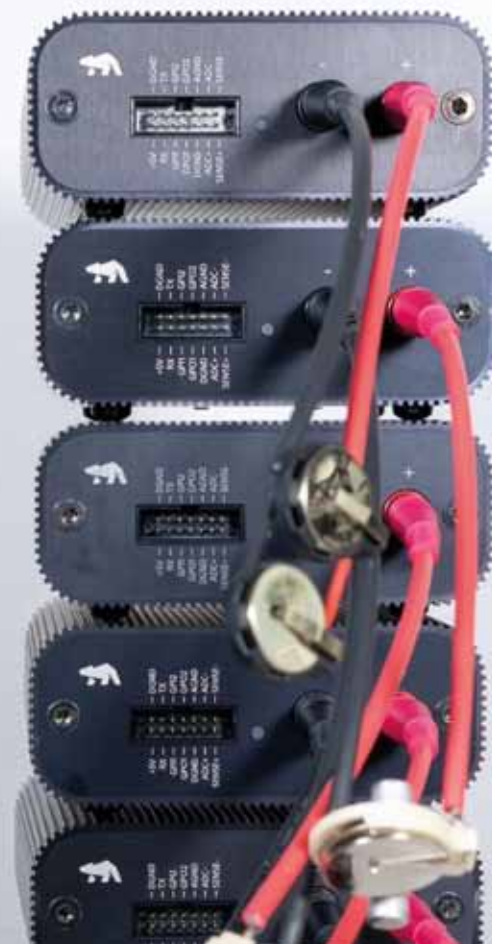


Profilering av batterier

med svenska verktyg



Figur 1. Knappcells-batteri kopplad till en Oti Arc.



Att välja rätt energikälla till sin IoT-produkt är en avgörande del av utvecklingsprocessen. För mindre och billigare sensorer är knappcells-batterier det självklara valet eftersom de möjliggör en mindre formfaktor och håller ett förhållandevis lågt pris.

Trots att knappcells-batterier är populära har de en stor nackdel: en hög intern resistans. Totalt ohm är vanliga. För några år sen kunde man bara använda knappceller om man hade högst några mA i strömförbrukning. Annars skadades batteriet vilket resulterade i låg eller ingen kapacitet.

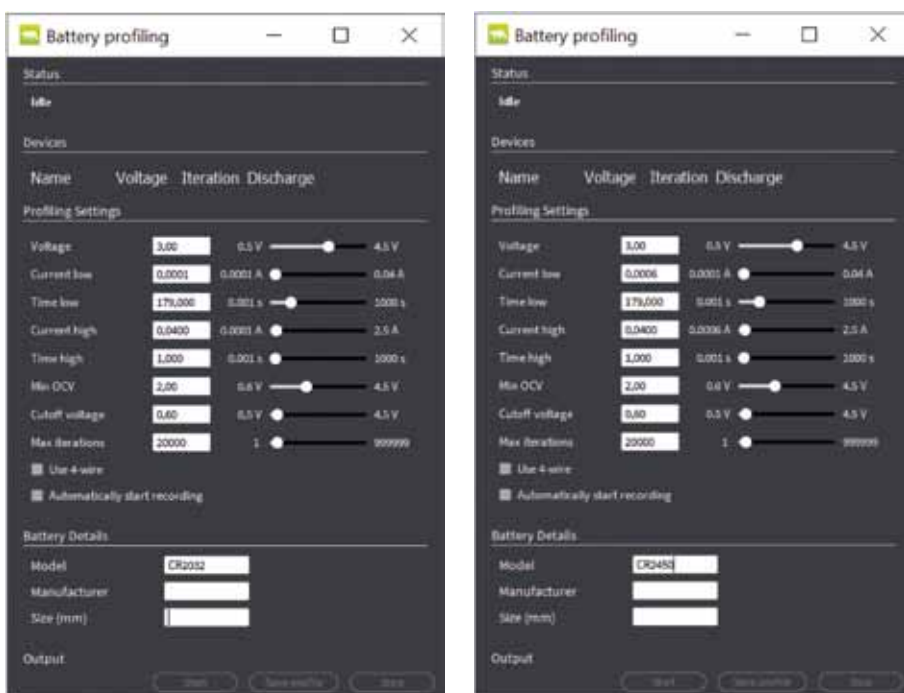
Nyare artiklar/rön säger att knappcellstillerverkare har kunnat sänka det interna motståndet och öka kapaciteten, men är knappceller verkligen redo att ta sig an denna utmaning? Vi beslutade oss för att ta reda på det genom att testa de vanligaste knappcells-batterierna (CR2032 och CR2450) med en LoRaWAN-sensor – klarar de strömkraven?

DET FINNS MÅNGA olika aktivitetsprofiler som en IoT-enhet kan ha och den är beroende av både applikation och hårdvara. Profilen är dock avgörande för hur man ska välja energikällan och i detta fall huruvida batteriet passar eller inte. Under till exempel en sändningsburst (TX-burst) får man en ström-topp som – med tanke på knappcells-batteriets höga interna resistans – kommer att få ett spänningsfall under cut-offspänningen för IoT-enheten och därmed skapa en brown-out. Denna spänningsdipp sätter den övre gränsen för enhetens batterilivstid.

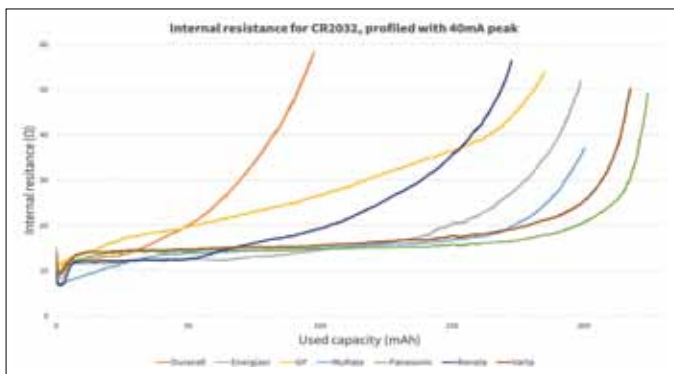


Av Björn Rosqvist, Qoitech

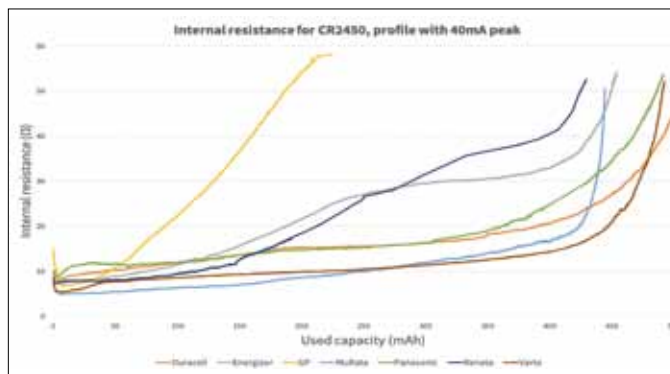
Björn Rosqvist är Head of Product Development på Qoitech, ett Lunda-bolag som tar fram utvecklarverktyg för energioptimering av batteri-drivna enheter. Björn har civilingenjörsexamen inom elektroteknik och tillämpad fysik från Linköping Universitet. Han har lång erfarenhet från kraftelektronik, bil- och telekomindustrin, både från stora bolag och startups. De senaste 13 åren har hans fokus legat på design och verifiering av konsumentelektronik.



Figur 2. Testinställningar i Oti Battery Toolbox för profilering av CR2032- och CR2450 batterier.



Figur 3. Intern resistans mätt för sju olika märken av CR2032-batterier.



Figur 4. Dito för lika många CR2450-batterier.

Låt oss göra strömprofilen för LoRaWAN-enheter mer generell! Låt oss anta att IoT-enheten har en TX/RX-burst på en sekund och att strömförbrukningen under denna tid är ungefär 40 mA. Ja, det här är en mycket enkel strömprofil, men som generisk profil fungerar den bra som exempel i denna studie. Om IoT-enheten har en cut-offspänning på 1,8 V, kommer batterispänningen – troligen under en TX-burst – att sjunka under cut-off vilket kommer att resultera i en brownout. Med andra ord kan batteriet betraktas som dött.

Informationen ovan ger oss de krav som batteriet måste kunna hantera.

FÖR DENNA UNDERSÖKNING köpte vi slumpmässiga batterier som vi sedan profilerade. Alla köptes i vanliga butiker med undantag för Murata som skickade sina batterier till oss eftersom de inte fanns i butikerna vid tiden för testet. Vi testade CR2032- och CR2450-celler från Duracell, Energizer, GP, Murata, Panasonic, Renata och Varta.

Vi profilerade alla batterier med Otii Arc och Otii Battery Toolbox. Det är utvecklingsverktyg från Qoitech som kan agera strömförsörjning, effektanalysator, batteriprofilerare och emulator – allt i ett. Profileringen gjordes enligt inställningarna som visas i figur 2.

Som synes är den höga strömförbrukningen inställd på 40 mA i en sekund (enligt ovan). Den låga strömförbrukningen och tidslängden på den justeras för att få en 30-dagars urladdningstid med ett lämpligt antal iterationer. Vi tittar också på den angivna batterikapaciteten från databladet för att få rätt inställning. Profileringen stoppas när batteriet har en oladdad polspänning (Open Circuit Voltage, OCV) på 2 V. Under den period vi har en hög strömförbrukning förväntar vi oss att spänningen ska vara lägre på grund av batteriets interna motstånd. Om spänningen således sjunker under 0,6V kommer profileringen av stoppa. Detta är vår cut-off-nivå för profileringen.

SOM NI KANSKE REDAN RÄKNAT UT tar det lång tid att profilera knappcells-batterier från sju tillverkare, var och en med två storlekar. För att effektivisera förloppet kopplade vi tio

Otii Arc till samma dator och anslöt dem till två virtuella maskiner. Genom att göra detta fick vi 10 batteriprofiler per månad, vilket är relativt bra när det gäller att profilera knappceller.

Vårt resultat visar att knappcellsprestandan skiljer sig mycket mellan tillverkarna, särskilt vid högre strömmar. Figur 3 och 4 visar batteriernas interna resistans när de laddas ur enligt LoRa-profilen. En intressant iakttagelse är att Murata CR2032R var det enda batteri vars profilering avslutades då den oladdade polspänningen var 2,0V. Alla andra batteriprofileringar avslutades med ett cut-off på 0,6V.

NÄR DET GÄLLER DIAGRAMMET vill vi belysa en viktig detalj. När det interna motståndet ökar kommer batterispänningen att minska (detta under IoT-enhetens aktiva fas). Förr eller senare kommer batterispänningen att sjunka under cut-off vilket leder till slutet för detta batteri. Med detta i åtanke presterar CR2450R från Murata och CR2450 från Varta bättre än de andra batterierna då de har en

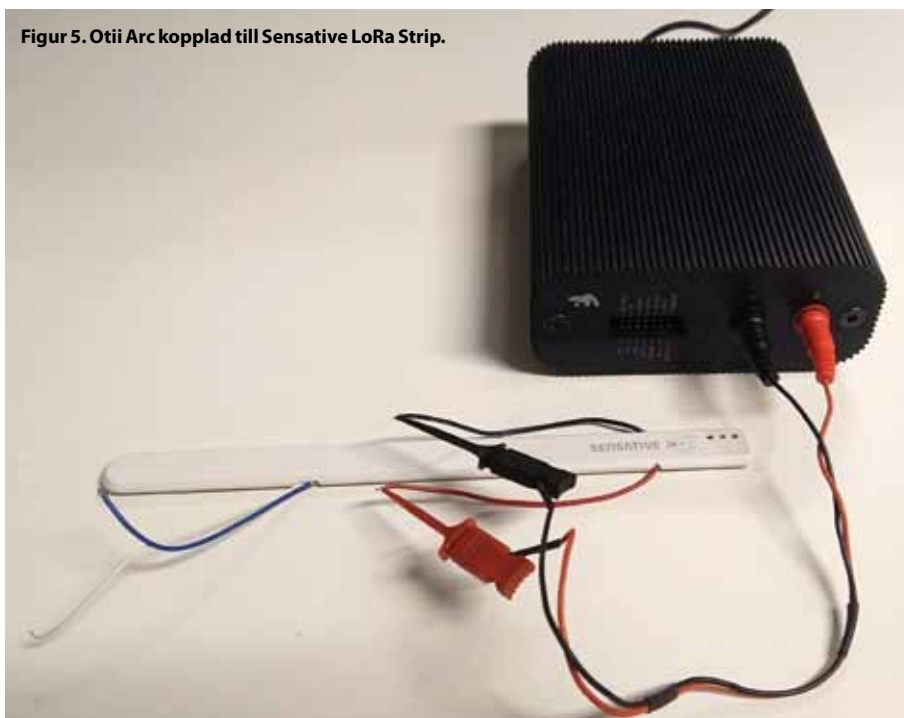
lägre intern resistans under en längre tid än de andra batterierna.

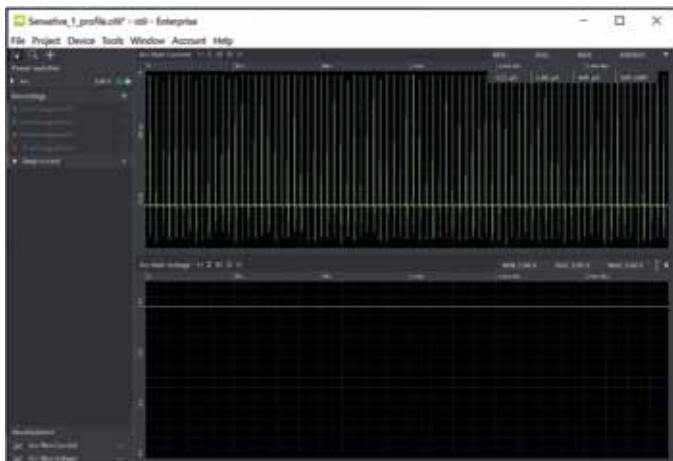
Vid profileringen av batterierna användes endast ett batteri per storlek och tillverkare. För att bli mer säker på resultatet bör testet utföras med flera batterier från flera olika batcher, vilket också ger bättre statistisk tillförlitlighet. Ha gärna detta i åtanke när du tittar på grafen för CR2032 från Duracell och CR2450 från GP. Är batterierna verkligen så dåliga eller hade vi otur och fick batterier från en dåligt batch?

Fungerar knappcells-batterier och i så fall – hur länge?

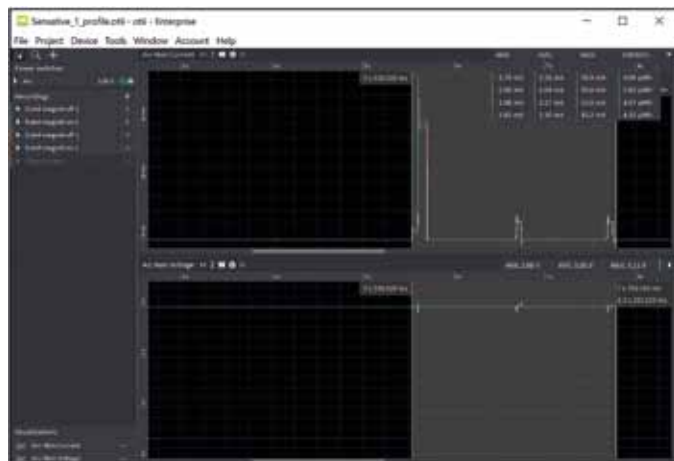
Efter att vi har profilerat knappcells-batterierna låter vi en Otii Arc efterlikna batteriet och kopplar in vår LoRaWAN-IoT-enhet till utgången. Därefter kör vi ett skript som upprepar den aktiva cykeln för IoT-enheten, exklusive sömn/viloperioden, detta eftersom det är under den aktiva perioden som batteriet med största sannolikhet tar slut. Sedan ökar successivt Otii Arc batteriets använda kapacitet tills dess att batterispänningen

Figur 5. Otii Arc kopplad till Sensitive LoRa Strip.





Figur 6. Sensative LoRa Strip i viloläge drar i genomsnitt 1,46 µA (mätt under ungefär två minuter).



Figur 7. Aktiv period för Sensative LoRa Strip, utlöst av magnet som efterliknar till exempel öppet/stängt fönster.

när 1,8V, vilket är vår sensors cut-off. Denna batteriemulering ger oss en uppskattning av hur mycket av batteriets energi vi faktiskt kan nyttja. Resten av kapaciteten får anses vara död, det vill säga inte möjlig att använda för denna sensor.

Om vi sedan dividerar den tillgängliga kapaciteten med den genomsnittliga strömförbrukningen för vår sensor med vår verkliga avsedda periodtid, inklusive sovperioden, får vi vår beräknade batteritid. Detta är ett uppskattat värde på antalet timmar som vår enhet kommer fungera. Observera att vi vid denna tidpunkt inte har beaktat temperaturvariationer, batteriets självurladdning, batterivariationer inom batchen, et cetera.

$$\text{Batteriets livslängd (h)} = \frac{\text{Tillgänglig batterikapacitet (mAh)}}{\text{Genomsnittlig strömförbrukning (mA)}}$$

FÖR ATT MÖJLIGGÖRA en ännu bättre uppskattning bör vi även skapa batteriprofiler för olika förhållanden, som till exempel olika temperaturer eftersom IoT-enheten kan agera annorlunda i olika miljöer. Vi kunde exempelvis ha placerat batteriet i en klimatkammare under profileringen.

En sak till: om din IoT-enhet har en DC/DC-omvandlare kommer strömmen från batteriet att öka när batterispänningen sjunker. Detta kommer resultera i en ström som mot slutet är mycket högre än profilerade 40 mA.

I vissa fall kommer knappcellsbatteriet helt enkelt att ge upp, även om det finns mycket kapacitet kvar.

Ett exempel från verkligheten: Sensative LoRa Strips

För att simulera ett verkligt exempel använder vi Sensatives ultratunna LoRa Strips. Men istället för att använda enhetens specialanpassade batteri kör vi på de knappceller som vi profilerat.

Vi börjar med att mäta enhetens effektprofil (både vid sömn/vila och aktivitet). För att trigga den aktiva händelsen använder vi en magnet som vi antingen rör mot eller bort från sensorn. Denna aktivitet förbrukar i genomsnitt 4,07 µWh, se figur 7 (vi bortser från sömn/viloenergin då den är en faktor 30 mindre, se figur 6).

För att beräkna den genomsnittliga strömförbrukningen över sensorns livslängd är vi tvungna att bestämma den genomsnittliga mängden aktiva händelser per timme.

Låt oss anta att vi har fyra händelser per timme. Detta antagande ger ett tillägg på vilostrommen på 5,43 µA, vilket ger totalt 6,89 µA i medelströmförbrukning. För att förenkla beräkningen antar vi att den genomsnittliga strömförbrukningen, med fyra händelser, är 7 µA under hela batteritiden.

$$\text{Strömförbrukning (A)} = \frac{\text{Uppmätt energi (Wh) för alla händelser}}{\text{Tid (h)} \times \text{uppmätt spänning (V)}}$$

Beräkning av batteriets livslängd:

- **Variant 1.** Om vi tittar på en generisk CR2450 är kapaciteten cirka 600 mAh. Detta innebär att om vi baserar vår batteritid endast på uppmätt genomsnittlig strömförbrukning och angiven batterikapacitet skulle en CR2450 räcka i 9,8 år.
- **Variant 2.** Om vi tittar på den uppmätta tillgängliga kapaciteten varierar kapaciteten från 200 till 500 mAh vid urladdning enligt LoRa-profilen som tidigare nämnts. För att belysa hur stor skillnaden kan vara, låt oss titta på två av de profilerade batterierna: CR2450 från GP och Murata. I dessa exempel är den beräknade batteritiden baserad på den profilerade batterikapaciteten 3,6 år för CR2450 från GP och 7,2 år för CR2450R från Murata (se tabell 1).
- **Variant 3.** För att ta vår beräkning av batteritid ett steg längre behöver vi mäta hur mycket av den verkliga batterikapaciteten som finns tillgänglig att använda med vår enhet. För att veta detta måste vi hitta när cut-offspänningen inträffar.

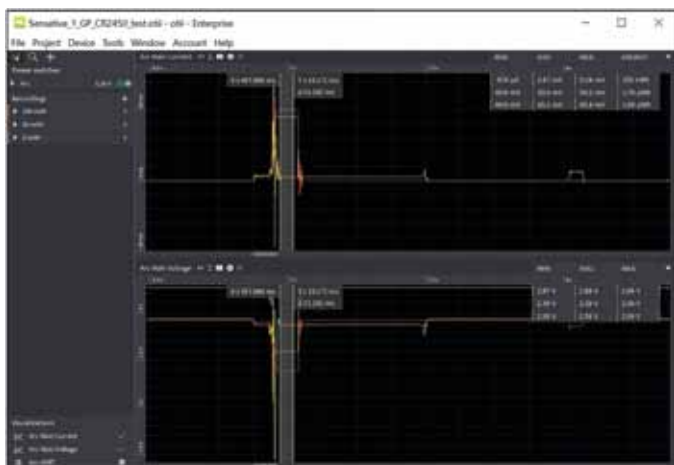
FÖRST ÄNDRAR VI SPÄNNINGSKÄLLAN, i Oti Project settings, från Power Box till de två batteriprofiler som vi valt ovan. Därefter skapar vi ett projekt där vi successivt ökar den använda batterikapaciteten och kontrollerar den medföljande spänningen under en aktiv händelse för sensorn. Förr eller senare, under en aktiv händelse, kommer

	Vad vi alla alltid gör ESTIMAT	Vad vi alla alltid borde göra MÄTNING	
Antagande		CR2450 LoRa aktivitetsprofil: 40mA under 1 s 600uA under 179 stills OCV är 2V	
Genomsnittlig ström (µA)	7	7	
		Datablad	GP
Kapacitet från datablad (mAh)	600	610	500
Uppmätt kapacitet vid profilering (mAh)		224	444
Batterilivstid (år)	9.8	3.6	7.2

Tabell 1.

	Vad vi alla alltid gör ESTIMAT	Vad vi alltid borde göra MÄTNING	
		Datablad	GP
Kapacitet från datablad (mAh)	600	610	500
Uppmätt kapacitet vid profilering (mAh)		224	444
Användbar kapacitet (mAh)		< 100	400
Batterilivstid baserat på datablad (år)	9.8	9.9	8.1
Batterilivstid baserat på batteriprofil (år)		3.6	7.2
Batterilivstid baserat på användbar kapacitet (år)		1.6	6.5

Tabell 2.



Figur 8. CR2450 från GP, emulerad av Otii på Sensative LoRa Strips.



Figur 9. CR2450R från Murata, emulerad av Otii på Sensative LoRa Strips.

batteriets inre resistans att leda till ett spänningsfall under vår sensors cut-offspänning. För denna undersökning beslutar vi oss för att ta ett ganska stort kapacitetssteg på 50 mAh per test. För att göra beräkningen mer exakt tar man mindre steg när cut-offspänningen närmar sig.

Observera att vi i detta fall gör en snabbundersökning. Redan när vi ställde in 100 mAh använd kapacitet fallerade sensorn på grund av för låg batterispänning, så den användbara batterikapaciteten för den uppmätta CR2450 från GP är mindre än 100 mAh. Som vi noterade tidigare: önskar man mer exakta resultat tar man följaktligen mindre steg mellan 50 mAh och 100 mAh.

Som synes i figur 9 fungerar CR2450R från Murata bättre. När vi ställer in den använda batterikapaciteten till 400 mAh får vi en reset under den aktiva fasen. När vi försöker igen, kan vi till och med ställa in den på 410 mAh innan vi får en reset. Vi får då en batteritidberäkning på 1,6 år för CR2450 från GP och 6,5 år för CR2450R från Murata. Ganska markant skillnad! (se tabell 2).

Tankar angående dessa beräkningar:

- **GP-batteriet fungerade riktigt dåligt.**

Det kan vara en tillfällighet – kanske ett dåligt batteri i batchen. Flera batterier bör testas för att få mer statistik.

- **Ovanstående beräkningar** är bara några exempel på hur man gör beräkningar för batteritid. Ja, vi har tagit några genvägar. För att vara mer exakt bör du profilera batterierna med en effektprofil som är korrekt enligt sensorprofilen.
- **I vår studie** är sensorn mycket nära gatewayen och spreading factor är därmed låg. Om du tittar på den aktiva händelsen är den ungefär 100 ms lång, det vill säga inte alls vad vi använde när vi profilerade batteriet. Vi rekommenderar att du beräknar batteriets livslängd både när du är nära och långt borta från gatewayen. Således skapar du olika effektprofiler för sensorn men också olika batteriprofiler på grund av förändringar i urladdningsprofilen.
- **De aktiva händelserna** har också olika toppströmmar beroende på batterispänningen. För att vara ännu mer exakt bör batteriet profileras med en konstant effektprofil snarare än med en konstant strömprofil. Denna funktion är inkluderad i Otii Battery toolbox.
- **Vår beräkning** beaktar inte miljöförhål-

landen. Temperaturen kommer att förändra batteriets beteende och sensorns strömprofil kan också påverkas av värme och fuktighet. Därför måste nya beräkningar genomföras för olika miljöförhållanden.

- **Vår beräkning** av batteritid tar inte hänsyn till självurladdning av batteriet.

Slutsats

Svaret på huvudfrågan – om det finns det knappcells batterier (CR2032 och CR2450) som kan hantera strömkraven för en IoT-enhet för LoRaWAN – beror på batteriet du väljer och om du kan hålla den aktiva toppströmmen på ungefär 40 mA. Vissa batterier klarar detta medan andra kommer att fungera mycket dåligt. Våra resultat visar att knappcellsprestandan skiljer sig mycket mellan tillverkare, särskilt vid högre strömmar.

Om du litar på att användaren kommer att byta batteri när enheten slutat fungera är du på tunn is. Risken är att användaren – om han eller hon använder ett slumpmässigt valt billigt batteri – kommer att bli besviken på batterilivstiden eftersom det nya batteriet inte fungerar lika bra som den ursprungliga knappcellen. ■