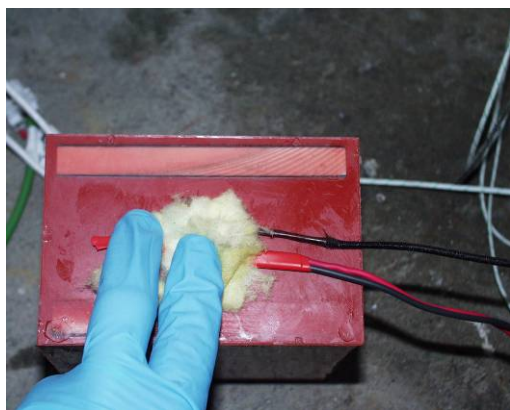


Figur 3.33, termogravimetrisk undersøkelse av støpemassen. 10 grader pr min, luft.

Fra figur 3.32 ser man at temperaturen målt med det ene termoelementet under batteriklossen flater ut rett under 300 °C. I tid knyttes dette sammen med observasjon av begynnende røykutvikling. Av celledspenningen ser man at batteriklossen fremdeles er intakt. Det vil si at røykutvikling skyldes oksidering/dekomponering av silikonoljen.

I henhold til databladet på støpemassen er "flash point" >326 °C, dvs at man må forvente fordampning/dekomponering omkring denne temperaturen. Fra figur 3.33 fremgår det at det første massetapet foregår i temperaturintervallet 200 – 327 °C. Det største massetapet er etter 280 °C. Temperaturmessig sammenfaller dette med at batteriklossen ventilerer. Bemerk at klossen ventilerer uten å brenne. Ved overladning tar elektrolytt dampen fyr rett etter at klossen har ventilert (3).

Figur 3.34 viser a) plassering av termoelement under batteriet b) batteriklossen på plass i ovnen med silikonolje rundt c) tatt 5 minutter etter at ventileringen har funnet sted.



a)



b)

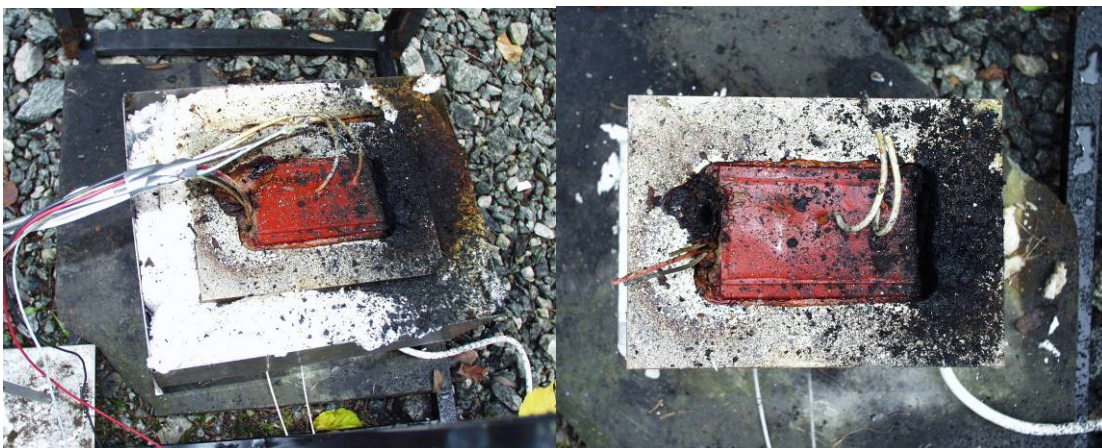


c)

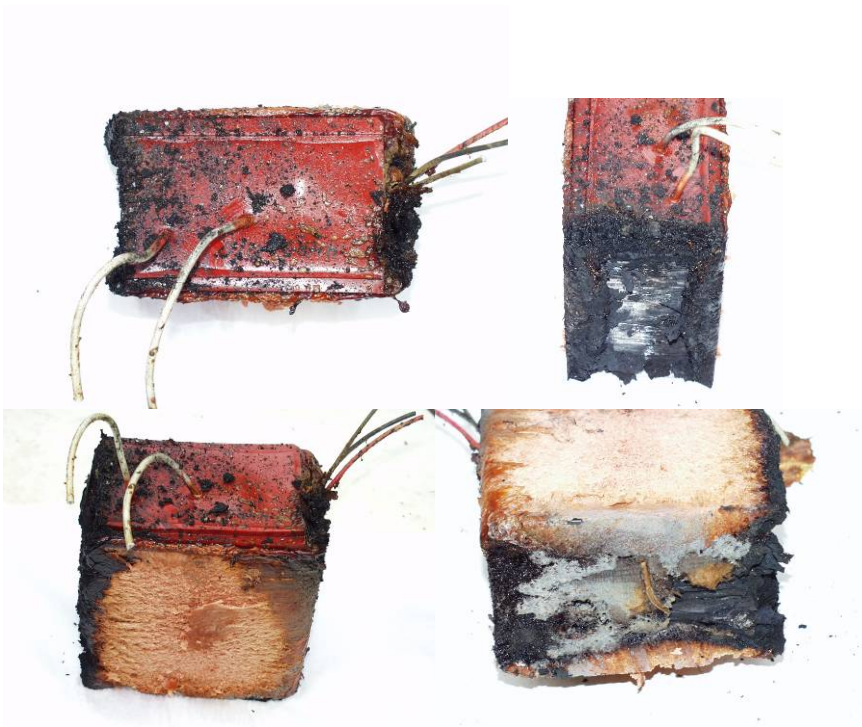
Figur 3.34 , a) plassering av termoelement under batteriet b) batteriklossen på plass i ovnen med silikonolje rundt c) tatt 5 minutter etter at ventileringen har funnet sted.

Figur 3.35 viser bilder av batteriklossen i ovnen retter at klossen var nedkjølt. Det fremgår at utblåsningen har kommet opp langs kortsidene.

Klossen ble så tatt opp av ovnen og fotografert. Det fremgår av figur 3.36 at klossen var mekanisk sett inntakt.



Figur 3.35. Bilder av batteriklossen i ovnen etter nedkjøling. Man ser at utblåsningen har kommet opp langs kortsidene.



Figur 3.36. Bilder av klossen etter testen. Topp, kortside, langside og bunn.

4 RESULTATENE I TABELLFORM

Tabell 4.1 oppsummerer resultatene fra dette arbeidet.

Celle/orientering i ovn	hendelse	Celleteperatur, °C
LiSOCl ₂ , SL 780, Sonnenschein,	eksplosjon	234

021203, -pol ned		
041203, -pol ned	eksplosjon	228
040303, -pol ned	eksplosjon	222
310304, -pol ned	eksplosjon	227
LiSOCl ₂ , LSH 20 SAFT 160304, -pol ned	ventilering brann	161 265
170304, -pol ned	ventilering	173
200304, -pol ned	ventilering brann	172 265
090207, -pol ned (SOC 50%)	Ventilering Brann	152/159 250
230307, -pol ned (SOC 50%)	Ventilering Brann	164.4 250
LiSOCl ₂ , LS 33600 SAFT 131106, -pol ned	ventilering	174
141106, -pol ned	ventilering	160
151106, -pol ned	ventilering	168
260207, -pol ned	Ventilering	180
LiSO ₂ Cl ₂ , CSC93, Electrochem 160204, -pol ned	ventilering brann	126 253
170204, -pol ned	ventilering brann	141 253
050404, -pol ned	ventilering brann	119 251
100504, -pol ned (SOC 50%)	ventilasjon m/brann	159
140504, -pol ned (SOC 50%)	ventilasjon m/brann	163
LiMnO ₂ , U3360H, Ultralife 180204, -pol ned	ventilering hopper ut	158
200204, + pol ned	ventilering brann	165 200
050304, + pol ned	ventilering brann	153 200
020404, + pol ned	ventilering brann	158 201
LiSO ₂ , LO26SX, SAFT 290304, + pol ned	ventilering hopper ut	121
190304, + pol ned	ventilering	121
180304, - pol ned	ventilering	133
070207, - pol ned (SOC 50%)	ventilering	Ikke avlesbart
210207, - pol ned (SOC 50%)	ventilering	130.7

Celle/orientering i ovn	hendelse	Celletemperatur, °C
Liion, ICR34600, AGM 091203, - pol ned	Ventilering brann	165 198
111203, - pol ned	Ventilering brann	165 200
060404, - pol ned	Ventilering brann	150 176
080207, -pol ned (SOC 0%)	Ventilering	199
220207, -pol ned (SOC 0%)	Ventilering	170.3
Li ion polymer kloss, HUGIN	Ventilering	239

061006		
--------	--	--

Tabell 4.1 oppsummering av resultatene.

5 KOMMENTARER OG OPPSUMMERING

5.1 Generelt

Alle hermetiske celler inneholder et gassfylt volum for å håndtere volumendringene ved cellereaksjonen og termisk utvidelse av celles komponenter. Typisk utgjør dette gassfylte volumet 5 til 10 % av cellens totale volum. Ved oppvarming av cellen stiger damptrykket over elektrolytten med økende temperatur.

Alle cellene har også en mulighet for en eller flere eksoterme reaksjoner mellom cellens komponenter. God design tilsier at cellen ventilerer kontrollert før eksoterme reaksjoner i cellen finner sted.

Ved ventilering forsvinner elektrolytten og dersom elektrolytten er oksidasjonsmiddelet (SO_2 , SOCl_2 og SO_2Cl_2) kan reaksjonen stoppe der.

For celler med faste katoder og celler der reaksjonsproduktene eller andre komponenter i cellen reagerer med litium må man forvente varmetvikling ved videre oppvarming i det smeltet litium kommer i kontakt med oksidasjonsmiddelet.

For litium ion batterier og litium mangandioksid batterier benyttes en organisk elektrolytt med et kokepunkt mellom 66 og 245 °C. Ved ventilering avgis denne som damp og dersom en tennkilde er til stede, vil dampen ta fyr. I batterier som består av flere celler kan brann i elektrolytten gi et betydelig bidrag til varmetviklingen. Etter at elektrolytten er fordampet, kan så ekstern oppvarming føre til en direkte omsetning av litium i Li/MnO₂ cellen med katodematerialet, MnO₂. MnO₂ kan også reagere med saltet, LiClO₄, i elektrolytten. Begge deler medfører ytterligere varmetvikling. For litium ion og litium polymerbatterier dekomponerer katodematerialet under avgivelse av oksygen (gjelder LiCoO₂, LiNiO₂ og i noen grad MnO₂). Oksygenet reagerer så med anodematerialet eller elektrolytten.

5.2 Li/SOCl₂, SL780, LSH20 og LS 33600

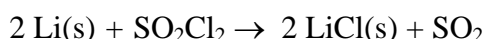
Cellen fra Sonnenschein, SL780, eksploderer mens cellen fra SAFT, LSH 20, ventilerer og brenner. LSH 20 cellen har sikkerhetsventil mens SL 780 har det ikke. Dette forklarer sannsynligvis hvorfor disse to cellene oppfører seg ulikt ved oppvarming selv om de har samme type kjemi. FFI utførte for ca 20 år siden tilsvarende tester på LSH celler (Se FFI/NOTAT-86/4041) og på Tadiran bobbin-celler med samme oppbygning som SL-780 (Se FFI/NOTAT-84/4028). Selv om fremgangsmåten for oppvarming var forskjellig er resultatene for bobbin-celler nesten identiske. LSH cellene er derimot blitt betydelig sikrere med henblikk på oppvarming av friske celler. LS 33600 kan virke enda sikrere. De tar ikke fyr ved en videre oppvarming til 350 °C.

5.3 Li/SO₂Cl₂, CSC93

Denne cellen, CSC93 fra Electrochem, ventilerer og brenner fredlig når den er som ny (100% SOC). Er den derimot halvutladet, er responsen på oppvarming en helt annen. Den ventilerer og brenner kraftig omtrent samtidig. I utgangspunktet virker det rart at en celle som inneholder mindre energi reagerer kraftigere på oppvarming.

Fra oppvarmingsforsøkene fremgår det at nye celler (100 %) ventilerer ved en lavere temperatur 129 °C (snitt av 3 forsøk) enn delvis utladede celler. For celler med 50 % SOC åpner sikkerhetsventilen ved 161 °C (snitt av 2 forsøk).

I henhold til K.M. Abraham (5) og A. Johnson (6) er bruttoreaksjonen for utladning følgende:



SO₂Cl₂ har et kokepunkt på 69.1 °C (4), Li smelter ved 180 °C mens LiCl har et smeltepunkt på 610 °C (4). Elektrolytten i en SO₂Cl₂ celle er tilsatt LiAlCl₄ som danner (5) et kompleks med SO₂. Komplekset vil befinne seg i væskeform eller som fast stoff under de forhold som testen her er utført. Videre inneholder en ubrukt celle ca 1 M Cl₂ løst i elektrolytten.

I henhold til A. Johnson ved Electrochem (6) medfører oppvarming av en ubrukt celle at elektrolytten ekspanderer til alt tilgjengelig volum er fylt opp. Glass til metall forseglingen ryker ved 1000-1200 psi (69-83 bar). Væske har generelt liten kompressibilitet slik at det hydrostatiske trykket blir avlastet i det øyeblikket forseglingen brytes. Dette medfører at cellen ventilerer rolig.

I det tilfellet hvor cellen er halvt utladet, vil trykket innvendig i cellen være proporsjonal med mengden SO₂ løst i SO₂Cl₂ løsningen. Gasser er mer kompressible enn væsker og cellen må varmes til en høyere temperatur for at trykket skal bli så høyt at forseglingen brister.

Vi tror ikke helt på denne forklaringen. Den innvendige tomrommet i cellen er for stort til at ekspansjon av elektrolytten skulle være så stor at forseglingen brytes. Videre undersøkelser for om mulig, å forklare våre observasjoner er planlagt gjort i forlengelsen av dette prosjektet.

5.4 Li/MnO₂ U3360H

Disse cellene fra Ultralife har et forløp ved oppvarming som forventet. Cellene ventilerer. Ved ytterligere oppvarming brenner de kraftig og utkast kan antenne brennbart materiale langt fra cellen. Varmeutviklingen kan skyldes reaksjon mellom MnO₂ og litium eller saltet i elektrolytten (litium perklorat). Det ser også ut fra våre målinger at cellen er utstyr med en "shut down" separator, noe som er i henhold til informasjon fra leverandøren.

5.5 Li/SO₂

Li/SO₂ cellene fra SAFT ventilerer. Ytterligere oppvarming medfører ingen brann selv om cellene (som alle andre i denne forsøksserien) ble varmet opp til godt over smeltepunktet til Li.

5.6 Li-ion

Cellene fra AGM ventilerer og ved videre oppvarming brenner de kraftig dersom SOC er 100 %. Celler hvor SOC var 0 % ventilerte bare. I henhold til databladet skal cellene ha sikkerhetsventil. I følge leverandøren skal cellene også ha en "shut down" separator. Ut i fra de målingene som er gjort i dette arbeidet kan det se slik ut, men for å få fastslått dette med sikkerhet må det gjøres flere målinger.

5.7 Li-ion polymer kloss HUGIN

Batteriklossen ventilerer ved oppvarming. Den er ikke utstyrt med noen sikkerhetsventil, men i kraft av sin konstruksjon åpner den i side eller bunn ved en moderat trykkoppbygging. Mekanisk sett er klossen stort sett intakt etter oppvarmingen.

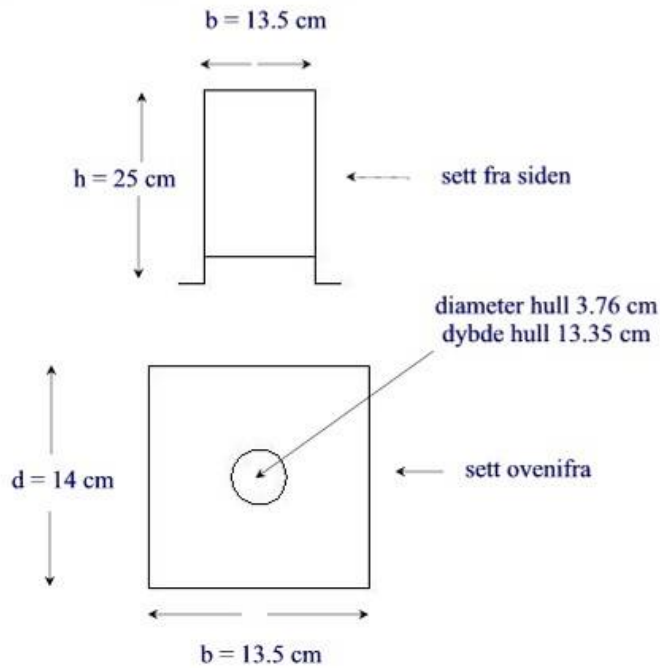
6 KONKLUSJON

Celler med sikkerhetsventil er å foretrekke. Det vil i de fleste tilfeller redusere skadeomfanget ved en varmebelastning. Med unntak av Li/SO₂ og Li/SOCl₂ fra SAFT samt Liion ICR34600 (AGM) dersom SOC er 0 %, brenner alle cellene, men forløpet av brannen varierer.

Cellen uten sikkerhetsventil, Li/SOCl₂ fra Sonnenschein, eksploderte.

A APPENDIKS 1

Ovn for oppvarming av D og DD celler

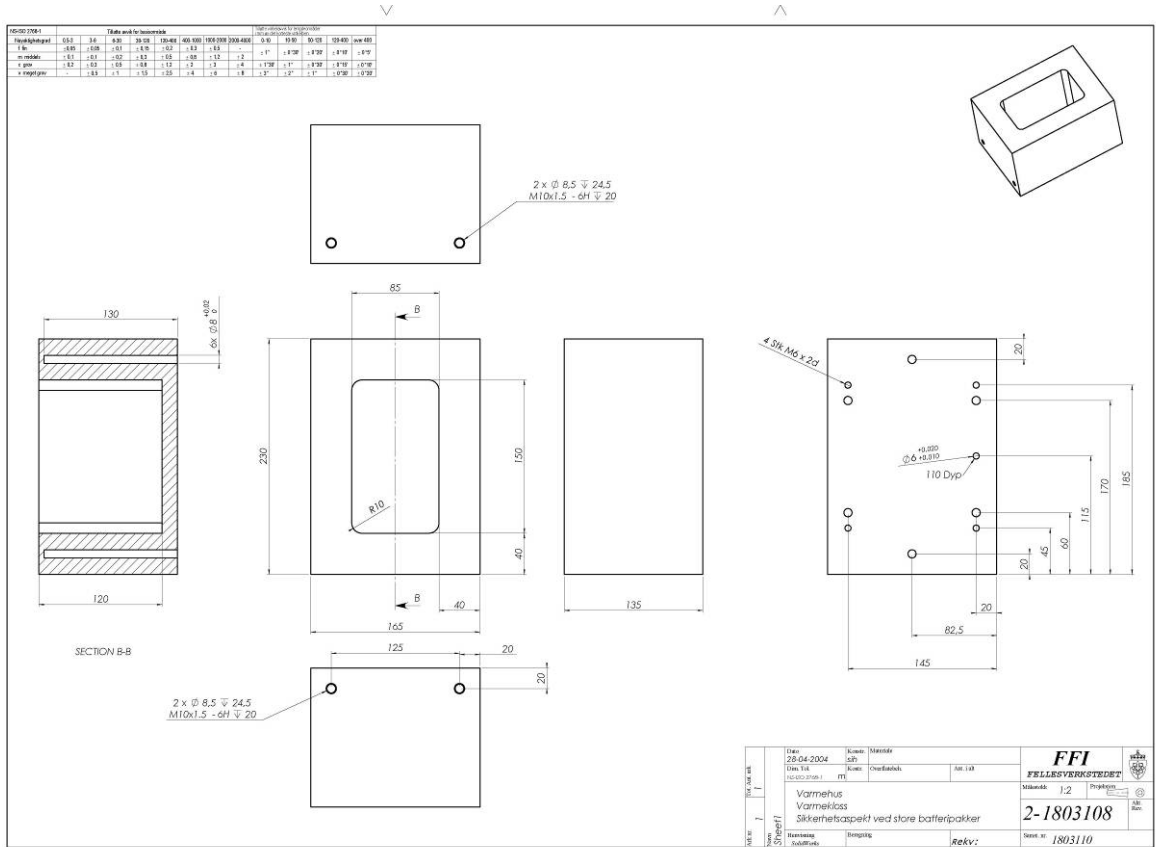


Ovnen bestod av en Al-sylinder var festet i en holder av rustfritt stål. De utvendige målene for ovnene er angitt på figuren over. Sylinderen hadde en aksial utsparring for D og DD celler med en diameter på 3.76 cm og dybde på 13.35 cm (som vist på tegningen).

Selve sylinderen hadde en diameter på 10 cm og en høyde på 15 cm. Ovnen ble varmet av 6 elementer hver på 195.5 W ved 230 V. Total effekt 1173 W.

B APPENDIKS 2

Ovn til oppvarming av FFIs batteriklosser



Ovnen var utrustet med 6 stk varmelementer a 250 W ved 230 V.

C APPENDIKS 3

Batteridatablader

Sonnenschein Lithium GmbH - Products - LTC-Batteries - SL-700 series - SL-780



English deutsch

- Home Page
- News
- Press articles
- Products
- Applications
- References
- Sales Network
- Company Profile
- Downloads
- Contact
- Imprint
- Sitemap
- Help & Tools

© by Sonnenschein-Lithium

You are here: [Home](#) >> [Products](#) >> [LTC-Batteries](#) >> [SL-700 series](#) >> [SL-780](#)

Type: SL-780

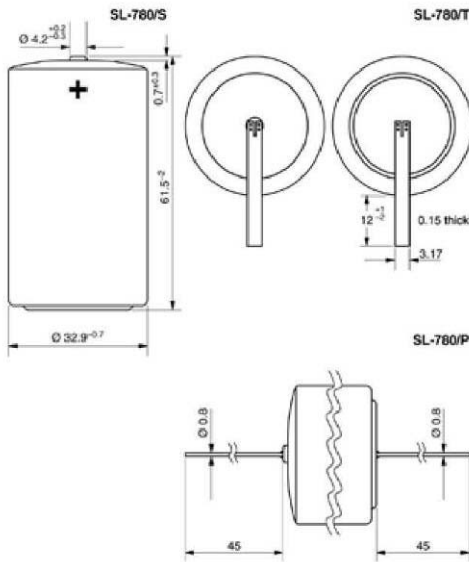
Performance Data

(Typical values for batteries stored at 25 °C for one year)

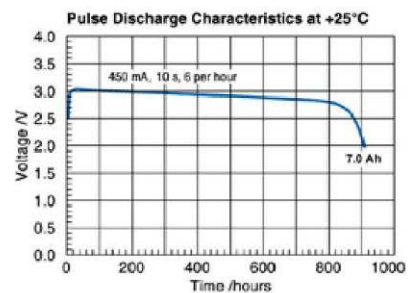
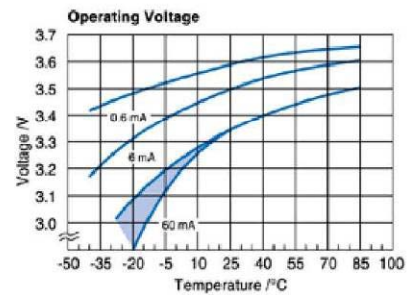
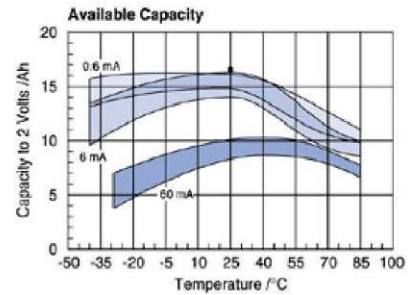
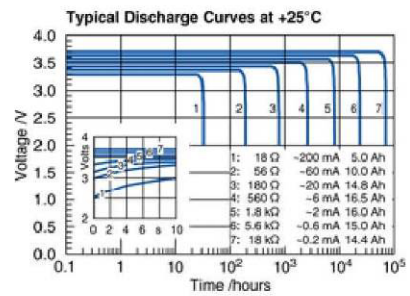
System	Li/SOCl ₂
Nominal voltage	3.6 V
Nominal capacity	16.5 Ah
Nominal current	6 mA
Max. continuous discharge current	200 mA
Pulse current capability	450 mA
Anode surface area	45 cm ²
Weight	92 g
Volume	51 cm ³
Temperature range -55 °C ...	+85 °C

Size D

[Download data sheet](#)



Available Terminations		Catalogue No.
SL-780/S	Standard	11 1 17801 00
SL-780/T	Tags	11 1 17802 00
SL-780/P	Pins	11 1 17803 00



**WARNING:**

Fire, explosion, and severe burn hazard.

Do not recharge, disassemble, heat above 100 °C, incinerate, or expose contents to water.

Any values given here are for informational purpose only. They also depend on actual conditions of use and are not warranties of future performance. Subject to change.

print  to top 

Primary lithium batteries

LSH 20

3.6V Primary lithium-thionyl chloride (Li-SOCl₂)
High power
D-size spiral cell

For high drain/high pulses applications requesting superior voltage response in -60°C/+85°C environments.



Key features

- + High and stable operating voltage
- + Superior drain capability
- + Low self-discharge rate
(less than 3% after 1 year of storage at +20°C)
- + Stainless steel container
- + Hermetic glass-to-metal sealing
- + Built-in safety vent
- + Finish with 5 A fuse
- + Non-flammable electrolyte
- + Underwriters Laboratories (UL) Component Recognition (File Number MH 12609)
- + Restricted for transport (Class 9)

Main applications

- + Radiocommunication and other military applications
- + Alarms and security systems
- + Beacons and emergency location transmitters
- + GPS
- + Metering systems
- + Sonobuoys
- + Tracking systems
- + GSM communication

etc...

NATO stock number
6135 14 440 1213

Cell size references

UM1 - R20 - D

Electrical characteristics

(typical values relative to cells stored for one year or less at +20°C max.)

Nominal capacity (at 15 mA + 20°C, 2.0V cut off. The capacity restored by the cell varies according to current drain, temperature and cut off).	13.0 Ah
Open circuit voltage (at +20°C)	3.67V
Nominal voltage (at 2 mA + 20°C)	3.6V

Pulse capability: Typically up to 4000 mA (4000 mA/0.1 second pulse, drained every 2 min at +20°C from undischarged cells with 10 µA base current, yield voltage readings above 3.0V. The readings may vary according to the pulse characteristics, the temperature, and the cell's previous history. Fitting the cell with a capacitor may be recommended in severe conditions. Consult Saft.)

Maximum recommended continuous current (to maintain cell heating within safe limits)	1900 mA
---	---------

Storage <i>(recommended)</i> <i>(for more severe conditions, consult Saft)</i>	+30°C (+86°F) max.
--	--------------------

Operating temperature range <i>(Operation above ambient T may lead to reduced capacity and lower voltage readings at the beginning of pulses. Operation with current continuously above 1 A may restrict upper T range. Consult Saft)</i>	-60°C/+85°C (-76°F/+185°F)
--	-------------------------------

Physical characteristics

Diameter (max)	33.4 mm (1.32 in)
Height (max)	61.6 mm (2.42 in)
Typical weight	100 g (3.5 oz)
Li metal content	approx. 4.0 g

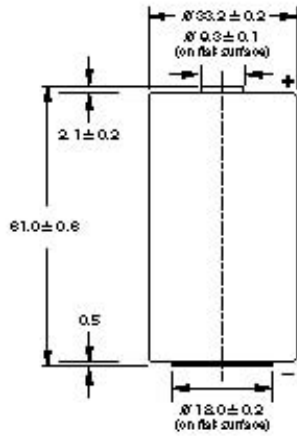
Available termination suffix:

CN, CNR
CNA (AX)
FL

radial tabs
axial leads
flying leads...etc.



LSH 20



Dimensions in mm.

Storage

- The storage area should be clean, cool (not exceeding +30°C), dry and ventilated.

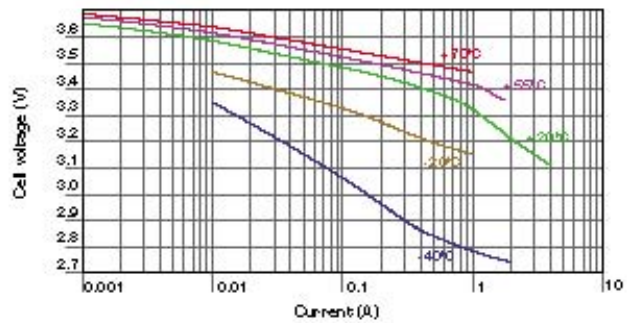
Warning

- Fire, explosion and severe burn hazard.
- Do not recharge, short circuit, crush, disassemble, heat above 100°C (212°F), incinerate, or expose contents to water.
- Do not solder directly to the cell.

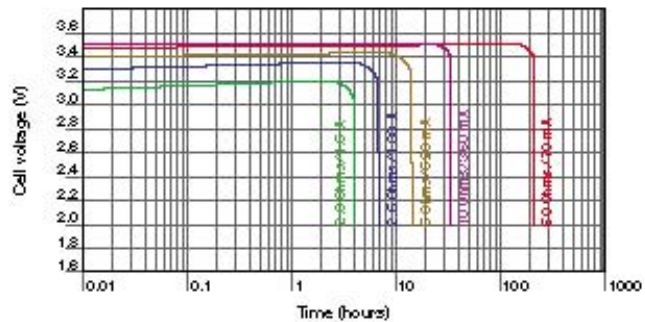
Saft

12, rue Sadi Carnot
93170 Bagnolet - France
Tel +33 1 49 93 19 18
Fax +33 1 49 93 19 69

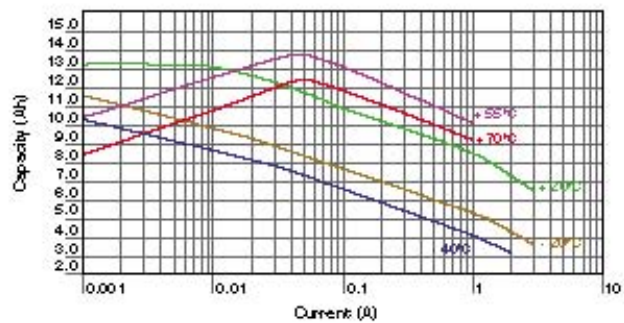
www.saftbatteries.com



Voltage plateau versus Current and Temperature (at mid-discharge)



Typical discharge profiles at +20°C



Restored Capacity versus Current and Temperature (2.0V cut off)

Doc. N° 310152-0004
Published by the Communications Department

Information in this document is subject to change without notice and becomes contractual only after written confirmation by Saft. For more details on primary lithium technologies please refer to Primary Lithium Batteries Selector Guide Doc N° 31048-20604. Photo credit: Saft. Produced by Arthur Assolibat.

Société anonyme au capital de 31 044 000€
RCS Boulogne B 385 705 8 78





a division of Greatbatch Ltd.
 9645 Wehrle Drive Clarence, NY 14031
 Tel: (716) 759-5800 Fax: (716) 759-2562
www.electrochempower.com

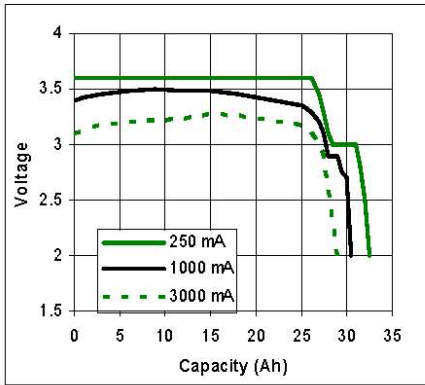
- **Lithium / Sulfuryl Chloride Chemistry**
- **Custom cell terminations and battery packs available**

Temperature Range	
°C	°F
200	392
190	374
180	356
170	338
160	320
150	302
140	284
130	266
120	248
110	230
100	212
90	194
80	176
70	158
60	140
50	122
40	104
30	86
20	68
10	50
0	32
-10	14
-20	-4
-30	-22
-40	-40
-50	-58
-60	-76

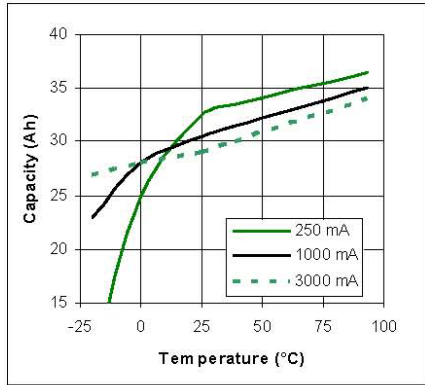
CELL SPECIFICATIONS:	
Open Circuit Voltage (25°C)	3.9 V
Rated Capacity	30 Ah
Rated Discharge Current	1.0 A
Maximum continuous current	4.0 A
Cell Diameter	33.5 mm (1.32 in.)
Cell Length	111.4 mm (4.39 in.)
Cell Weight	213 g
Lithium weight	10.2 g
Safety Fuse	7.0 A
Self Discharge	3% per year at 25°C
Operating temperature	-20°C to +93°C (-4°F to +200°F)

CSC93 - High Performance Lithium Cell Size DD

25°C discharge



Capacity as a function of current and temperature



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL: Proprietary information is contained herein. It is not to be used, reproduced, or disclosed to others without prior written consent by GREATBATCH LTD.

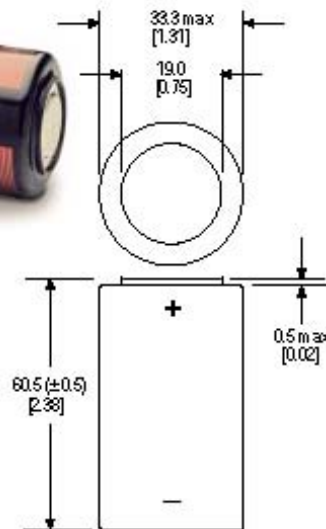
Rev: July 2005

ULTRALIFE
BATTERIES INC.

TECHNICAL DATA



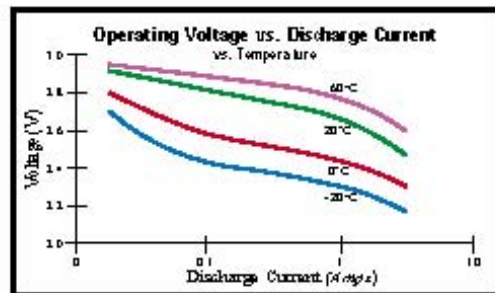
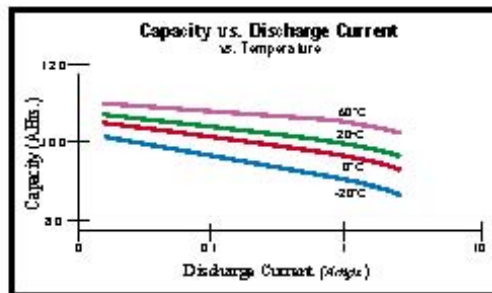
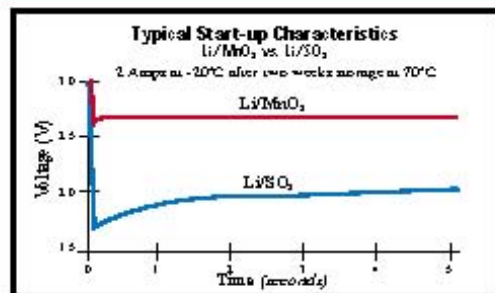
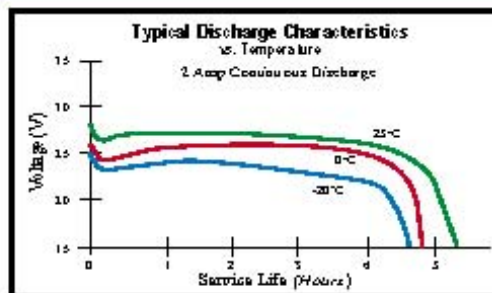
Dimensions
in mm
(inches)



U3360H 3V Size Cell

System:	Non-Rechargeable Lithium/Manganese Dioxide
Designation:	D size Primary Cell, High Rate
Nominal Voltage:	3.0 Volts
Capacity (C):	11 AHrs @ 200 mA to 2V @ 23°C
Max. Discharge:	3.0 Amps Continuous
Weight:	117 grams max.
Oper. Temp. Range:	-40° to 72°C
Storage Temp. Range:	-55° to 80°C
Volume:	52 cm ³
Terminals:	Flat End Caps; Tabs Available
Housing:	Stainless Steel with Laser Welded Hermetic Seal and Insulating Label
Notes:	High pulse currents and higher continuous currents can be achieved. Contact Ultralife Batteries, Inc. for details.
Transportation:	Class 9

For a complete description of transportation regulations and definitions of the transportation classifications "Excepted" and Class 9," refer to Ultralife's web site at:
http://www.ulbi.com/whitepapers/Ultralife_Batteries_Lithium_Battery_Transportation_Regulations.pdf



Newark, NY • 1-315-332-7100 • Fax 1-315-331-7800 / Abingdon, England • +44 (0)1235 542600 • Fax +44 (0)1235 535766
©2003 Ultralife Batteries, Inc. www.ultralifebatteries.com • All specifications subject to change without notice •
The information contained herein is for reference only and does not constitute a warranty of performance • Apr 01 '03 • UBI-3012 rev. B

Primary lithium batteries LO 26 SX

3.0 V Primary lithium-sulfur dioxide (Li-SO₂)
High drain capability
D-size spiral cell



Benefits

- High and stable discharge voltage
- High pulse capability
- Performance not affected by cell orientation
- Long storage possible before use
- Ability to withstand extreme temperature

Key features

- Low self-discharge rate
(less than 3% after 1 year of storage at +20°C)
- Hermetic glass-to-metal sealing
- Built-in safety vent
(at the negative end of the cell)
- Restricted for transport *(class 9)*
- UL Component Recognition
(File Number MH 15076)
- Meets shock, vibration and other environmental requirements of military specifications
- Made in the USA

Main applications

- Radiocommunications and other military applications
- Beacons and Emergency Location Transmitters
- Sonobuoys
- Missiles

Cell size reference

R20 - D

Electrical characteristics

(typical values for cells stored for one year or less)

Nominal capacity 7.75 Ah
(at 0.25 A +20°C 2.0 V cut off. The capacity restored by the cell varies according to current drain, temperature and cut off)

Open circuit voltage (at +20°C) 3.0 V

Nominal voltage (at 0.5 A +20°C) 2.8 V

Maximum recommended continuous current 2.5 A
(to avoid over-heating. Higher currents possible, consult Saft)

Pulse capability : Typically up to 5 A.

(The voltage readings may vary according to the pulse characteristics, the temperature, and the cell's previous history. Fitting the cell with a capacitor may be recommended in severe conditions. Consult Saft)

Storage *(recommended)* +30°C (+86°F) max
(possible without leakage) -60°C/+85°C
(-76°F/+185°F)

Operating temperature range -60°C/+70°C
(Short excursions up to +85°C possible at currents below 1 A)
(-76°F/+158°F)

Physical characteristics

Diameter *(max)* 34.2 mm (1.345 in)

Height *(max; finish without radial tabs)* 59.3 mm (2.33 in)

Typical weight 85 g (3 oz)

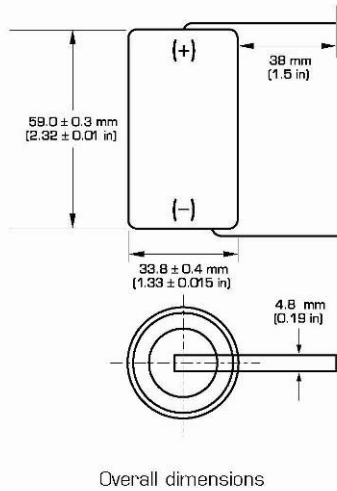
Li metal content 2.4 g

Standard cell comes with resin potting in the topshell area and two radial 0.15 mm - thick nickel tabs

Different configurations available on request.



LO 26 SX



Handling precautions

- Cell is pressurised.
- Do not puncture, open or mutilate.
- Do not obstruct the safety vent mechanism.
- Do not short circuit or charge.
- Do not expose to fire or temperatures above +70°C (+158°F).

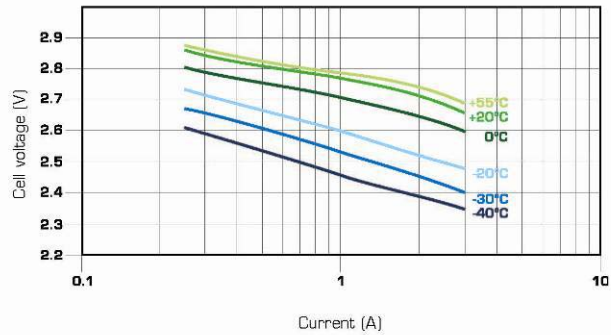
Saft

Specialty Battery Group

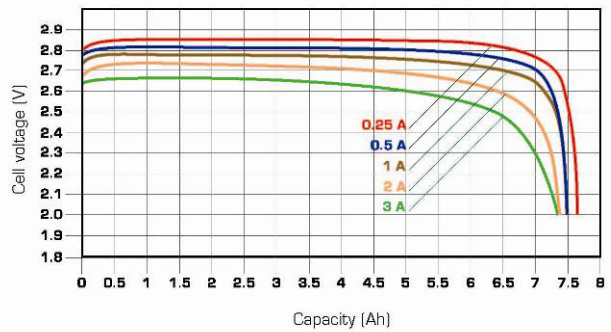
12, rue Sadi Carnot
93170 Bagnolet - France
Tel +33 (0)1 49 93 19 18
Fax +33 (0)1 49 93 19 69

313, Crescent Street,
Valdese NC 28690 - USA
Tel +1 (828) 874 41 11
Fax +1 (828) 879 39 81

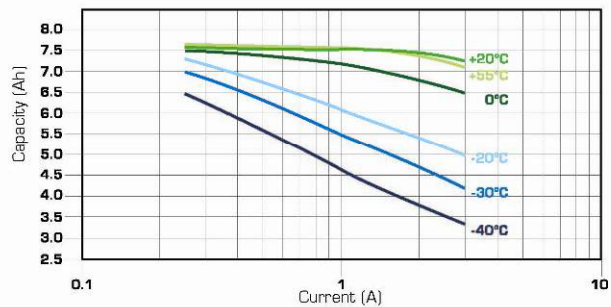
www.saftbatteries.com



Voltage at mid-discharge versus Current and Temperature (2.0 V cut off)



Typical discharge profiles at +20°C



Capacity versus Current and Temperature (continuous discharges - 2.0 V cut off)

Doc. N° 31033-2-1005

Information in this document is subject to change without notice and becomes contractual only after written confirmation by Saft.

For more details on primary lithium technologies please refer to Primary Lithium Batteries Selector Guide Doc N° 31048-2.

Published by the Communications Department.

Photo credit: Saft.

Société anonyme au capital de 31 944 000€

RCS Bobigny B 383 703 873

Produced by Arthur Associates.





AGM Batteries Ltd

Product data

ICR34600 Li-ion Cell

Electrical Characteristics

Nominal Voltage	3.6V
Rated Capacity	5.2Ah

Physical Characteristics

Height	60.3 ±0.2mm
Diameter	33.9 ±0.1mm
Weight (nominal)	138g

Operating Conditions

Discharge Temperature Range	-40°C to +70°C
Max. Continuous Discharge Current	10 Amps
End (of discharge) Voltage	2.5V
Charging Method	Constant current followed by constant voltage
Charge Temperature Range	0°C to +50°C
End (of charge) Voltage	4.2V ±0.05V

Consult AGM for operation outside the above parameters

Safety Testing

The ICR34600 has undergone extensive safety testing in hostile environments to ensure it meets stringent requirements set by the IEC specification (IEC 61960 Pt1).

Continuous Charge
Shock
Vibration
High Temperature Storage
Thermal Shock
Altitude Simulation

Abuse Testing

AGM products have been tested in accordance with severe abuse conditions, laid out in the IEC specification (IEC 61960 Pt1), to ensure rigorous standards of safety and security for the user.

Short-circuit
Forced Discharge
Overcharge*
Internal Short-circuit
High Rate Charge
Free Fall

*Tested with integral protection

Transportation Testing

The ICR34600 has been tested and conforms to the requirements of the UN Recommendations on the Transport of Dangerous Goods, Manual of Tests and Criteria (ST/SG/AC.10/11/Rev.3 Amendment 1) as applicable from 1st January 2003. The cell may therefore be shipped by any commercial method of transport.

Refer to AGM for guidance on battery pack regulations

At our state-of-the-art factory in Thurso we design, develop and manufacture specialist lithium-ion cells. Our expertise in this field ensures that our products provide the ultimate in performance, reliability and operational efficiency in the harshest of operating environments.



Call +44 (0)1847 808060 for further information
on the complete range of products and services
from AGM Batteries Ltd

AGM Batteries Limited
reserve the right to modify
data in this publication
without prior notice



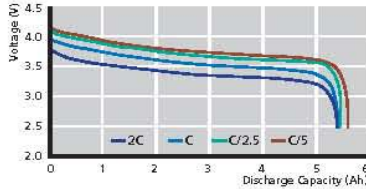
ICR34600 Li-ion Cell

Cell Performance Characteristics

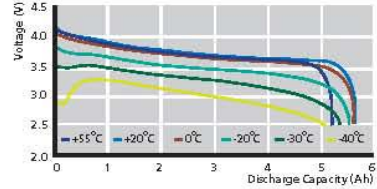
Product Benefits:

- **High energy density**
up to three times that of NiCd cells
- **High running voltage**
replaces three NiCd or NiMH cells
- **Excellent low temperature performance**
will operate down to -40°C and below
- **Simple charging methods**
combination of constant current and constant voltage
- **No memory effect**
unlike NiCd cells no need for conditioning cycles after shallow discharge
- **Proven cycle life**
extended cycle life throughout operational environment
- **Environmentally friendly**
contains no cadmium or lead

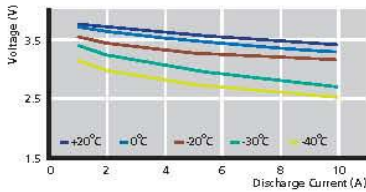
Discharge capacity vs current drain Discharge at +20°C



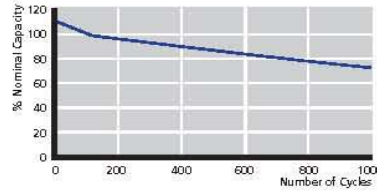
Discharge capacity vs temperature Discharge at C/2.5 rate



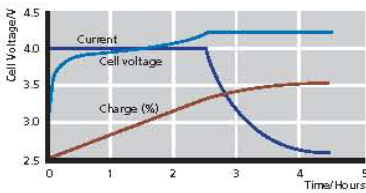
Voltage vs current and temperature Average discharge voltage



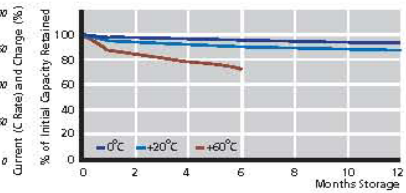
Cycle life* Discharge at C/2.5 rate at +20°C charge at C/3 rate



Charging method: CCCV Charging



Charge retention Discharge at C/2.5 rate



Contact:

AGM Sales Office
AGM Batteries Ltd
Denchi House
Thurso Business Park
Thurso
Caithness KW14 7XW

Tel: +44 (0)1847 808060
Fax: +44 (0)1847 808080
Email: batsys.thurso@aeat.co.uk
Web: www.agmbatteries.com

*Cycle life will vary with charge rate, discharge rate, depth of discharge and operating temperature, consult AGM for details.

Issue: 0702/1



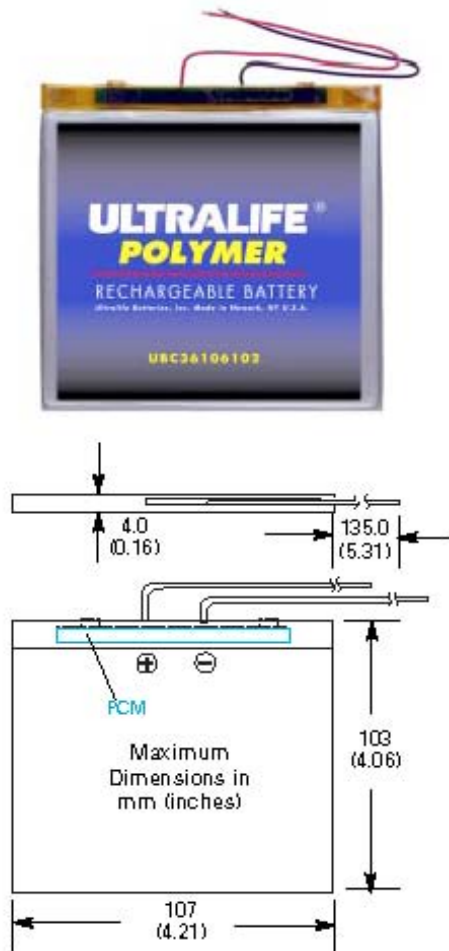
GS JAPAN STORAGE BATTERY CO., LTD. MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION

AGM Batteries Limited is a joint venture company between AEA Technology plc, Japan Storage Battery Co., Limited and Mitsubishi Materials Corporation



TECHNICAL DATA

Polymer Rechargeable System



UBC36106102/PCM

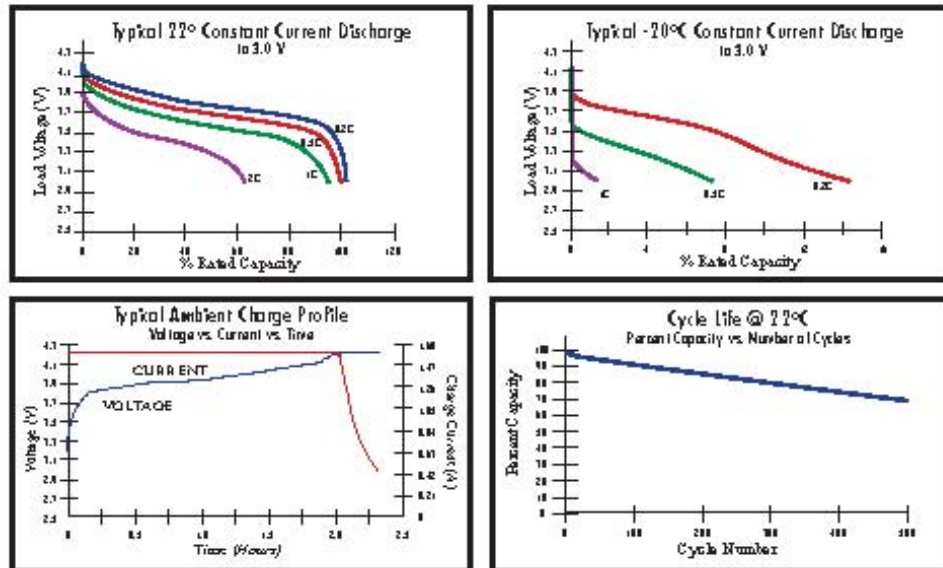
System:	Polymer Rechargeable
Part No.:	UBC011
Voltage Range:	4.2 to 3.0 Volts
Average Voltage:	3.7 Volts
Nominal Capacity:	3.3 Ah @ C/5 Rate @ 23°C
Max. Discharge:	2.5 A Continuous
Energy:	12.2 Wh
Energy Density:	145 Wh/kg 277 Wh/L
Weight:	85 grams
Cycle Life:	>300 Cycles @C/5 to 80% of initial capacity
Memory:	No Memory Effect
Operating Temp.:	0°C to 45°C (Charging) -20°C to 60°C (Discharging)
Storage Temp.:	-20°C to 45°C
Self Discharge:	<10% Per Month
Terminals:	22 AWG Wire Red (+), Black (-)
Transportation:	Exempted From Regulations Ⓢ see reverse for further details
Jacket:	Laminated Foil

PROTECTION CIRCUIT MODULE (PCM)

Over Voltage limit:	4.275 +/- 0.03 volts
Under voltage limit:	2.3 ± 0.08V
Maximum Current:	2.5 A @ RT
Wire Gauge:	22 AWG

CHARGING: Maximum charge rate at C/2 to 4.20 in a temperature range of 0-45°C. Hold at 4.20V until current declines to C/10. Refer also to Safety Guide UBE-5112.

UBC36106102 Performance Characteristics



- Lithium polymer's thin, flat form factor accommodates tomorrow's thin application design requirements
- High energy density reduces weight without sacrificing performance
- Non-liquid electrolyte construction
- Discharge load characteristics, low-temperature and cycle performance similar to conventional Lithium Ion batteries based on liquid electrolytes

(1) For a complete description of transportation regulations and definitions of the transportation classifications 'Excepted' and 'Class 9,' refer to Ultralife's web site at:

http://www.ulbi.com/whitepapers/Ultralife_Batteries_Lithium_Battery_Transportation_Regulations.pdf



Newark, NY • 1-315-332-7100 • Fax 1-315-331-7800 / Abingdon, England • +44 (0) 1235 542600 • Fax +44 (0) 1235 535766
 © 2004 Ultralife Batteries, Inc. www.ultralifebatteries.com • All specifications subject to change without notice
 The information contained herein is for reference only and does not constitute a warranty of performance

Primary lithium battery

LS 33600

3.6 V Primary lithium-thionyl chloride (Li-SOCl₂)
High energy
D-size bobbin cell



Benefits

- High voltage response, stable during most of the lifetime of the application
- Wide operating temperature range (-60°C/85°C)
- Easy integration in compact system
- Low self-discharge rate (less than 3% after 1 year of storage at +20°C)

Key features

- Stainless steel container
- Hermetic glass-to-metal sealing
- Built-in safety vent
- Finish with or without flat positive end
- Non-flammable electrolyte
- Compliant with IEC 86-4 safety standard and EN 50020 intrinsic safety standard
- Underwriters Laboratories (UL) Component Recognition (File Number MH 12609)
- Restricted for transport (Class 9)

Main applications

- Utility metering
- Automatic meter readers
- Buoys
- Measuring equipment
- Industrial applications
- Professional electronics
- Marine equipment

Optional upon request

- Low magnetic version

Cell size references

UM1 – R20 – D

Electrical characteristics

(typical values relative to cells stored for one year or less at +30°C max.)

Nominal capacity 17.0 Ah

(at 5 mA +20°C 2.0 V cut off. The capacity restored by the cell varies according to current drain, temperature and cut off)

Open circuit voltage (at +20°C) 3.67 V

Nominal voltage (at 0.7 mA +20°C) 3.6 V

Pulse capability: Typically up to 400 mA

(400 mA/0.1 second pulses, drained every 2 mn at +20°C from undischarged cells with 10 µA base current, yield voltage readings above 3.0 V. The readings may vary according to the pulse characteristics, the temperature, and the cell's previous history. Fitting the cell with a capacitor may be recommended in severe conditions. Consult Saft)

Continuous current permitting 50% of the nominal capacity to be achieved at +20°C with 2.0 V cut off. 250 mA
(to maintain cell heating within safe limits. Battery packs may imply lower level of maximum current and may request specific thermal protection. Consult Saft)

Storage *(recommended)* +30°C (+86°F) max
(for more severe conditions, consult Saft)

Operating temperature range -60°C/+85°C
(Operation above ambient T may lead to reduced capacity and lower voltage readings at the beginning of pulses. Consult Saft)

Physical characteristics

Diameter (max) 33.4 mm (1.32 in)

Height (max) 60.2 or 61.6 mm
(2.37 in or 2.42 in)
depending on finish type

Typical weight 90 g (3.2 oz)

Li metal content approx. 4.5 g

Available termination suffix

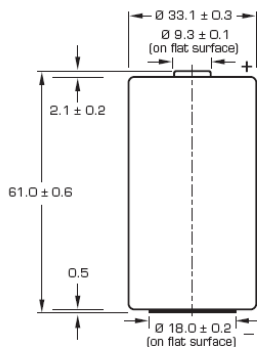
CN, CNR
CNA (AX)
FL

radial tabs
axial leads
flying leads... etc.

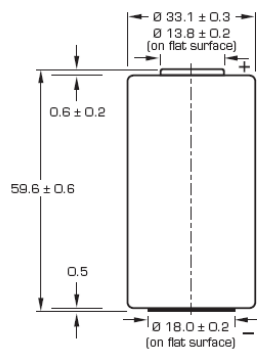
November 2006



LS 33600



Finished version with protruding positive end cap



Finished version with flat positive end cap

Dimensions in mm.

Storage

- The storage area should be clean, cool (preferably not exceeding +30°C), dry and ventilated.

Warning

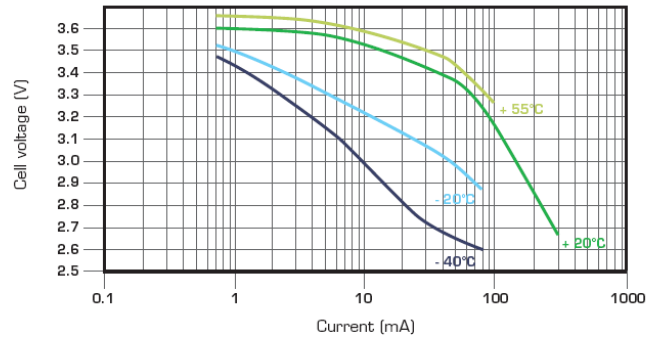
- Fire, explosion and burn hazard.
- Do not recharge, short circuit, crush, disassemble, heat above 100°C (212°F), incinerate, or expose contents to water.
- Do not solder directly to the cell (use tabbed cell versions instead).

Saft

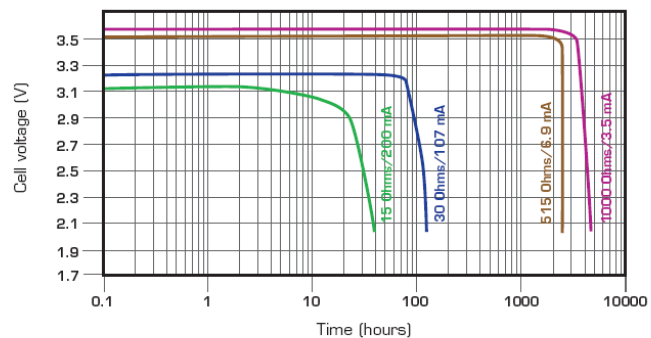
Specialty Battery Group

12, rue Sadi Carnot
93170 Bagnole - France
Tel +33 (0)1 49 93 19 18
Fax +33 (0)1 49 93 19 69

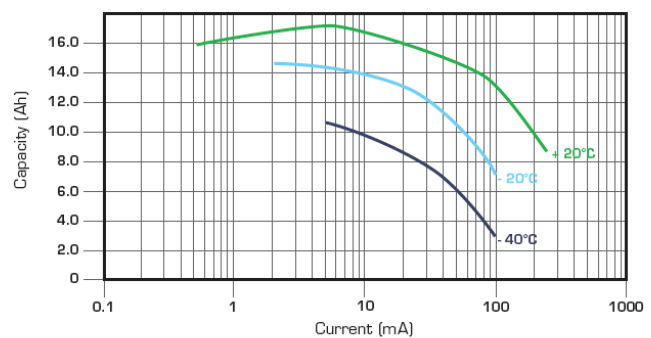
www.saftbatteries.com



Voltage plateau versus Current and Temperature (at mid-discharge)



Typical discharge profiles at +20°C



Restored Capacity versus Current and Temperature (2.0 V cut off)

Doc. N° 31007-2-1106

Information in this document is subject to change without notice and becomes contractual only after written confirmation by Saft.

For more details on primary lithium technologies please refer to Primary Lithium Batteries Selector Guide Doc N° 31048-2.

Published by the Communications Department.

Photo credit: Saft

Société anonyme au capital de 31 944 000 €

RCS Bobigny B 383 703 873

Produced by Arthur Associates



Litteratur

- 1) Ø Hasvold, S Forseth, T Johannessen, T Lian, "Safety aspects of large lithium batteries" FFI/Rapport-2007/01666
- 2) AGM, Product Manual: Lithium-ion Cells Battery Design Guide, November 2003
- 3) S Forseth, O Mollestad, Ø Hasvold, "Ladning av litiumbatterier" FFI/NOTAT-2006/02464
- 4) SI chemical data, G.H. Aylward, T.J.V. Findley, 1978, pub. John Wiley & Sons
- 5) K.M. Abraham, "Chemical and electrochemical processes in some lithium-liquid cathode batteries", J. of Power Sources 34(2) (1991), p. 81
- 6) A. Johnson, Electrochem, private communication