



FFI-rapport 2015/02397

# Sakkyndigrapport etter inspeksjon av et nikkel- metallhydridbatteri som hadde vært årsak til en brann



Jon Øistein Hasvold





## **Sakkyndigrapport etter inspeksjon av et nikkel metallhydridbatteri som hadde vært årsak til en brann**

Jon Øistein Hasvold

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI)

5. februar 2016

FFI-rapport

508301

P: ISBN 978-82-464-2668-6

E: ISBN 978-82-464-2669-3

## **Emneord**

Nikkelmetallhydrid

Metallhydrid

Batterilading

Brann- og brannskader

Brannfare

## **Godkjent av**

Nils Størkersen

Forskningsjef

Elling Tveit

Avdelingssjef

## Sammendrag

FFI ble anmodet av IF forsikring ved Reidar Skrunes om å bidra til at årsaken til at en Apollo undervannsscooter brant opp under lading av batteriet ble avklart. Batteriet var bygget opp av 20 stk. NEXcell DD celler. Det ble sendt til FFI og inspisert i nærvær av importøren av scooteren (DACON AS, ved Tor Gundersen), IF og personell fra FFI.

Lading av nikkelmetallbatterier termineres vanligvis ved at man måler en temperaturstigning på batteriet. I dette tilfellet fungerte ikke det, enten fordi temperatursensoren i batteriet feilet eller fordi kretsen i laderen som leser temperaturen ikke fungerte. Laderen ble ikke kontrollert av FFI.

Overlading av et nikkelmetallhydridbatteri skal normalt bare føre til at batteriet blir ødelagt ved at cellene tørker ut og/eller kortslutter, men i dette tilfellet blåste en celle ut slik at innholdet ble eksponert mot luft. Kannen ble funnet i garasjedøren og var tom.

I følge Energizer (som lager tilsvarende celler) er oppladet metallhydrid pyrofort, dvs. tenner spontant i nærvær av luft.

## English summary

Norwegian Defence Research Establishment (FFI) has been working on battery safety for many decades. Reidar Skrunes from IF Insurance asked if FFI could assist on a fire investigation where a battery in an Apollo DPV (underwater scooter) was suspected to be the cause of the fire. (DPV = Diver Propulsion Vehicle). The battery (24 V/20 Ah) was composed of 20 DD nickel metal hydride cells. The battery was sent to FFI and inspected in presence of the importer of the DPV, DACON AS and IF insurance.

End of charge of nickel metal hydride batteries is commonly determined by an increase in cell temperature. The temperature increase is used to turn off the charger. In this case, the charging was not terminated; either because the temperature sensor did not work or the circuit in the charger measuring the temperature did not work. FFI did not analyze the charger.

Normally, overcharge of NiMH only results in destruction of the battery cells from venting of gas, drying out of the electrolyte and internal short. In this case however, one cell vented violently. The cell can was found in the garage door and was empty.

According to Energizer which makes similar cells, charged metal hydride burns spontaneously if brought into contact with air.

## **Innhold**

<b>1</b>	<b>Bakgrunn</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Beskrivelse av NiMH batteriet</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Beskrivelse av nikkellmetallhybrid cellen</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Sannsynlig årsakssammenheng</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>12</b>
	<b>Vedlegg A</b>	<b>13</b>





## 1 Bakgrunn

Et utbrent nikkel metallhydridbatteri ble sendt fra Finnsnes lensmannskontor til FFI for inspeksjon etter anmodning av Reidar Skrunes fra IF skadeforsikring. Batteriet var blitt benyttet i en Apollo undervannsscooter av type AV2 og sto i scooteren under lading. Batteri og scooter ble totalødelagt, videre fikk garasjen røykskader.

Batteriet ble satt til lading ca. kl. 20.00 og brannen ble oppdaget ca. kl. 00:11. Dvs. at batteriet hadde stått ca. 4 timer under lading.

Tilstede ved inspeksjonen var Reidar Skrunes (IF, bestiller av arbeidet), Tor Gundersen (DACON AS, importør av Apollo undervannsscooteren), Jon Øistein Hasvold og Helge Weydahl, begge fra FFI. Batteriet ble demontert på FFI 1. desember 2015. Det ble tatt fotografier under demonteringen.

Hendelsen med tilhørende fotografier er rapportert i DSB rapport datert 15.10.2015 med referansenummer 265967 og rapport fra Finnsnes lensmannsdistrikt datert 01.06.2015. Hendelsen fant sted 28.05.2015. En detaljert åstedsrapport datert 30.09.2015 er skrevet av Jarle Edvard Evertsen ved Finnsnes Lensmannskontor.

I DSBs rapport står at man ikke fant feil med laderen, men hvordan dette er verifisert er ukjent. Kablen for tilkobling til batteriet var utbrent med unntak av ca. 20 cm nær laderen.

## 2 Beskrivelse av NiMH batteriet

Batteriet besto av 20 stk NEXcell DD celler i serie.

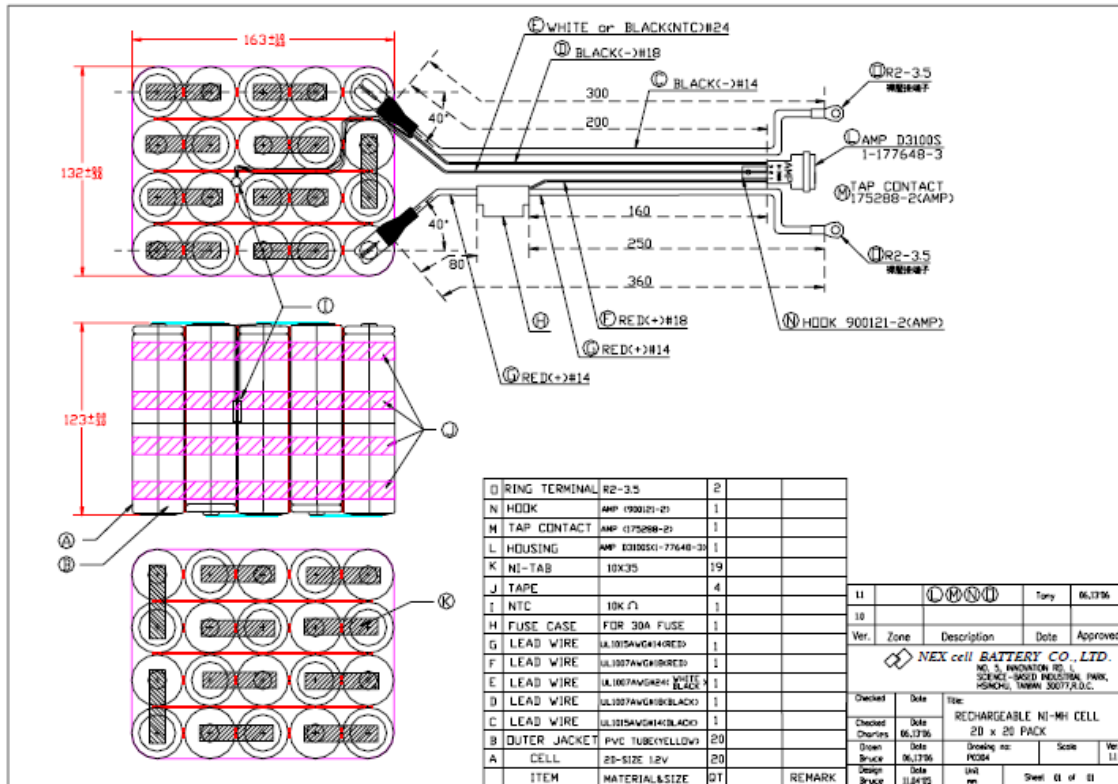
Nominell kapasitet: 20Ah

Nominell spenning: 24V

Laderen lader ved en nominell strøm på 4 A, dvs. C/5 og ladningen skal termineres enten ved at det har gått 6 timer, eller ved at øvre temperaturgrense er nådd. Ladingen skal også brytes ved høy spenning.

Ladekabelen har 3 ledere, en for strøm inn, en for strøm ut og en for måling av batteritemperaturen. Det er sannsynlig at det satt en sensor mellom negativ pol (gods i batteriet) og sensorledningen, men batteriet var for utbrent til å fastslå hvor den satt samt hvilket måleprinsipp som ble benyttet til temperaturmålingen.

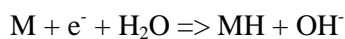
Batteriet er meget godt dokumentert av produsenten NEXcell [Characteristics for NEXcell Nickel Metal Hydride Rechargeable battery Packs, Model 2D x 20] og ut fra dokumentasjonen er temperatursensoren en NTC på 10 kOhm mellom negativ terminal og hvit ledning til lader. Se figur 2.1



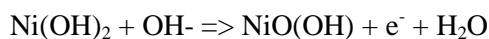
Figur 2.1 Beskrivelse av batteriet NEXcell Model 2D x 20. Maksimal ladestrøm 4 A, maksimal tillatt utladestrøm 50 A (Leveres med 30 A sikring)

### 3 Beskrivelse av nikkell metallhydrid cellen

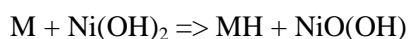
En celle består av en positiv elektrode: katoden (oksidasjonsmiddelet), en negativ elektrode: anoden (brenselet), en separator som skiller anode fra katode og en elektrolytt som tillater ladning å bevege seg i cellen. I et NiMH batteri er elektrolytten 30% kaliumhydroksid (kalilut). Anode, katode og separator vikles i en spiral og monteres i en metallkanne, vanligvis av forniklet stål. Anoden er koblet til kannen mens katoden er festet i lokket. Lokket er isolert fra kannen med en plastpakning. Ved opplading adsorberes hydrogen i den negative polen mens den positive polen oksideres:



Opplading av negativ elektrode



Opplading av positiv elektrode



Sum cellereaksjon under lading

Når all nikkellhydroksid er ladet opp dannes oksygen på plusspolen, oksygenet vandrer gjennom separatorene og reduseres til vann på minuspole slik at all elektrisk energi som tilføres etter at batteriet er ladet opp går til varme og batteriet varmes opp. I en hurtiglader benyttes temperaturstigningen til å avslutte ladingen. Dersom man får en feil i temperatursensor eller i laderen som leser sensoren fortsetter ladingen og temperaturen fortsetter å stige. Temperaturen blir høyest i cellene i kjernen av batteriet.

Oksygenutviklingen gir en trykkstigning i batteriet og temperaturstigningen medfører at hydrogen frigjøres fra metallhydridet. En anordning i cellen skal sørge for trykkavlastning, men dersom den ikke fungerer vil enten lokket blåses av eller cellen revne. Skulle gassblandingen i cellen bli antent vil uansett lokket blåses av med stor kraft.

Metallhydridet fra en oppladet celle er pyrofort, dvs. at det spontant tar fyr i kontakt med luft. [Energizer Nickel Metal Hydride Handbook and Application Manual, 2010].

## 4 Sannsynlig årsakssammenheng

Man antar at batteriet var nær fullt oppladet da det ble satt til lading. En umiddelbar temperaturstigning skulle da avbrutt ladingen, men dette skjedde ikke, enten fordi temperatursensoren ikke fungerte eller temperaturkretsen i laderen var defekt.

Produsenten, Apollo, har bekreftet at tilsvarende har skjedd tidligere, men da på grunn av vann i batteriet som kjøler sensoren. Sjøvann i batteriet ville gitt korrosjon, noe som ikke ble observert (Den korrosjon som er observert kan forklares med vann fra slukkingen).

Batteriet ble ladet i ca. 4 timer ved 4A, dvs. at ca.  $4\text{hr} \times 30\text{V} \times 4\text{A} = 480\text{ Wh}$  (1728 kJ) ble tilført batteriet. Varmekapasiteten til batteriet er ikke kjent, men vurderes til å ligge omkring  $2\text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ .

Batteriet veier ca. 7,2 kg. Av dette er cellevekten 6,92 kg. Forventet temperaturstigning  $\Delta T$  gitt at varmetap sees bort fra blir følgelig:

Energi tilført:	Batterivekt:	Varmekapasitet:
$EE := 1728\text{ kJ}$	$WB := 6.92\text{ kg}$	$C_p := 2 \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{K} \cdot \text{kg}}$

$$\Delta T := \frac{EE}{WB \cdot C_p} = 124.855\text{ K}$$

Omgivelsestemperaturen var ca.  $10\text{ }^\circ\text{C}$  slik at kjernetemperaturen i batteriet kan ha vært over smeltepunktet for separatorene. ( $110$  til  $130\text{ }^\circ\text{C}$ , avhengig av type). Dersom separatorene smelter, kortslutter cellen internt og lagret kjemisk energi går til varme. Lagret kjemisk energi i batteriet er ca.  $500\text{ Wh}$ , noe som bidrar til en ytterligere økning av temperaturen.

Det fremgår av bildene av det utbrente batteriet at temperaturen har vært høy.

Ved måling på cellene fant man at alle hadde en celledspenning nær  $0\text{ V}$ . De fleste hadde en motstand i området  $4$  til  $40\text{ ohm}$ , dvs. internt kortsluttet. Celle 2 veide f.eks  $298.4\text{ g}$  mot  $346\text{ g}$  i henhold til spesifikasjonen. Indre volum i cellen er  $102\text{ cm}^3$  slik at man kan anta at elektrolytten er kokt bort.



*Figur 4.1 Referansebatteri*



*Figur 4.2 Det utbrente batteriet. Celle 8 er satt tilbake i batteriet*





Figur 4.3 Cellene er nummerert fra 1 ved batteriets negative pol til 20 ved batteriets positive pol



Figur 4.4 Celle nr. 8. Denne cellen blåste ut av batteriet og ble funnet i garasjeporten. Kannen er tom og lokket mangler. Bemerk at denne har lite rust, noe som sannsynliggjør at batteriet ikke har vært utsatt for en vannlekkasje.

## 5 Konklusjon

Brannen i batteriet skyldes overlading som igjen skyldes feil i temperaturkontrollen. Om feilen lå i sensoren i batteriet eller i elektronikken i laderen er ikke avklart, men laderen virker intakt og kan om ønskelig testes. Lader og batteri ble returnert til DACON etter undersøkelsen.

Ved at celle 8 ikke ventilerte kontrollert, men åpnet og tømte seg, ble pyrofort materiale eksponert mot luft og tok fyr.

## Vedlegg A

*Under følger et utdrag fra produsenten av batteriet (NEXcell):*

### **Frequently asked questions (Q & A)**

**Q: Why the 1.2V Ni-MH rechargeable batteries, especially low self discharge battery, has much better performance at high rate applications than the 1.5V alkaline batteries?**

*A: NiMH batteries are spirally wound design compare to a bobbin type design of a alkaline batteries. The spirally wound design provides high electrode surface area therefore the total current can be much higher at a similar kinetics of the battery electrochemical reaction. Due to the same reason, Ni-MH batteries provide higher discharge voltage than alkaline batteries. In addition, low self discharge Ni-MH battery has longer storage period, other than alkaline batteries.*

**Q: Why should I choose NEXcell rechargeable batteries over other types of batteries?**

*A: NEXcell batteries have longer cycle life, which means you can save money comparing to rechargeable alkaline of 50 recharges and non-rechargeable batteries. Our batteries are also designed for power intensive applications such as digital camera, the batteries will maintain a high and consistent voltage during its discharge cycle, unlike the other batteries their voltage drop rapidly at high power demand applications. NEXcell batteries have lower impedance than the other brands in the market.*

**Q: What is the “no memory effect”?**

*A: The traditional Ni-Cd batteries would develop memory effect problem if the batteries are discharged at a fixed depth of discharge and then recharged frequently before they have fully drained. “No memory effect” means that you can charge the batteries anytime you like without worrying their performance and battery life.*

**Q: How long a rechargeable battery will last?**

*A: The charge holding time of an unused rechargeable battery at room temperature is about one to three months depends on the storage temperature. The best storage temperature range is 10 to 20 degree C. NEXcell Ni-MH batteries are rechargeable up to 500-1000 times, lithium batteries are up to 1000~2000 cycles, depending on discharge and charge current and working condition.*

**Q: Why should I pay more for the “higher battery capacity”?**

*A: The capacity of rechargeable batteries is rated in “mAh” (mili-ampere hours). If the discharge current is fixed, for example, 1000 mA, the higher capacity means the battery will last longer so you would pay for more in price.*

**Q: What is conditioning?**

*A: The conditioning process is used first to drain the charge from the batteries and then charging them. Conditioning can allow batteries to perform at their best standards and eliminate the memory effect of Ni-Cd batteries. For Ni-MH batteries, conditioning is recommended for every ten to twenty charges.*

**Q: Batteries should not leave in the charger for a long period of trickle charging. Why NEXcell charger can keep the battery in the charger for long time?**

*A: We should not leave the rechargeable batteries in the charger for a long period of time because the batteries will be deteriorated by the trickle charging current after long term charging. We recommend to taking the batteries out of charger when the charging is completed and keep them in a cool location. However, NEXcell chargers do provide lower trickle charging current for longer trickle charging time compare to most of the chargers. Our Model 70 charger provides an autostop function of trickle current after batteries charged to full capacity and then the batteries will be no current rest for seven days and followed by a 200 mA charge for one hour. The rest/one hour charge cycle will be repeated as long as the battery is still maintained in the charger. The battery will be kept full capacity and without*

damaged by the trickle charge. This unique design will allow user to store the batteries in NEXcell charger with full capacity whenever we need it.

**Q: Is it normal that the batteries get warm when charging the rechargeable batteries?**

A: It is normal that the batteries will increase temperature during charging Ni-MH or Ni-Cd rechargeable batteries because the increase of internal resistance and less energy conversion efficiency from electric energy to chemical energy. We recommend you leave the lid open during charging to reduce the heat build up inside the charger.

**Q: How long will the rechargeable batteries hold their charge?**

A: Rechargeable batteries will self-discharging during stand even left unused. The self-discharging rate is depending on the storage temperature. You need to recharge or charge the batteries several times to restore the normal performance, if after long storage. Generally lithium batteries have lower self discharge rate than Ni-MH battery; Ni-MH battery lower than Ni-CD battery.

NEXcell brand batteries do provide a much longer shelf life comparatively among all the battery brands.

**Battery symbols and terminologies**

V	Voltage represents the power level of the battery. Just like the height of a reservoir. For Ni-MH or Ni-Cd batteries, they are 1.2V and the alkaline batteries are 1.5V.
mAh	The measurement of battery capacity, milli-ampere hour. The number indicates how long the batteries will last at certain power consumption. The higher mAh batteries will last longer usage time.
mA	The measurement of charging or discharging current, milli-ampere.
C	The rate at which a battery is charging or discharging. Discharging a battery at 0.2C means to drain the battery capacity completely in five hour. Charging a battery at 1C means to charge the battery fully in one hour. 2C charge means using the rate of twice a battery capacity to charge the battery completely in half hour.
CmA	During charging and discharging, CmA is a value indicating current and expressed as a multiple of nominal capacity. Substitute "C" with the battery's nominal capacity when calculating.

**Other technical terms:**

**Parallel charging of batteries**

Sufficient care must be taken during the design of the charger when charging batteries connected in parallel. Consult NEXcell when parallel charging is required

**Reverse charging**

Charging with polarity reversed can cause a reversal in battery polarity causing gas pressure inside the battery to rise, which can activate the safety vent, leading to alkaline electrolyte leakage, rapid deterioration in cell performance, battery swelling to battery bursts. Never attempt reverse charging.



### **Overcharging**

*Avoid overcharging. Repeated overcharging can lead to deterioration in battery performance and may cause electrolyte leakage.*

### **Rapid charging**

*To charge batteries rapidly, use the specified charger or charging method recommended by NEXcell and follow the correct procedures.*

### **Trickle charging (continuous charging at low current)**

*Carry out trickle charge by applying the current of 0.02 to 0.05 CmA. The correct current value is determined depending on the features and purpose of the equipment. Long term trickle charge is not recommended because it may deteriorate the battery performance.*

**Utdraget er tilnærmet identisk med tilsvarende opplysninger fra andre produsenter, f eks Energizer. [[http://data.energizer.com/PDFs/nickelmetalhydride\\_appman.pdf](http://data.energizer.com/PDFs/nickelmetalhydride_appman.pdf)]**