



FACULTY OF ENGINEERING TECHNOLOGY
– GENT –

EMBEDDED SYSTEM DESIGN 2 – LABO
VERSLAG 2

Project ‘Ter Zee’

Brecht Van Eeckhoudt – Sarah Goossens – Matthias Alleman
Benjamin Van der Smissen – Arno Plaetinck

MELICTE

29 maart 2019

Inhoudsopgave

1	Het project	3
2	Verbruik	3
3	Gebruik van een zonnepaneel en een batterij	5
3.1	Zonnepaneel	5
3.2	Batterij	6
4	Gebruik van een batterij	7
4.1	Belangrijkste batterij-eigenschappen voor low-power applicaties	8
4.1.1	Chemische samenstelling	8
4.1.2	Temperatuursafhankelijkheid	9
4.1.3	Zelfontlading	10
4.1.4	Temperatuur en interne veranderingen	11
4.2	Besluit batterij	12
5	Supercap	13
6	Besluit	13
	Referenties	14

1 Het project

Als Team ‘Ter Zee’ zijn wij verantwoordelijk om een totaalconcept uit te werken dat het mogelijk maakt om de watertemperatuur en golfsterkte te meten, te verwerken en door te sturen. Verder zal het team ook in staat moeten zijn om de drift van een boei waar te nemen en te signaleren aan het vasteland, zodat er tijdig actie ondernomen kan worden.

Om dit project te verwezenlijken, zijn er verschillende oplossingen. In dit verslag vergelijken we **twee mogelijke benaderingen** van ons systeem. We bekijken wat het verschil in verbruik is wanneer we in ons project gebruik maken van een **zonnepaneel en een batterij** of **enkel een batterij**. Voor beide opties zal het verbruik steeds hetzelfde zijn. Hoe we het verbruik per dag bepalen, wordt verder in dit verslag besproken.

Voor de optie met het zonnepaneel worden een geschikt zonnepaneel en batterij gezocht. Voor de optie zonder een zonnepaneel bekijken we welke batterijen geschikt zijn voor ons project. Hierbij houden we rekening met het feit dat een **batterij 5 jaar moet meegaan**.

We bekeken ook de optie om gebruik te maken van een **supercap**.

2 Verbruik

Om het verbruik per dag te bepalen zijn we uitgegaan van volgende specificaties:

- Om het uur meten van de temperatuur van het water.
- De accelerometer meet constant om zo interrupts te kunnen sturen naar de microcontroller om deze indien het geval van een storm wakker te maken.
- Per dag wordt viermaal alle data doorgestuurd naar het land.
- Om het uur checken we of de boei aan het drijven is.
- We maken gebruik van een Happy Gecko.

In volgende berekeningen geven we een duidelijke weergave van het geschatte verbruik.

We beginnen met een korte samenvatting van het verbruik van elk onderdeel in actieve- en slaapmodus.

Tabel 1: Oplijsting van het stroomverbruik.

	Actief verbruik	Passief verbruik
Happy Gecko	5,52 mA	0,95 μ A
ADXL362	1,80 μ A	1,80 μ A
Tempsensor	2,00 mA	0 mA
LoRaWAN	30 mA	0 mA

De driftsensor heeft ook een bepaald verbruik, maar aangezien dit verbruik zo miniem is nemen we deze niet mee in de berekeningen. Die sensor zou 1 ms lang 1 mA verbruiken.

Vervolgens bekijken we hoeveel energie onze modules verbruiken tijdens het actief verbruik, namelijk bij het meten en verzenden van de data.

Tabel 2: Oplijsting van het actief stroomverbruik.

	Actieve tijd/dag	Actieve stroom	Energie
Happy Gecko	123,2 s	5,52 mA	2,244 J/dag
ADXL362	115,2 s	1,80 μ A	0,000684 J/dag
Tempsensor	24 s	2,00 mA	0,158J/dag
LoRaWAN	8 s	30 mA	0,278 J/dag

De totale nodige energie die in actieve modus wordt verbruikt is dan 3,19 J/dag

We herhalen dezelfde energieschatting voor de componenten in slaapmodus.

Tabel 3: Oplijsting van het slaapverbruik.

	Slapende tijd/dag	Slaapstroom	Energie
Happy Gecko	86300 s	0,95 μ A	0,185 J/dag
ADXL362	86300 s	1,80 μ A	0,0768 J/dag
Tempsensor	0 s	0 mA	0 J/dag
LoRaWAN	0 s	0 mA	0 J/dag

De totale energie die al slapend wordt verbruikt is dan 0,261 J/dag.

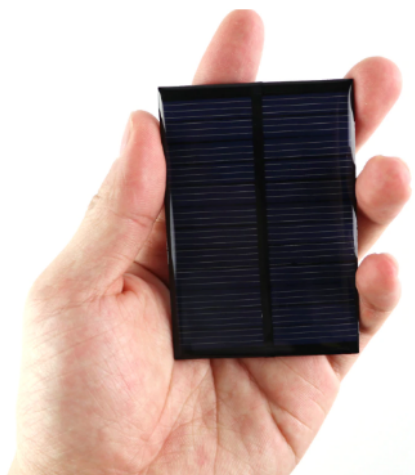
De totale geschatte energie voor één dag komt dus neer op 3,45 J/dag.

3 Gebruik van een zonnepaneel en een batterij

3.1 Zonnepaneel

We zijn op zoek gegaan naar een zonnepaneel waarvan de afmetingen beperkt zijn zodat deze eenvoudig kan bevestigd worden op de boei waarover wij beschikken. We zijn uitgegaan van een boei met als afmetingen ongeveer 0,5 m diameter. Het zonnepaneel dat wij hiervoor geschikt zagen is een ANBES Solar Panel 5V.

Dit zonnepaneel levert in het beste geval 1,25 W aan 5 V. Idealiter zouden we dus 250 mA aan stroom kunnen leveren. De kostprijs bedraagt 1,85 euro. Het werken met zonnepanelen levert tal van voordelen. Zo zijn we in dit geval in staat om gebruik te maken van kleinere batterijen of mogelijk zelfs supercaps. De vermogensverbruiken van ons project zijn in paragraaf 2 te vinden.



Figuur 1: Soortgelijk zonnepaneel dat gebruikt kan worden.

Alvorens we het vermogen, dat door het zonnepaneel wordt opgewekt, kunnen aanbieden aan een batterij, moeten we ervoor zorgen dat de spanning en de stroom niet te veel fluctueren. Een IC dat gespecialiseerd is in *energy harvesting* toepassingen maakt het mogelijk om de ingangsspanning, dewelke mogelijk te laag is om een batterij op te laden, te boosten tot een acceptabele spanning, of een spanning die te hoog is, met behulp van een buckconverter te reduceren tot de juiste spanning.

Een voorbeeld van zo een IC is de BQ25570 en kost ongeveer 6 euro. De grenswaarden voor de ingangsspanningen bedragen 100 mV tot maximaal 5,1 V, wat perfect te realiseren valt met het zonnepaneel waarvoor bij dit project geopteerd werd. De uitgangsspanning bedraagt 4,2 V en kan maximaal een stroom van 285 mA leveren aan de batterij. De spanningen en de stromen zijn ideaal voor het opladen van een gewone LiPo batterij.

3.2 Batterij

In combinatie met een zonnepaneel is er ook een batterij nodig om de momenten te overbruggen waarbij er onvoldoende energie geleverd wordt door het zonnepaneel. We gaan ervan uit dat de batterij **twee weken** zou moeten overleven voor hij weer opgeladen moet worden door het zonnepaneel. We maken eerst een berekening zodat we weten aan welke capaciteit onze batterij zal moeten voldoen.

$$14 \text{ dagen aan } 3,45 \text{ J/dag.}$$

$$E_{14\text{dagen}} = 14 \text{ dagen} \cdot 3,45 \text{ J/dag} = 48,40 \text{ J}$$

Voor het berekenen van de batterijcapaciteit (in mAh) gebruiken we volgende formule.

$$Capaciteit = \frac{Energie}{3,6 \cdot Voltage} = \frac{48,40J}{3,6 \cdot 3,3V} = 4,08mAh \quad (1)$$

De capaciteitswaarde die we nu gevonden hebben bevat niet veel marge voor onverwachte omstandigheden zoals bijvoorbeeld het degraderen van de batterij over de jaren heen. Daarom vermenigvuldigen we de capaciteit met nog een veiligheidsfactor. We kiezen hier voor een factor van 5. Dit betekent dat onze batterijcapaciteit nu 20,4 mAh zal worden. Om praktische redenen zullen we voor een batterij van **100 mAh** kiezen.

Het kan ook aangewezen zijn om te weten hoe lang het duurt voor ons zonnepaneel onze batterij terug oplaad. Aangezien ons zonnepaneel een maximale output heeft van 1,25 W aan 5 V zal dit redelijk rap gebeuren.

$$t = \frac{Energie \cdot 5V}{3,3 \cdot Power} = \frac{48,40J \cdot 5V}{3,3V \cdot 1,25W} = 58,6sec \quad (2)$$

Het opladen kan dus gebeuren in minder dan één minuut in ideale omstandigheden.

4 Gebruik van een batterij

Het is ook mogelijk om enkel gebruik te maken van een batterij om ons systeem te voeden. Een batterij die voldoet aan onze eisen is cruciaal. In de volgende paragrafen zijn er enkele parameters besproken waar men rekening mee moet houden.

Vooreerst beginnen we met het berekenen van de benodigde energiec capaciteit die onze batterij zal moeten bevatten.

$$\begin{aligned} 5 \text{ jaar} &= 1826 \text{ dagen aan } 3,45 \text{ J/dag.} \\ E_{5\text{jaar}} &= 1826 \text{ dagen} \cdot 3,45 \text{ J/dag} \\ E_{5\text{jaar}} &= 6312 \text{ J} \end{aligned}$$

Voor het berekenen van de batterijcapaciteit (in mAh) gebruiken we volgende formule.

$$Capaciteit = \frac{Energie}{3.6 \cdot Voltage} = \frac{6312J}{3.6 \cdot 3.3V} = 531mAh \quad (3)$$

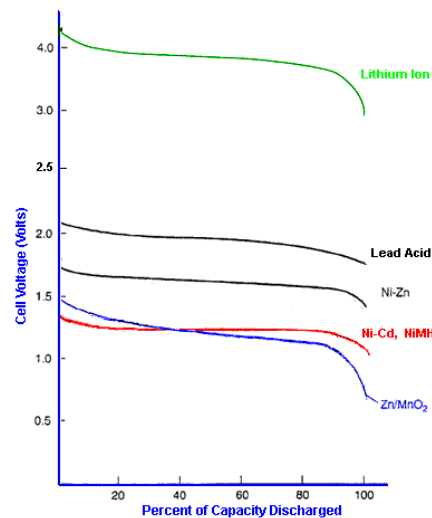
De capaciteitswaarde die we nu gevonden hebben bevat niet veel marge voor onverwachte omstandigheden zoals bijvoorbeeld het degraderen van de batterij over de jaren heen. Daarom vermenigvuldigen we de capaciteit met nog een veiligheidsfactor. We kiezen hier voor een factor van 5. Dit betekent dat onze batterijcapaciteit nu **2657 mAh** zal worden. Als we voor een courante waarde gaan zal dit **3000 mAh** worden.

4.1 Belangrijkste batterij-eigenschappen voor low-power applicaties

4.1.1 Chemische samenstelling

De nominale spanning van een galvanische cel wordt bepaald door de elektrochemische eigenschappen van de actieve chemicaliën die in de cel worden gebruikt. De uiteindelijke spanning op de output is afhankelijk van de belastingsstroom en de interne impedantie van de cel. Deze variëren met de temperatuur, de laadtoestand en de ouderdom van de cel[2].

Belangrijk voor onze toepassing is dat de nominale uitgangsspanning voldoende hoog (3,3V) en stabiel moet zijn.

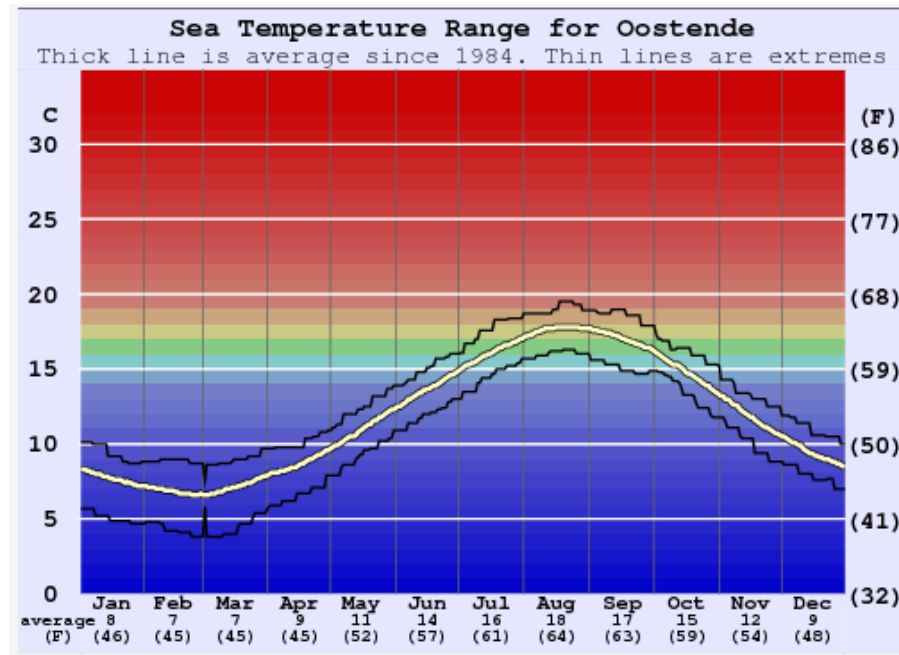


Figuur 2: Ontladingscurve van cellen met snelheid 0,2C[2].

Op de X-as staat het percentage van de celontlading, op de Y-as staat de celspanning. Een vlakke ontladingscurve betekent dat de geleverde voedingsspanning stabiel is en betrouwbaar gebruikt kan worden.

4.1.2 Temperatuursafhankelijkheid

De batterijprestaties kunnen sterk veranderen afhankelijk van de temperatuur. Batterijen met een waterachtig elektrolyt kunnen zelf bevriezen wanneer men deze blootstelt aan extreem lage temperaturen. Gelukkig heeft zeewater een vrij stabiele temperatuur die niet in de extrema liggen.



Figuur 3: Zee temperatuur per Jaar (Oostende) [4]

De temperatuur schommelt tussen maxima's van 4-19 °C.

4.1.3 Zelfontlading

De zelfontlading van een cel is de maat waarin de cel ontleedt tijdens het liggen op het schap (*shelf life*). Dit is te wijten aan ongewenste chemische reacties binnen in de cel. De snelheid waarmee de cel ontleedt hangt af van het type cel en de temperatuur.

Chemistry	Shelf Life	Cycle Life
Alkaline	5-10 Years	None
Carbon Zinc	3-5 Years	None
Lithium Non-Rechargeable	10-12 Years	None
Nickel Cadmium	1.5-3 Years	1,000 +
Nickel Metal Hydride	3-5 Years	700-1,000
Lithium Rechargeable	2-4 Years	600-1,000

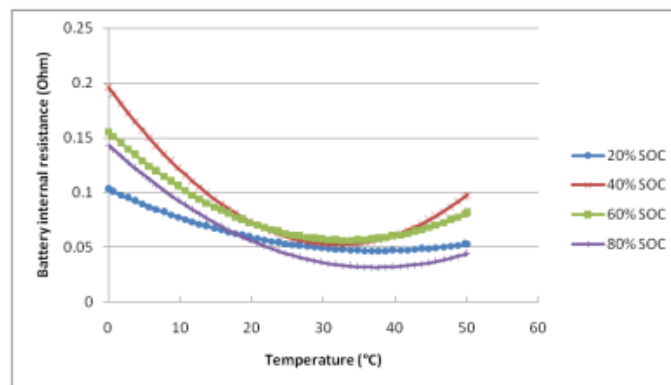
Figuur 4: Shelf life batterijen[3].

Voor deze studie bekijken we niet heroplaadbare batterijen: Alkaline en Lithium Ion. Beide voldoen aan ons 5 jaar battery life plan.

4.1.4 Temperatuur en interne veranderingen

Battery internal resistance

Een batterij met een lage interne weerstand levert een hoge stroom. Een hoge interne weerstand zorgt ervoor dat de batterij opwarmt en de spanning daalt. Dit komt omdat er een spanningsval over de interne weerstand staat.

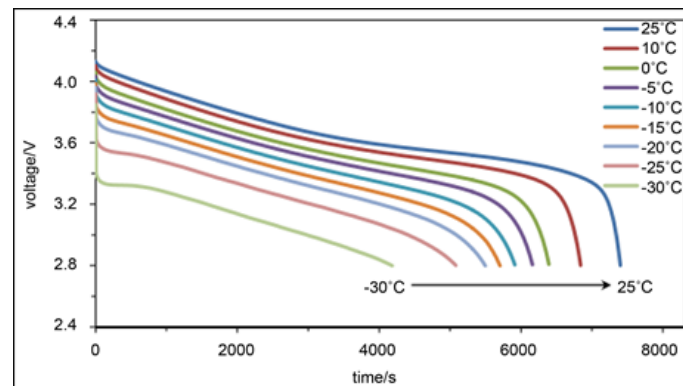


Figuur 5: Interne weerstand van een Li-ion batterij als functie van T and SOC [5].

Als de temperatuur stijgt, zal de interne weerstand dalen. Met de grafiek kunnen we besluiten dat de interne weerstand het laagst zal zijn tussen de 20-40 °C. De interne weerstand zal ook dalen als de state of charge (SOC) daalt.

De optimale bedrijfstemperatuur voor de lithium-ion batterij bevindt zich nog steeds in het bereik van 20-65 °C.

Ontlading



Figuur 6: 0.5C rate discharge curve of Li-ion battery at different temperatures. [6]

Op figuur 6 valt af te lezen dat een lage temperatuur zorgt voor een kortere levensduur. Dit is zo het geval bij eender welke onlaadstroom. Er is een correlatie met de interne weerstand van de batterij die zal toenemen.

Ook hier constateren we dat we voor een lithium-ion batterij een hogere bedrijfstemperatuur willen hebben (25 °C).

4.2 Besluit batterij

Voor dit project zullen we een lithium-ion batterij gebruiken. Dit is de aangeraden batterij voor low-power, low-cost applications die een hoge energiedensiteit nodig hebben. De lange *shelf time*, het laag gewicht, het feit dat er geen vloeibaar elektrolyet in zit en een stabiele spanning zorgen ervoor dat hij de juiste keuze is[1].

5 Supercap

Aangezien we dagelijks een cyclus van op- en ontladen van de batterij meemaken hebben we overwogen om eventueel een supercap te gebruiken. We hadden twee mogelijke opties om de supercap te benutten.

In een eerste geval zouden we de supercap gebruiken als tijdelijke energiebuffer voor de batterij. Dit voorkomt dat de batterij te snel zal degraderen door de vele cycli van op- en ontladen. Als andere mogelijkheid zouden we de supercap proberen gebruiken als batterijvervanger.

Bij het gebruik van supercaps krijgen we enkele belangrijke voordelen:

- Geen last van geheugeneffecten zoals batterijen hebben bij meerdere cycli.
- Geen gevaar voor overladen door het zonnepaneel bij bijvoorbeeld aanhoudend zonnige dagen, als de maximale toegelaten spanning van de supercap niet overtroffen wordt door het zonnepaneel.
- Supercaps kunnen op korte tijd weer worden opgeladen, slechts enkele minuten zou kunnen volstaan.

Aangezien de batterij bij ons project niet genoeg cycli zal doormaken kunnen we het gebruik van een supercap moeilijk rechtvaardigen. Daarnaast is de zelfontlading van de supercap te hoog, waardoor onze module uit zou kunnen vallen wanneer de zon lang achterwege blijft. Deze criteria wegen meer door bij onze beslissing om bij een gewone batterij te blijven.

6 Besluit

Het gebruik van een zonnepaneel zal zeker voordelig zijn voor toepassingen waarbij een node een lange tijd niet onderhouden wordt of in een geval waarbij de batterij amper zal moeten vervangen worden. Een zonnepaneel zal echter wel zorgen voor extra elektrische circuits, componenten en onderzoek naar het gedrag ervan. Het is volgens onze berekeningen mogelijk om **5 jaar** te overbruggen met een batterij van ongeveer **3000 mAh**, wat voor ons project meer dan lang genoeg is. Hierdoor opteren we om enkel een batterij te gebruiken.

Referenties

- [1] MPower UK, *Batteries and Other Energy Storage Devices*,
https://www.mpoweruk.com/battery_types.htm
- [2] MPower UK, *Battery Performance Characteristics*,
<https://www.mpoweruk.com/performance.htm?fbclid=IwAR3y-4mZMLxQVONijRlM1yGxG8LP9hXsIWE0GZksDUSexI2pdqmQeVQ6FVM>
- [3] Battery Universe, *How long should batteries last?*,
<https://www.batteryuniverse.com/blog/tags/shelf-life/>
- [4] Surf-forecast.com, *Oostende Water Temperature and Wetsuit Guide*
(North Sea – Belgium), <http://www.surf-forecast.com/breaks/Oostende/seatemp>
- [5] Universiti Teknologi Malaysia, *The impact of battery operating temperature and state of charge on the lithium-ion battery internal resistance*,
<https://mech.utm.my/wp-content/uploads/2017/12/1-THE-IMPACT-OF-BATTERY-OPERATING-TEMPERATURE-AND-STATE-OF-CHARGE-ON-THE-LITHIUM-ION-BATTERY-INTERNAL-RESISTANCE.pdf>
- [6] Scientific Research Open Access, *Study on Low Temperature Performance of Li-Ion Battery*, https://file.scirp.org/Html/80512_80512.htm#f1