

# Självständigt arbete på grundnivå

*Independent degree project – first cycle*

Elektroniksystem  
*Electronics Design*

**Molnkopplade Koldioxid Sensorer**  
Prototypkonstruktion och Strömmätningar

**Jonas Nygård Skalman**



**Mittuniversitetet**

MID SWEDEN UNIVERSITY

Campus Härnösand Universitetsbacken 1, SE-871 88. Campus Sundsvall Holmgatan 10, SE-851 70 Sundsvall.  
Campus Östersund Kunskapens väg 8, SE-831 25 Östersund.  
Phone: +46 (0)771 97 50 00, Fax: +46 (0)771 97 50 01.

**MID SWEDEN UNIVERSITY**

Electronics design division

**Examiner:** Benny Thörnberg, benny.thornberg@miun.se

**Supervisor:** Sebastian Bader, sebastian.bader@miun.se

**Author:** Jonas Nygård Skalman, jony1401@student.miun.se

**Degree programme:** Civilingenjör Elektroniksystem, 300 credits

**Main field of study:** Electronics

**Semester, year:** VT, 2017

## Sammanfattning

Dagens stora miljöutmaningar i form av förbränning av fossila bränslen och medföljande koldioxidutsläpp har också gjort att många individer blivit allt mer miljömedvetna. Avancerade sensor för att mäta koldioxid finns numera på marknaden i form av lågenergiförbrukande alternativ som Senseairs LP8. Att utveckla firmware och att bedriva utveckling med sådana avancerade sensorer är något som inte är speciellt enkelt för vanliga användare. I detta projekt har en plattform byggd på bluetooth och enkla gratis utvecklingsverktyg tagits fram. Denna prototyp ugör en grund för utvecklingen av ett klimatsmycke där CO<sub>2</sub> skall rapporteras till en molntjänst via mobiltelefon. Med prototypen har det utförts mätningar av strömförbrukningen genom att mäta urladdningstid av superkondensatorer, spänningsfallmätningar av cr2032 batterier samt kompletterande kapacitansmätningar av superkondensatorerna. Dessa mätningar visar att strömförbrukningen för prototypen ligger i intervallet 1-2 mA, beroende av vilka inställningar som önskas. Metoderna är väldigt enkla men ger en relativt god uppskattning av den totala strömförbrukningen.

**Nyckelord:** Senseair, CO<sub>2</sub>, LP8, Bluetooth, Superkondensator, Low-power.

## Förord

Detta rapport är ett examensarbete för kandidatexamen in Elektroniksystem på Mittuniversitetet. Examensarbetet omfattar 15 hp.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Henrik Rödjegård och alla andra hjälpsamma personer på Senseair för den hjälp, råd och tips jag har fått! Utan det hade det varit svårt att genomföra detta arbete. Jag vill också passa på att tacka Sebastian Bader på Mittuniversitetet, samt inte minst nära och kära för det stöd och uppmuntran de bidragit med.

Jonas Nygård Skalman

Sundsvall 2017

# Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	iii
Förord.....	iv
Innehållsförteckning.....	v
Terminologi.....	vii
<b>1. Inledning.....</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund och problemmotivation.....	1
1.2 Övergripande mål.....	2
1.3 Avgränsningar.....	2
1.4 Syfte och verifierbara mål.....	3
1.5 Rapportens upplägg.....	3
<b>2. Teoretisk bakgrund.....</b>	<b>4</b>
2.1 Bluetooth.....	4
2.1.1 Bluetooth low energy.....	5
2.2 Koldioxidsensor.....	5
2.2.1 Senseair LP8.....	6
2.3 Superkondensatorn.....	6
2.4 Mätningar av strömförbrukning.....	8
<b>3. Konstruktion och Implementation.....</b>	<b>9</b>
3.1 Val av komponenter och utvecklingsplattform.....	9
3.2 Implementation.....	9
3.2.1 Trådlös kommunikation.....	10
3.2.2 Koldioxidsensorn.....	11
3.2.3 Kraftförsörjning.....	12
3.3 Prototyp Klimatsmycke.....	13
<b>4. Metod.....</b>	<b>15</b>
4.1 Val av metod.....	15
4.2 Instrument och komponenter.....	15
4.3 Mätningar.....	15
4.3.1 Spänningsmätning cr2032.....	16
4.3.2 Kondensatormätning.....	16
4.3.3 Strömförbrukning med kondensator.....	17
4.4 Tillförlitlighet, reliabilitet och dataanalys.....	18
<b>5. Resultat och Analys.....</b>	<b>19</b>

5.1 Resultat spänningsmätning cr2032.....	19
5.2 Resultat kapacitansmätning.....	20
5.3 Resultat strömförbrukning.....	21
5.4 Analys mätvärden och mätmetoder.....	23
<b>6. Diskussion och slutsatser.....</b>	<b>25</b>
6.1 Slutsatser.....	25
6.2 Etiska och samhällliga aspekter.....	25
6.3 Fortsättning.....	26
<b>Referenser.....</b>	<b>27</b>
<b>Bilaga Programkod.....</b>	<b>30</b>
<b>Bilaga A.....</b>	<b>31</b>
<b>Bilaga B.....</b>	<b>32</b>

# Terminologi

## Förkortningar och akronymer

CO <sub>2</sub>	Koldioxid
BLE	Bluetooth Low Energy.
LP8	SenseAirs lågenergi koldioxidsensor.
SoC	Solution on Chip.
MODBUS	Kommunikationsprotokoll.
S8	SenseAir CO <sub>2</sub> sensor.
GAP	Generic Access Protocoll, Bluetooth protokoll.
GATT	Generic Attribute, Bluetooth protokoll.
IDE	Integrated Development Platform.
UUID	Universally Unique Identifier.
ADC	Analog to Digital Converter.
UART	Universal Asynchronos Transmission.
PCB	Printed Circuit Board.
MCU	Micro Controller Unit.
ESR	Equivalent Series Resistance.
NDIR	Non dispersive infrared sensor.
API	Applikationsprogrammeringsgränssnitt

# 1. Inledning

Dagens samhälle står inför stora klimatproblem med människans växande utsläpp av koldioxid ( $\text{CO}_2$ ) till atmosfären genom förbränningen av fossila bränslen [1]. Samtidigt kan det också konstateras att klimat och miljömedvetenheten i större städer som Stockholm har ökat [2]. Det är då inte orimligt att det skulle finnas en stor potentiell marknad för vanliga människor att själva kunna få en överblick av olika utsläpp. Då  $\text{CO}_2$  också kan fungera som en spårgas för andra föroreningar kopplade till förbränningen av fossila bränslen vid t.ex. fordonstrafik, så ges möjlighet att direkt se hur föroreningsnivåer förändras i en stad [3][4].

Avancerade sensorer är också något som inte har varit speciellt lämpligt för vanliga konsumenter att använda och utveckla då det är relativt komplicerat att utveckla firmware och stöd i form av mobilappar och eventuell radiokommunikation som t.ex. bluetooth [3]. Ett steg att främja denna utveckling och få fler hobbyister att använda sig av en mer avancerad sensor, som en  $\text{CO}_2$  sensor kan då vara att ta denna utveckling ett steg på vägen och erbjuda en plattform för utveckling och skapa ytterligare intresse.

## 1.1 Bakgrund och problemmotivation

Projektets bakgrund grundar sig i att Senseair 2016 vann en tävling som heter Boost Innovation. Det vinnande förslaget, MoHair lämnades av en engelsk design student. Förslaget gick ut på att använda koldioxidbaserade sensorer som en del av ett klimatsmycke. Smycket skall representera miljömedvetenhet samt bidra med användbar data om luftkvaliteten. Smycket är tänkt att fungera som en mätstation för koldioxid och skall kunna kommunicera med en mobiltelefon genom en app. I appen skall det kunna utläsas tidpunkt, position samt den uppmätta koldioxidhalten. Denna information skall sedan kunna delas med alla andra användare samt bidra med användbar miljödata till myndigheter.

Nyligen gjorda försök som t.ex. University of British Columbia utförde i Vancouver, där de använde mobila sensorer för att vid två tillfällen (sommar och vinter) mäta  $\text{CO}_2$  nivåer i staden och därefter skapa en karta med  $\text{CO}_2$  halter för stadens gator [4]. Med klimatsmycken så skulle detta kunna ske i en större omfattning och kontinuerligt i realtid.

Senseair har idag en demonstrationsplattform baserad på en  $\text{CO}_2$  sensor av typ S8. Denna sensor är uppkopplad mot mobiltelefonen genom WiFi.

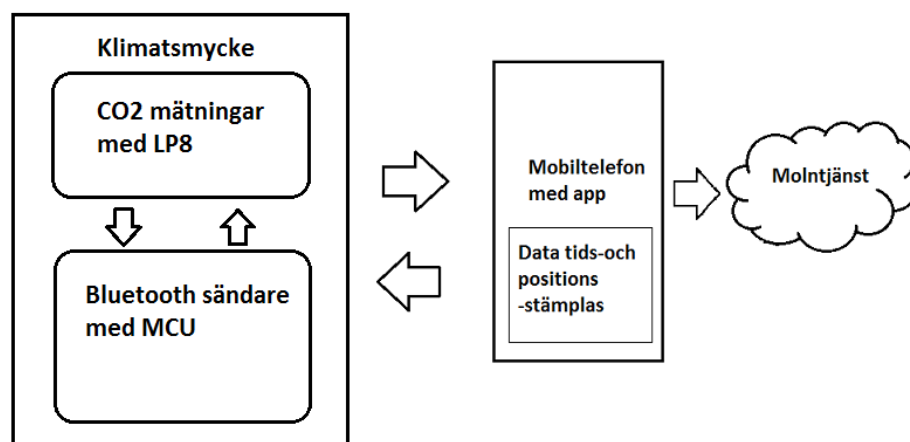


Med ett 2000 mAh uppladdningsbart batteri uppnås idag en drifttid på cirka fyra timmar. Problemet med denna plattform är att den är energikrävande och har en relativt stor formfaktor, med ett för stort batteri för att lämpligt kunna anpassas till ett smycke.

För att förverkliga utvecklingen av ett klimatsmycke så behövs den nuvarande plattformen förbättras genom att minska i storlek samt batteritiden förlängas. Den nya plattformen bör också fungera som en idé-skapande plattform och därmed bör utvecklingsdelarna släppas som en open-source plattform.

## 1.2 Övergripande mål

En färdig produkt skall bestå av en batteridriven CO<sub>2</sub> enhet som kommunicerar med mobiltelefon och därefter laddar upp CO<sub>2</sub> halt, tidsdata och position till en molntjänst. En schematisk bild över hela konceptet presenteras i Figur 1.



Figur 1: Schematisk bild av konceptet för klimat smycket

Själva smycket mäter CO<sub>2</sub> och därefter tids och positionsstämplas data i en mobil app för att slutligen laddas upp till en molntjänst.

## 1.3 Avgränsningar

Då klimatsmycket skall kommunicera med en mobiltelefon så är valet antingen WIFI eller bluetooth för den trådlösa kommunikationen, då dessa ingår som standard i de flesta mobiltelefoner. Då WIFI förbrukar mer energi än vad bluetooth gör [5], så föll valet på att använda bluetooth för att ytterligare förbättra batteritiden.

Uppdraget var också att inom projektet ta fram en teknisk lösning som kan fungera som bas för en open-source plattform. Hårdvarudelen måste kunna kommunicera med Senseairs LP8 sensor samt vidare med en mobiltelefon. Inom kommunikationsdelen skall CO<sub>2</sub> data också kunna utläsas på mobiltelefonen. Plattformen bör ha en formfaktor som kan anpassas till ett smycke (liten storlek). Lösningen måste också kunna drivas med hjälp av batteri och vara enkel att använda och utvärdera då plattformen även skall lämpa sig för användning av hobbyister och elektronikentusiaster.

#### **1.4 Syfte och verifierbara mål**

Med bakgrund i dessa komponenter blir då projektets och rapportens syfte att med så enkla utvecklings och mätmetoder som möjligt utföra och verifiera.

- Kommunikation med LP8: Att kunna ta CO<sub>2</sub> data från LP8 samt utläsa denna information på en mobiltelefon.
- Batteritid: Att plattformen skall kunna drivas minst en arbetsdag (8 timmar) på batteridrift med en mätfrekvens av minst en CO<sub>2</sub> mätning per minut.
- Liten formfaktor: Att få plats i ett hårsmycke. Dimensioner mindre än 60x30x20 mm.

#### **1.5 Rapportens upplägg**

Rapporten är upplagd med en teoretisk bakgrund där bluetooth och CO<sub>2</sub> sensor i form av Senseairs LP8 kortfattat sammanfattas. En bakgrundsbeskrivning av superkondensatorer och strömmätningar genomgås. Detta som bakgrund för de strömmätningar som genomförs.

I kapitel 3 fins en konstruktionsgenomgång av den prototyp som byggts och använts som bas för mätningar. I kapitel 4 beskrivs de metoder som använts utförligt och resultat och analys bearbetas i kapitel 5. Slutligen avslutas rapporten med de slutsatser som kunnat iakttas.

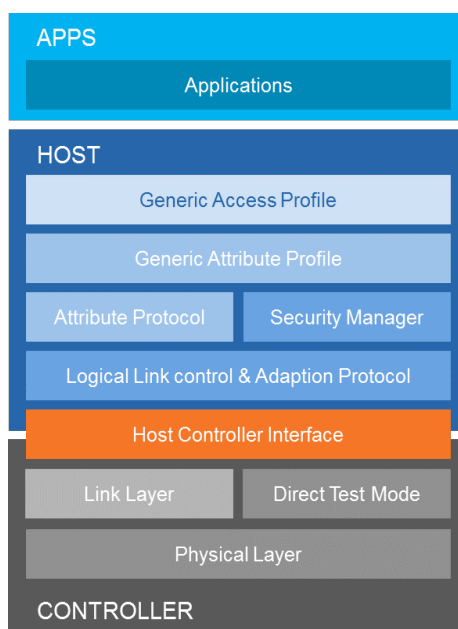
## 2. Teoretisk bakgrund

För att kunna tillgodogöra sig informationen i rapporten är det viktigt att känna till en del om hur teorin bakom bluetooth och SenseAirs LP8 sensor fungerar. Av väsentlig vikt är också bakgrundsfakta om superkondensatorer och strömmätningar av batteridrivna system med breda dynamiska intervall i strömförbrukningen.

### 2.1 Bluetooth

Bluetooth är ett samlingsnamn för ett antal olika kommunikations protokoll som avser att använda sig av lågenergi radiosändare vid trådlös dataöverföring. Bluetooth använder sig av radiofrekvenser på 2,4 GHz och fungerar genom master – slave kommunikation [6]. Bluetooth finns i olika varianter, såsom bluetooth BR/EDR för högkvalitets-streaming, bluetooth low energy (ble) för energisnålare applikationer, samt nyare versioner som bluetooth 5,0 speciellt framtagen för användning som radio fyrar och andra Internet of Things (IoT)-projekt [7].

Inom bluetooth återfinns den så kallade bluetooth stacken, vilken innehåller alla de olika kommunikationslagren.



Figur 2: Bluetooth protokoll stack. Från [bluetooth.com](http://bluetooth.com) [7]

I Figur 2 kan alla lager i bluetooth stacken ses. Överst ligger applikationer, nedanför finns Generic Access Profile (GAP), Attribute Protocol (eller Generic attribute protocol, GATT) är något som endast används med blu-

etooth low energy (ble). Nedanför dessa finns protokoll för säkerhet, Security Manager, Logical link control and adaptation protocol. Efter det följer Host controller interface med Link layer (länklager) med ett Direct test mode (test lager) och slutligen Physical layer (fysiska lagret).

### 2.1.1 Bluetooth low energy

Principen för bluetooth low energy (ble) är att spara på strömförbrukningen genom att minska på tiden då radiosändaren är aktiv. Detta åstadkoms genom användning av så kallade interrupts, där radiosändaren går inaktiv i vissa intervall. [8]

När två stycken ble enheter skall kontakta varandra, startar det med att en enhet fungerar som sändarenhet. Där sändarenheten skickar ut paket med information om själva enheten, så kallade sändare packet (eng = advertisement packets). När den andra ble enheten lyssnar efter och upptäcker dessa paket så kan den starta en par process, där den först skickar ut en kontakt begäran till sändarenheten, först därefter kan en parprocess initieras. [6][8]

Efter att kontakt har etablerats så kan master enheten initiera kommunikation när helst den vill via en länklager kontrollsekvens [6]. Slave enheten kan endast antyda längre eller kortare kontaktintervaller till mastern. Den kan också antyda så kallade slavelatency, vilket innebär att den inte lyssnar under ett visst antal kommunikations-cykler för att spara energi [6][8].

Studier har visat att för ble återfinns ett samband mellan vilka kontaktintervall, slavelatency och vilken prestanda ble levererar i form av effektförbrukning, genomströmning (eng= troughput) samt fördröjningar i datakommunikationen [8].

## 2.2 Koldioxidsensor

Ett antal olika tekniker existerar för att uppmäta halter av en gas. Några exempel är, elektrokemiska metoder, kiselbaserade och infraröd (IR)-baserade detektorer [3].

De sensorer som Senseair bygger och är specialiserade på, är sensorer baserade på IR teknik i form av så kallade non dispersive infrared spectroscopy (NDIR). Denna teknik bygger på spektroskopi och att ljus med en speciell våglängd absorberas i gasmolekylerna. Ett filter placeras därefter mellan detektor och ljuset så att enbart de sökta våglängderna

absorberas. Dessa absorptioner kan i sin tur mätas genom att applicera Beer-lamberts lag.[9][10]

### 2.2.1 Senseair LP8

Senseairs LP8 är en så kallad smart CO<sub>2</sub> sensor som kan mäta koncentrationer mellan 0 – 10 000 ppm CO<sub>2</sub> [11]. Sensorn har en inbyggd mikrokontroller (mcu), lampa, detektor, speglar, termometer, medföljande kalibreringsalgoritmer samt ett kommunikationsprotokoll för kommunikation med andra enheter. LP8:an är en sensor som bygger på värd-slav protokoll och då LP8 fungerar som slav [12].

LP8 sensorn är speciellt anpassad för låg energiförbrukning, då den har speciella design implementationer anpassade just för lågenergi. Med låg strömförbrukning, speciellt framtagna för användning med batteridrivna enheter har den vissa speciella funktioner. Några av dessa energisparfunktioner är att lampan som sitter i LP8:an är av en annan typ med lägre energiförbrukning men också en något lägre ljusintensitet än de andra lampor som sitter i Senseairs övriga sensorer. Detta medför i sin tur en något lägre precision i mätningarna men medför istället avsevärda förbättringar när det gäller effektförbrukning. En annan tillämpning är att själva sensorn helt stängs ned mellan mätningar och att hela sensorns minne och tillstånd behövs sparas i värdens mcu [12].

LP8:an använder ett uart modbus protokoll för att kommunicera med andra enheter. Vid operation så styrs hela enheten av en master enhet, som styr när LP8 slås av och på. Master-enheten sparar dessutom hela sensorns minne och status mellan mätningar för att sedan skriva tillbaka dessa värden innan nästa mätning. [12]

## 2.3 Superkondensatorn

Superkondensatorn (även ibland kallad ultrakondensator eller electric double layer capacitor, EDLC) är kondensatorer med en väldigt hög kapacitans och effekt densitet [13][14]. Kapacitansen ligger ofta från hundratals millifarad upp till flera hundratals farad, med en formfaktor som kan anses tillhöra vanliga kondensatorer [15].

Genom det välkända sambandet mellan kapacitans och fysisk storlek för en vanlig plattkondensator.

$$C = \epsilon_r \epsilon_c \frac{A}{d} \quad (1)$$

Där  $A$  är area,  $d$  avståndet mellan elektroderna och  $\epsilon_r$ ,  $\epsilon_c$  är fysikaliska konstanter. Det kan enkelt konstateras att genom en drastisk ökning av ytarean och minskning av avståndet  $d$  mellan katod och anod så uppnås mycket högre kapacitanser. Detta åstadkoms genom att använda så kallade dubbellager, där kol med mikro-porer används som elektroder, dessa är omgivna av elektrolyt och en separator [14].

Det dielektriska lagret mellan katod och anod är oftast inte tjockare än några nanometer. Detta bidrar dock i sin tur att den spänning som kan appliceras över kondensatorn blir mycket lägre än i vanliga kondensatorer. Detta beror på att det elektriska fältet blir väldigt starkt mellan de olika lagren i superkondensatorn. [16]

Detta kan ses genom förhållandet för en plattkondensator där det elektriska fältet ges av förhållandet mellan den potentiella skillnaden mellan katod och anod samt separationsavståndet.

$$E = \frac{V}{d} \quad (2)$$

Där  $E$  är storleken på det elektriska fältet (V/m),  $V$  är antalet volt och  $d$  är separationsavståndet i meter. Exempelvis med ett avstånd på 10 nm och en potentialskillnad på 2,5 V ges ett elektrisk fält på.

$$\frac{2,5}{1 \cdot 10^{-8}} = 250\,000\,000 \text{ (V/m)} \quad (3)$$

Vid konstruktion kan det liknas vid att ett flertal celler sammankopplas till en enda stor kondensator [17].

Några vanliga modeller för superkondensatorns beteende gällande bland annat dess ekvivalenta seriella motstånd (eng = Equivalent series resistance, ESR) utgörs av RC-element. En första modell använder sig enbart av ett enda RC-element medans andra modeller tar hänsyn till flertalet parametrar och då behöver flera RC-element med olika tidskonstanter för att ta hänsyn till flertalet fysiska parametrar [18].

Superkondensators urladdning kan också modelleras relativt bra som flertalet RC-element parallellkopplade med varandra [19].

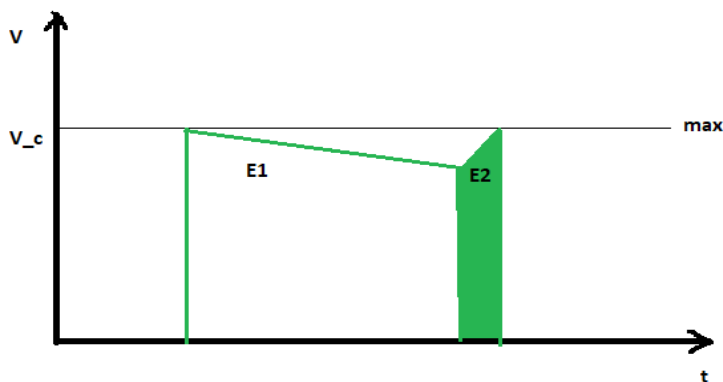
Livslängden för en superkondensator är beroende av flertalet parametrar. Som lagringstemperatur, använd spänning över kondensatorn samt vilken ström som dras ur den. Exempelvis sjunker kondensatorns livslängd med en faktor två vid en lagringstemperaturökning av 10 °C. Kondensa-

torns livslängd visar sig främst som ett högre ESR värde men även den totala kapacitansen påverkas.[17]

## 2.4 Mätningar av strömförbrukning

Att mäta strömförbrukning hos en krets som har en stor dynamisk bredd på sin effektförbrukning och korta arbetscykler, är inte en trivial uppgift. Vanliga mätmetoder som att använda en shunt-resistor eller strömprobe till oscilloskop stöter på problem då det kan vara svårt att synkronisera oscilloskopet till olika event [5]. Flertalet specialiserade instrument finns på marknaden för att mäta effektförbrukning i inbyggda system (eng = embedded systems) [20]. Nackdelen är att de ofta kan vara relativt dyra. Exempelvis ligger priset för Agilent N6705 DC på 66 000 kr och National Instruments DAQ tools ligger på minst 10 000 kr hos Elfa juni 2017 [21].

En annan vanlig metod för att mäta strömförbrukningen är med en så kallad  $\Delta E$ -metod. Metoden bygger på att passiva komponenter utnyttjas och att sedan integrera spänningen över en kondensator, vilket ger en direkt uppskattning av den totala energikonsumtionen hos det inbyggda systemet.[22] Den förbrukade energin i kondensatorn ackumuleras över tiden med antal uppladdningar.



Figur 3: Illustration över energin i en kondensator

Som Figur 3 visar kan då energiförbrukningen uppskattas genom att summera alla dessa bidrag från kondensatorn genom.

$$E_{kondensator} = \frac{1}{2} CV^2 \quad (4)$$
$$\Delta E = \sum E_i$$

Från (4) kan det ses att genom summation av alla bidrag så fås den totala energiförbrukningen. [22]

## 3. Konstruktion och Implementation

Prototypkonstruktionen består av tre stycken olika delar baserade på de givna projektspecifikationerna. En bluetoothmodul, en CO<sub>2</sub> sensor samt en kraftförsörjningsmodul. Dessa komponenter har kopplats samman för att skapa en utvecklingsplattform för fortsatt utveckling samt test och verifikation av systemet.

### 3.1 Val av komponenter och utvecklingsplattform

Valet av CO<sub>2</sub> sensor samt bluetoothmodul har baserats på formfaktor, utvecklingsmöjligheter samt strömförbrukning.

Valet av bluetoothmodul föll på Redbearlabs ble nano utvecklingsplattform. Denna plattform innehåller ett litet utvecklingskort (ble nano) med ett SoC chip från Nordic semiconductors (nrf51822). Ett usb kort med inbyggd programmerare (mk20) för nrf51822 chippet. Processorn i nrf51822 är en ARM M0 med ett flashminne på 256/128 kB och ett RAM minne på 32/16 kB. På ble nano kortet återfinns också en extern oscillator på 32 MHz samt en spänningsregulator. Kortet kan matas med spänningar upp till 13 V. Detta medför att kortet blir flexibelt vid val av strömförsörjning samt dess lilla formfaktor (18,5 × 21,0 mm) passar bra vid en prototyp av ett smycke. Plattformen kan programmeras via Arduino, GCC, Keil eller ARM mbed. Strömförbrukningen hos ble nano är ej specificerad i datablad.

Två cr2032 knappcellsbatterier har använts som spänningskälla. En kondensator har parallellkopplats mellan katod och anod för att hjälpa till vid höga strömtoppar. Den kondensator som har använts är en elektrolytisk kondensator på 10 mF, 16 V av märket Jamicon.

På mobilsidan vid kommunikation så har en iphone 6s använts med appen, Lightblue (gratisversion). Denna app kan paras med ble nano samt utläsa notifikationer och UUID data som skickas över bluetooth.

### 3.2 Implementation

All kod till ble nano kortet är skrivet i ARMs mbed utvecklingsplattform (eng. = integrated development platform, IDE). Valet av denna IDE var dess lättillgänglighet och med en kostnadsfri webbaserad kompilator. Plattformens utförliga dokumentation samt den enkla tillgängligheten att komma åt källkoden för ARMs mbed applikationsprogrammeringsgränssnitt (API) samt bluetooth API. Det är även enkelt att publicera och importera färdiga program och bibliotek, vilket bidrar till att göra det till ett

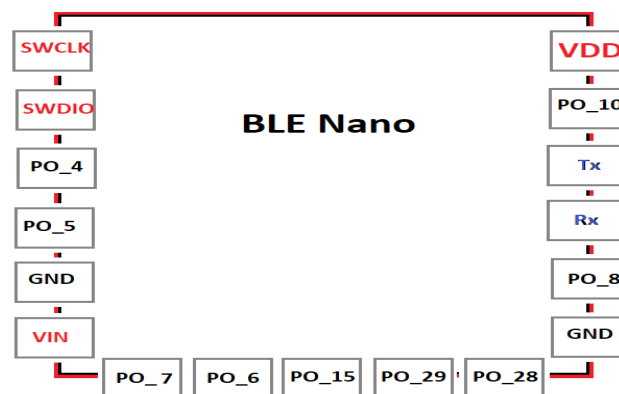


utmärkt val som startpunkt för att komma igång med vidareutveckling för alla potentiella användare.

### 3.2.1 Trådlös kommunikation

Kommunikation mellan ble nano och mobiltelefon sker genom bluetooth. Kommunikationen går till så att efter att ble nano och mobiltelefonen har parat ihop sig så lägger ble nano nya CO<sub>2</sub> värden till en GATT server som körs på ble nano kortet. Denna GATT server tar CO<sub>2</sub> värdena från en buffert under specificerade intervall ( $16\text{ s} < t < 30\text{ min}$ ) och skickar dessa värden vidare som notifieringar.

Ble nano har 17 pinnar för kontakt med omvärlden. Dessa består bland annat av VDD som kan användas för att strömförsörja andra enheter med en matningsspänning på 3,3V. Denna VDD är lämplig att strömsätta LP8 med för att garantera att spänningen alltid ligger på 3,3 volt. [23]



Figur 4: Schematisk bild över Ble nano kort i konfiguration 1 med in- och utgångar. [23]

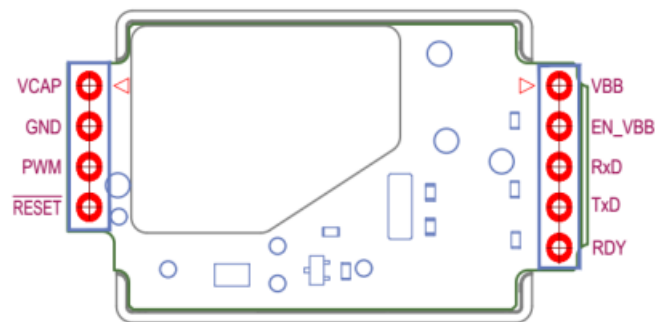
I Figur 4 kan alla in och utgångar i ble nano kortet ses. SWCLK och SWDIO används för programmering av kortet, PO<sub>4</sub>-PO<sub>28</sub> kan användas för flera syften som exempelvis digitala in/ut gånger. VIN kan acceptera matningsspänningar på upp till 13 volt. Tx och Rx används för uart kommunikation samt GND är jordkontakter.

Strömförbrukning hos ble nano är inte specificerad i något datablad och hela dokumentationen kring kortet och dess programmeringsmodul är ej heller väldokumenterat eller speciellt lättillgängligt. Själva nrf51822 chipet har strömtoppar på upptill 16 mA vid +4dbm för Tx (radiosändare) samt ca 13 mA för Rx [24]. Då ble nano kortet också har en spänningsre-

gulator medför det att den totala strömförbrukningen blir relativt okänd om inte några mätningar utförs.

### 3.2.2 Koldioxidsensorn

Senseairs LP8 används som CO<sub>2</sub> sensor, denna sensor är till den fysiska storleken exakt lika stor som den tidigare prototypens S8 sensor. LP8 har nio stycken olika pinnar för kommunikation med omvärld. Dessa pinnar är Tx, Rx lina för uart kommunikation. Av och på signal (VBB\_EN), ready (RDY) signal. Strömförsörjning till lamp (VCAP) och mcu (VBB), en för jord (GND) samt en för reset (RESET) och en sista pulse width modulation (PWM).



Figur 5: Senseair LP8 pinconfiguration. Från LP8 datablad [12]

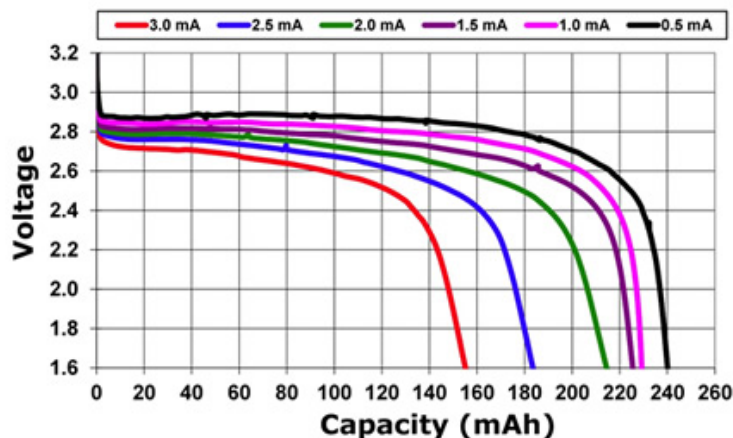
LP8 är gjord för att mäta vid intervaller som är längre än 16 sekunder, då mätningarna av CO<sub>2</sub> är temperaturberoende kan lampan bli varm vid kortare intervall och säkerheten i mätningarna kan ej garanteras.

Vid operation så drar LP8:an som max ca 140 mA vid varje mätning medans medelströmförbrukningen ligger runt 600  $\mu$ A vid intervallmätningar på en minut [12]. Då LP8 lampan drar upp till 140 mA vid varje mätning och maximal matningsström på VDD ut på ble nano kortet är relativt okänt så behövs en extra energibuffert där emellan i form av en kondensator. Till detta syfte valdes en 220  $\mu$ F ytmonterad kondensator. Utan denna kondensator kan det bli spänningsfall och bluetooth kan kopplas ifrån, vilket observerades under konstruktion och test av prototyp.

### 3.2.3 Kraftförsörjning

Då ble nano kortet innehåller en spänningsregulator innebär det att prototypen kan matas med en stor variation av potentiella kraftkällor. För denna prototyp har två stycken vanliga cr2032 batterier valts. Detta för att de är väldigt lättillgängliga och kan köpas i de flesta välsorterade butiker. Dessa batterier har dock ofta en hög serieresistans och för att inte orsaka alltför stora spänningsfall då prototypen drar maximal ström så behövs en kondensator kopplas in för att hjälpa vid strömtoppar.

Vid användning av cr2032 batterier kan användandet av en kondensator också bidra till att förlänga batteritiden då den i sin tur bidrar till att minska höga strömpulser som kan behövas vid inbyggda system [25]. Detta kan också illustreras genom att titta på typiska urladdningskurvor för cr2032 batterier, se Figur 6 [26].

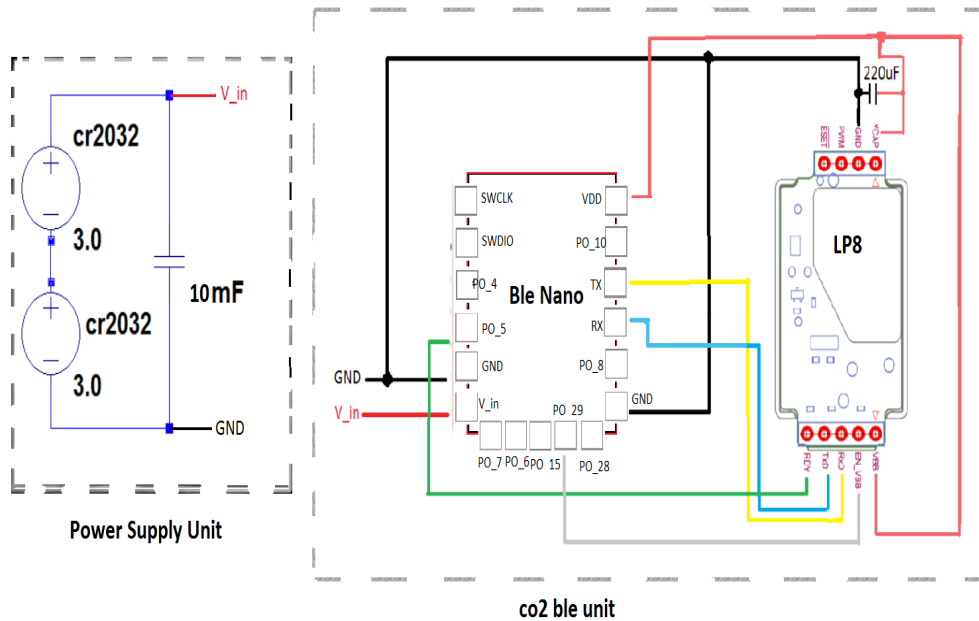


Figur 6: Typisk urladdningskurva för cr2032 batteri. Från <http://www.low-powerdesign.com> [26]

Figur 6 visar hur urladdningskurvorna typiskt kan se ut för cr2032 batterier för olika konstant strömförbrukning.

### 3.3 Prototyp Klimatsmycke

Den totala prototypen ser då ut på följande sätt.

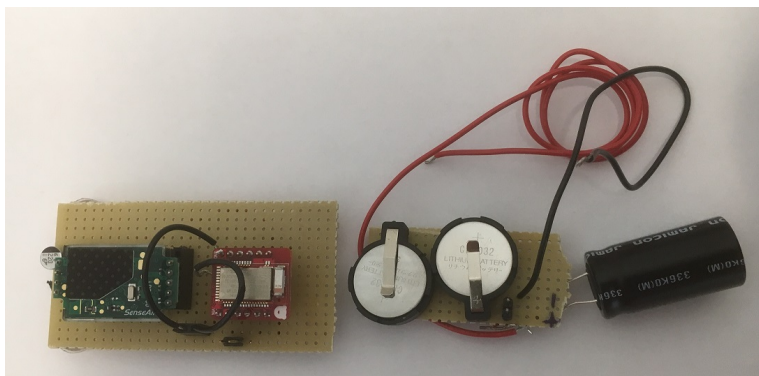


Figur 7: Prototyp konfiguration för klimatsmycke.

Figur 7 Visar de komponenter som ingår i prototypen sammankopplade i prototypkonfigurationen för klimatsmycket. Längst till vänster är strömförsörjningsenheten med hjälpkondensator, i mitten är ble nano och längst till höger är LP8. Kopplingarna är PO\_29-EN\_VBB, Tx-Rx, Rx-Tx, PO\_5-RDY, VDD-VCAP/VBB, GND-GND och V\_in-V\_in.

Den extra kondensatorn placerad mellan VCAP och GND är till för att hjälpa till vid mätningarna då LP8 drar uppåt 140 mA och VDD på BLE nano kan ej leverera denna maximala strömtopp. Vilket kan resultera i spänningsfall och bortkoppling mellan prototyp och mobiltelefon.

Den fysiska prototypen som konstruerats utifrån Figur 7 visas i Figur 8 i form av ett fotografi.



Figur 8: Foto av prototyp

I Figur 8 visas den fysiska prototypen som testats. Längst till vänster syns Senseairs LP8, bredvid den med den röda PCBn sitter ble nano. Till höger syns de två cr2032 batterierna och den stora 10000  $\mu$ F kondensatorn som använts vid kraftförsörjning.

För själva kommunikation med iphone 6s över ble till appen lightblue så visas ett exempel från den verkliga kommunikationen i Figur 9.



Figur 9: Kommunikation  
mellan prototyp och  
mobiltelefon.

I Figur 9 syns kommunikation med prototypen via appen lightblue. Nytt mätvärde tas var 20:e sekund och det senaste värdet som visas här är på 510 ppm. Under ppm värdena så visas en tidsstämpel för själva mätningen och längst upp visas namn på enhet samt UUID och status på parprocessen (Connected).

## 4. Metod

Projektets begränsningar ställer vissa krav på vilka mätmetoder som kan användas. Då budgeten för hela projektet är begränsad kan inte dyra mätinstrument köpas in enbart för att mäta strömförbrukning. Istället så måste lågkostnads alternativ försöka användas till största möjliga grad.

### 4.1 Val av metod

För att lösa detta problem och få en bra uppskattning av den genomsnittliga strömförbrukningen hos klimatsmycket så har enklaste möjliga metoder använts. Det har resulterat i att strömförbrukningen först har uppskattats med mätningar av spänningsfallet över ett batteri. En andra metod där kondensatorer har utgjort grunden för det huvudmoment vid försök att uppskatta medelförbrukningen hos prototypen. Till strömförbrukningsmätningarna så har kompletterande mätningar av kapacitans hos kondensatorerna utförts.

### 4.2 Instrument och komponenter

De instrument som har använts vid mätningarna av strömförbrukningen är: Fluke multimeter (fyra värdesiffror), modellnummer: 175. Digilent Analog Discovery. Manson Power supply, modellnummer: EP-613. Multimeter från Bitema (tre värdesiffror), modellnummer: 15-133.

Komponenter som har använts är två stycken superkondensatorer från Eaton, specificerade till 2,0 F (-20%, +80%), ESR på mindre än 250 mΩ och med en max spänningsbelastning på 2,5 V. Resistorn är en E-serie resistor på 75 ohm med en tolerans på  $\pm 5\%$ .

Då kondensatoreernas max spänning ligger på 2,5 V och prototypen behöver matas med en spänning på minst 3,3 volt så har två stycken av dessa kondensatorer sammankopplats i serie för att öka den totala spänningen.

### 4.3 Mätningar

De mätningar som är genomförda är tre stycken separata mätningar. Första mätningen i avsnitt 4.3.1 beskriver spänningsfall-mätningar på cr2032 batterier. Den andra mätningen i avsnitt 4.3.2, mäter kapacitansen i superkondensatorn. Den sista mätningen i avsnitt 4.3.3 undersöker strömförbrukningen i prototypen.

### 4.3.1 Spänningsmätning cr2032

Då prototypens totala förbrukning var relativt okänd genomfördes först spänningsmätningar över batteriet. Genom att mäta spänningen över batterierna och sedan jämföra med en känd urladdningskurva kan det ge en uppskattning av den totala energiförbrukningen. Om förbrukningen skulle vara så hög att batteriet dras ur helt, att enkelt konstatera medelförbrukningen genom att dividera batteritiden med batteriets specificerade amperetimmar.

Prototypen kördes med blink intervall på 20s, samtidigt som spänningen över batterierna uppmättes med regelbundna intervaller. Totalt drevs prototypen i över 36 timmar på två cr2032 batterier i serie med en hjälpkondensator på 10 000  $\mu\text{F}$  (10 mF). Över dessa 36 timmar togs 201 stycken olika mätpunkter på batterispänningen med hjälp av en multimeter. För de första 24 timmarna användes en Fluke multimeter och för de sista 12 timmarna så användes en enklare multimeter från Biltema.

Mätningarna utfördes under arbetsdagen från kl 08:00 fram till 16:00, därefter urkopplades batterierna och mätningarna fortsatte nästa arbetsdag. Detta skedde under tre efterföljande arbetsdagar för att sedan följas upp av ytterligare en mätning över ca 12 timmar på helgen från klockan 09:22 fram till 21:38.

### 4.3.2 Kondensatormätning

För att få en så noggrann uppskattning av medelströmförbrukningen som möjligt behöver kapacitansen för de två superkondensatorerna uppmätas. Kapacitansen hos de två kondensatorerna har uppmätts genom att de har laddats upp genom en vanlig RC-krets. Tidskonstanten vid ett steg-input bestäms av förhållandet.

$$1 - e^{-1} = 0,6321 \quad (5)$$

Vilket motsvarar 63,21 % av  $V_{in}$ .

Tidskonstanten för kondensatorn bestäms av förhållandet.

$$\begin{aligned} \tau &= R * C \\ C &= \frac{\tau}{R} \end{aligned} \quad (6)$$

Vilket gör att kapacitansen (C) enkelt bestämmas genom mäta tiden  $\tau$  samt resistansen (R) med en vanlig voltmeter.

### 4.3.3 Strömförbrukning med kondensator

Vid mätningar av strömförbrukningen med kondensator laddas två stycken kondensatorer upp var för sig till.

$$V_{C1} = V_{C2} = \frac{V_{max}}{2} \quad (7)$$

Kondensatorerna sammankopplas efter uppladdning i serie. Det ger då en total kapacitans på.

$$C_{total} = \frac{C_1 * C_2}{C_1 + C_2} \quad (8)$$

Och enligt spänningsdelning en total spänning på  $V_{max}$  enligt Kirchoffs spänningslag.

Utifrån det kända förhållandet mellan kapacitans, spänning och laddning.

$$C = \frac{Q}{V} \quad (9)$$
$$C * V = Q$$

Derivering med avseende på tid ger.

$$\frac{d}{dt}(C * V) = \frac{d}{dt} Q \quad (10)$$
$$C \frac{dV}{dt} = \frac{dQ}{dt}$$

Då C kan anses vara konstant. Med endast intresse av att mäta medelströmförbrukningen kan  $dV$  uppskattas genom.

$$dV = V_{max} - V_{stop} \quad (11)$$

Att fastställa  $dt$  från (10) blir då endast att mäta tiden det tar för spänningen att falla från  $V_{max}$  ner till  $V_{stop}$ . Medelströmförbrukningen fås genom att kombinera (10) och (11).

$$C * \frac{dV}{dt} = C * \frac{V_{max} - V_{stop}}{t_{mätning}} = i_{medel} \quad (12)$$

För att detta skall vara möjligt krävs dock relativt stora värden på kondensatorerna, då kondensatorn behöver kunna lagra tillräckligt med energi för att prototypen ska kunna utföra minst två stycken mätningar av  $CO_2$  halten. Det medför då en bättre uppskattning av medelströmförbrukningen.



#### 4.4 Tillförlitlighet, reliabilitet och dataanalys

Alla mätningar av strömförbrukningen (mha kondensator) samt de efterföljande mätningarna av kapacitansen utfördes under två konsekutiva dagar. Temperaturen i lokalen uppgick till ca 22°C under hela tiden.

Mätning av strömförbrukningen med hjälp av kondensatorer genomfördes genom att manuellt ladda upp vardera kondensator C1 och C2 till  $0,5 \cdot V_{\max}$ . Värdet på  $V_{\max}$  är fastställt genom dubbelkontroll med en Fluke multimeter. Efter att båda kondensatorerna laddats upp har de sammankopplats i serie genom en extra kabel och tids-mätningen startas därefter manuellt fram tills det att spänningen sjunker ner till  $V_{\text{stop}}$ , då den manuellt stoppas. Efter att tids-mätningarna genomförts har beräkningarna av strömförbrukningen genomförts i Matlab. I Matlab har mätdata bearbetats genom att förluster för läckage och multimetern subtraherats bort från mätningarna.

Kondensatormätningarna genomfördes under en och samma dag, mätdata samlades in med Analog Discovery och det medföljande programmet Waveforms 2015. I programmet loggas mätdata som därefter exporterats till Matlab för sammanställning, beräkningar och plottning.

Spänningsmätningarna för cr2032 batterierna startades kl: 12:37 och fortsatte fram till kl 16:00, därefter utfördes ytterligare mätningar från klockan 08:00 till 16:00 nästföljande dagar. Dessa mätningar gjordes under tre stycken efterföljande dagar med en Fluke multimeter. Efter dessa tre dagar så gjordes också en extra mätning med en multimeter från Bitema, dessa mätningar gjordes under en dag från 09:00 till 21:00.

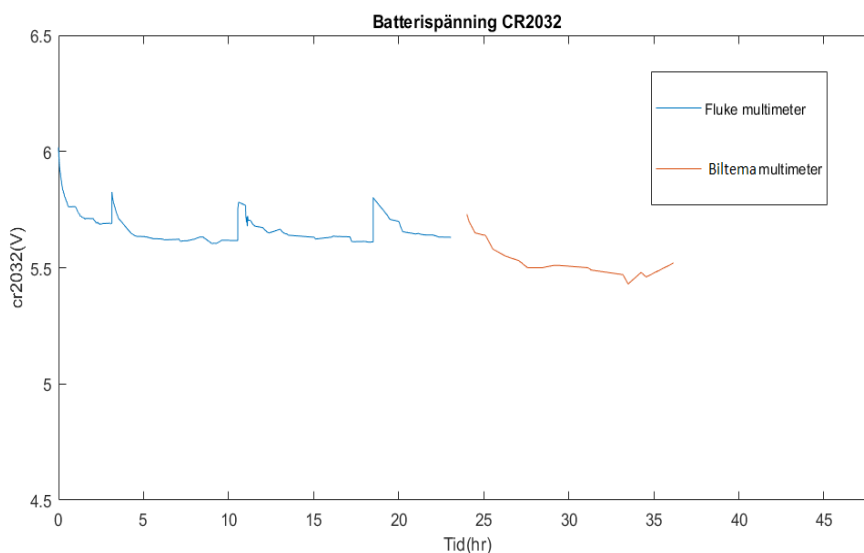
Data från cr2032 mätningarna har sammanställts från olika libreoffice kalkylblad (en för vardera mätning). Data har därefter importerats till Matlab där det har sammanställts och plottats grafiskt.

## 5. Resultat och Analys

Resultatet är uppdelat i tre avsnitt där resultatet analyseras löpande. 5.1 behandlar resultat från spänningsmätningarna av cr2032 batterierna. 5.2 behandlar resultat av kapacitansmätningar. 5.3 visar strömförbrukningsmätningar med superkondensatorer. Slutligen avslutas kapitlet med en analys av mätmetoderna.

### 5.1 Resultat spänningsmätning cr2032

Vid mätningar av cr2032 batteriernas spänning gjordes 206 mätningar utförda över totalt 36 timmar, se Figur 10. Rådata återfinns i bilaga B.



Figur 10: Spänningsmätningar cr2032.

Figur 10 visar hur batterispänningen för cr2032 batterierna varierade under 36 timmar. De toppar som kan utläsas med cirka 8 timmars intervall beror på att batterierna kopplades ur under natten och därmed verkar ha återhämtat sig.

Ingen signifikant påverkan på batterierna kunde detekteras vid jämförelse med till exempel urladdningskurvor från Figur 6. Variationen mellan mätningar utförda med Fluke multimetern och Biltema multimetern är ej signifikant nog för att avgöra om spänningen har börjat sjunka mer markant, då precisionen mellan de båda multimetrarna skiljer sig åt.

## 5.2 Resultat kapacitansmätning

Resistansen uppmättes till 75,8 ohm, vilket ger ett maximalt strömflöde till kondensatorn på.

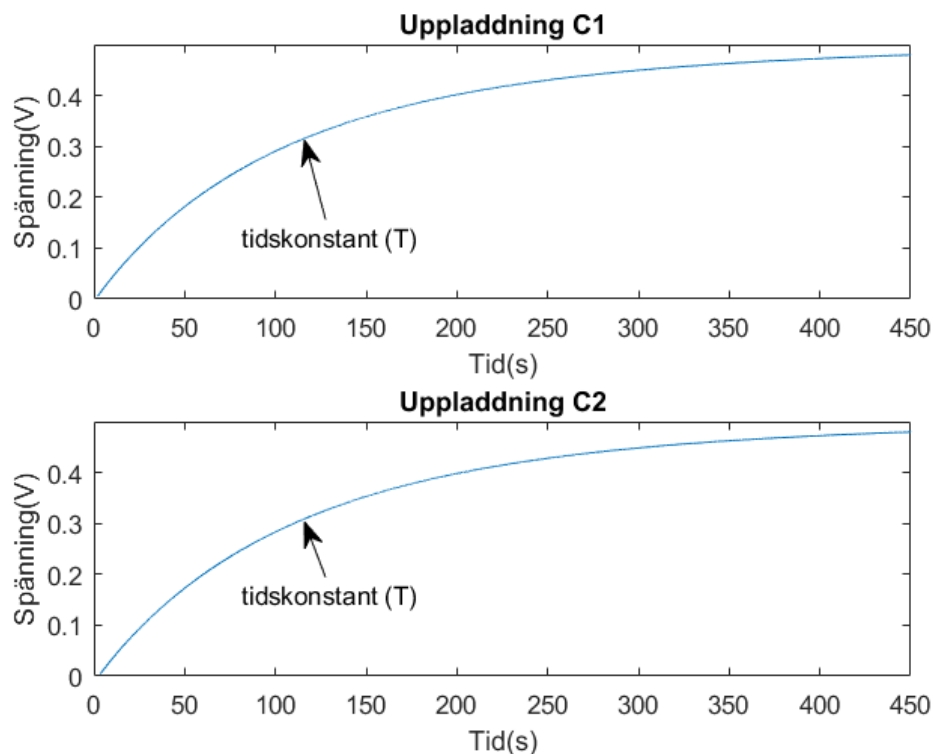
$$\frac{0,5}{75,8} = 6,60 \text{ mA}$$

ESR (< 250 mΩ) kan anses vara försumbar jämfört med R (75,8 Ω) i detta fall.

Med en spänningskälla som genererar ett steg-input på 0,506V ger det enligt ekvation (6) att tidskonstanten skall mätas vid.

$$0,506 * 0,6321 = 0,3198 \text{ V}$$

Vid mätningarna av uppladdningstid för C1 och C2 uppmättes följande resultat.



Figur 11: Uppmätning av tidskonstant för C1 och C2

I Figur 11 visas mätdata för kondensatorerna C1 och C2, där de laddas upp från 0-0,506V genom en RC-krets. Tidskonstanten visar var värdena har tagits ifrån.

Tidskonstanten för C1 uppmättes till 118,08s. Tidskonstanten för C2 uppmättes till 121,60s. Utifrån dessa värden kan C1 och C2 beräknas enligt ekvation (6).

$$C1 = \frac{118,08}{75,8} = 1,5579(F)$$

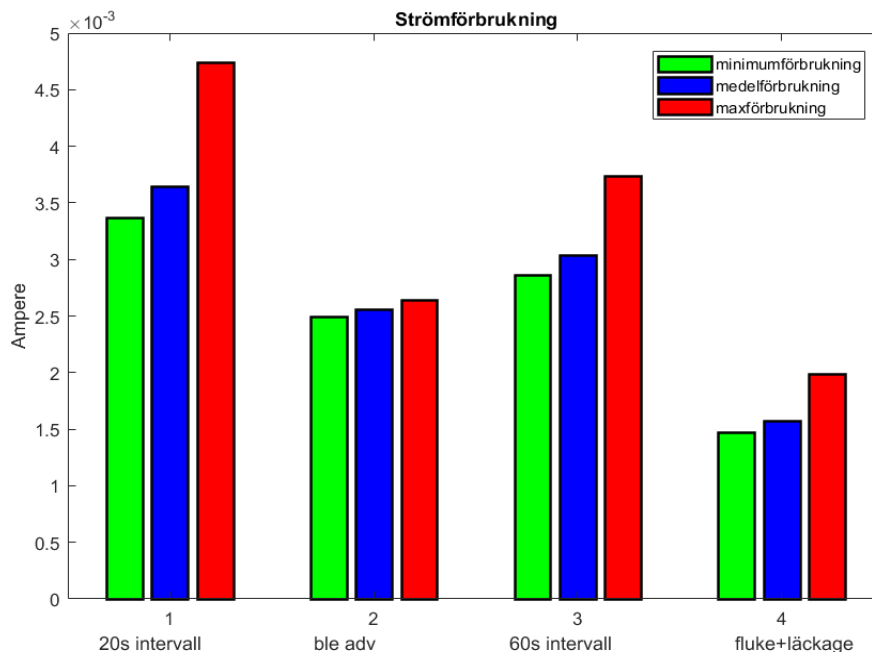
$$C2 = \frac{120,60}{75,8} = 1,5910(F)$$

Värdena på C1 och C2 ligger då precis under specifikationerna i databladet (1,6-2,8F) för Eaton superkondensatorer.

### 5.3 Resultat strömförbrukning

Strömförbrukningen uppmättes i fyra separata mätningar över totalt 45 stycken olika tids-mätningar. De olika mätningarna som gjordes fokuserade på prototypens förbrukning med olika intervaller i form av CO<sub>2</sub> mätningar var 20:e sekund respektive var 60:e sekund. Samt mätningar med enbart bluetooth-aviseringar (ingen kontakt med mobiltelefon). Som referens för förluster vid läckage hos kondensatorerna och multimeter utfördes också mätningar över enbart multimetern.

Genom applikation av ekvation (12) för uppmätt tidsdata för urladdningar från 4,090V ( $V_{\max}$ ) ner till 3,30V ( $V_{\text{stop}}$ ). Resultatet har sedan sammanställts i Figur 12 nedan.



Figur 12: Strömförbrukning för de olika inställningarna hos prototypen.

Ur Figur 12 kan de uppskattade strömförbrukningarna ses vid de olika inställningarna hos prototypen samt de uppskattade förlusterna över kondensator och multimeter.

Att notera vid detta resultat är att de maximala förbrukningsvärdena hos mätningarna vid blink-intervallerna skiljer sig rätt markant från den minimalt uppskattade förbrukningen.

För att uppskatta den verkliga strömförbrukningen hos prototypen så behöver värdena kompenseras för läckage och förlusterna från multimeter som kan ses i Figur 12.

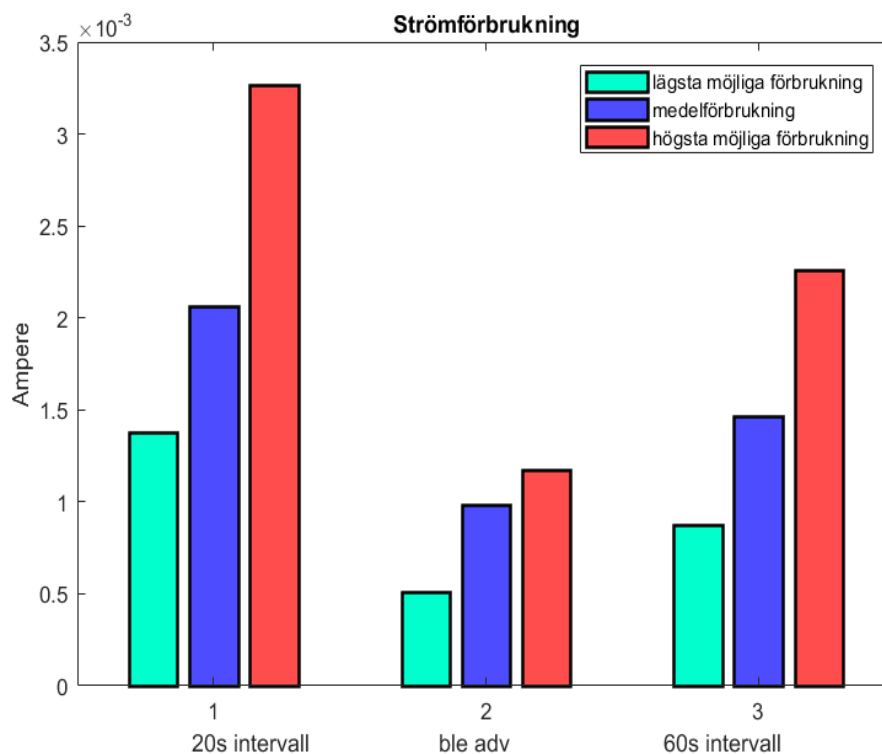
Principen för compensation var då enligt.

$$\max.tid('parameter') - \min.tid(multimeter + läckage) = \min.Förbrukning$$

$$\text{medelvärde}('parameter') - \text{medelvärde}(multimeter + läckage) = \text{medelförbrukning}$$

$$\min.tid('parameter') - \max.tid(multimeter + läckage) = \max.Förbrukning$$

Detta för att uppskatta bästa möjliga scenario och sämsta möjliga scenario samt det värde som troligen ligger närmast.



Figur 13: Strömförbrukning kompenserade för läckage hos superkondensatorerna och förluster från multimeter.

I Figur 13 visas de kompenserade mätvärdena vilket ger en uppskattning av den verkliga strömförbrukningen hos prototypen.

Med blinkningsintervall på 20 sekunder, är den ungefärliga medelförbrukningen 2,1 mA. För 60 sekunders blinkintervall ligger

förbrukningen på cirka 1,5 mA. För enbart ble aviseringar ligger förbrukningen i snitt på 1 mA.

## 5.4 Analys mätvärden och mätmetoder

Mätningar av batterispänning ger en bra uppskattning av batteritid och den genomsnittliga strömförbrukningen hos en enhet. Den stora nackdelen är dock att det kan kräva väldigt lång tid att ladda ur ett helt batteri om strömförbrukningen är låg och/eller med ett stort batteri. Då den totala strömförbrukningen var okänd utfördes dessa mätningar först. Initialt uppskattades att prototypen kanske bara skulle kunna fungera en dag eller två på cr2032 batterier, därav metoden. Efter 36 timmar med ingen märkbar försämring avbröts dessa mätningar med bakgrund i tidsåtgång.

Den totala strömförbrukningen för prototypen uppskattades till ca 1,5 mA med mätfrekvenser av CO<sub>2</sub> på 60 sekunder. Med två stycken cr2032 batterier i serie med en kapacitet på cirka 220 mAh så skulle då prototypen kunna drivas i  $\frac{220(\text{mAh})}{1,5(\text{mA})} = 146,7(\text{timmar})$  vilket motsvarar 6,1 dagar. Detta är troligen i minsta laget för att använda en-gångs cr2032 batterier. Ett bättre alternativ skulle då vara att använda någon form av uppladdningsbara batterier som laddas någon gång per vecka.

Resultat från de mätmetoder som använts ger att resultatet på strömförbrukningen, som ligger i intervallet ca 1-3 mA troligen stämmer relativt bra. Det som talar för att detta stämmer är spänningsmätningarna över cr2032 batterierna under 36 timmar. Andra stödande teser är bland annat de uppenbara skillnader mellan de olika inställningarna hos prototypen. Dessa kunde detekteras i strömförbrukningsmätningarna med superkondensatorerna och tyder på att mätningarna detekterar förändringar relativt bra. Sett till ett medel så låg dessa mätningar runt samma punkter.

Det som talar emot precisionen i mätningarna är att uppskattningen av kapacitansen skulle vara delvis felaktiga. Detta då tillverkaren för superkondensatorn inte rekommenderar metoder som att mäta tidskonstanten vid en RC-krets, då deras dielektriska egenskaper är väldigt absorberande [17]. De rekommenderar istället metoder som att mäta uppladdningstid med en konstant strömkälla på t.ex. en ampere [17]. Troligen ligger då nivåerna på kondensatorerna C1 och C2 en aning lågt i denna undersökning. Med en högre kapacitans så skulle det i sin tur resultera i en högre strömförbrukning hos prototypen.

En annan sak som talar emot precisionen för metoden är att studier har visat att det finns ett samband mellan självurladdningen (med läckage) hos superkondensatorer och tiden som de har befunnit sig i uppladdat tillstånd [19]. Detta skulle kunna förklara varför spänningen över kondensatorerna sjönk som snabbast och gav de kortaste tiderna vid de första mätpunkterna efter att kondensatorerna helt laddats ur. Vid de uppföljande mätningarna så urladdas inte kondensatorerna helt utan de laddas åter från ca 3,0V upp till 4,090V. Detta skulle i sin tur resultera i att resultatet för strömförbrukningen ligger aningen högre än ett verkligt värde. Detta fenomen skulle också kunna förklara de stora skillnader som kan observeras mellan max-och min-värde på strömförbrukningen i Figur 12.

Andra potentiellt möjliga orsaker till tiderna mellan urladdningarna av kondensatorerna skulle då kunna vara att en eller fler blinkningar kan ha medföljt under själva mätningen. Då antalet blinkningar ej räknades under tidsförloppet. Att fler blinkningar skulle kunna vara en orsak utgår då från att tidtagningen slogs på manuellt efter det att parprocessen mellan prototyp och mobiltelefon initierats. Då det utförts manuellt kan en blinkning ha utförts innan själva tidtagningen kommit igång, vilket skulle resultera i större skillnader i mättid.

Metodens precision är således troligen inte den bästa, då det förekommer ett antal osäkra parametrar kopplade till superkondensatorerna såsom kapacitans, urladdningstider och självurladdningsosäkerheter. Andra nackdelar med metoden är att den kräver en viss tidsåtgång, då tid behöver mätas för urladdning av kondensatorer. Vilket kan ta flera minuter och det kan behövas flertalet mätningar för att ge en relativt tillförlitlig uppskattning.

Metoden för strömmätningar skulle kunna utvecklas vidare med att karaktäriseringen av superkondensatorernas kapacitans istället sker med en konstant strömkälla enligt tillverkarens rekommendation. I denna mening kan det då också tyda på att superkondensatorn inte kan ses som en ideal kondensator i vanlig bemärkelse. Med det i betraktande så ställer det också i sin tur extra krav på kringutrustning vid mätningar och användning av dessa metoder blir beroende av vilken noggrannhet som användaren anses behöva. Då tiden som kondensatorerna varit uppladdade också påverkar självurladdning så behöver mätmetoden justeras genom att ta detta fenomen i beaktande för framtida mätningar.

## 6. Diskussion och slutsatser

Kapitel 6 går igenom i avsnitt 6.1 slutsatser för prototyp och kravspecifikation för projektet. Avsnitt 6.2 tar upp etiska och miljö aspekter som härrör från ett molnkopplat smycke. Avslutningsvis i avsnitt 6.3 så behandlas fortsatt arbete och framtida utvecklingsbehov.

### 6.1 Slutsatser

Den konstruerade prototypen uppfyller och även i vissa fall överstiger de uppställda specifikationskraven för en fungerande prototyp.

Kommunikationen mellan LP8, bluetooth modul och mobiltelefon är uppfyllt då användbar CO<sub>2</sub> data kan utläsas i realtid i mobiltelefonen.

Batteridrift på minst åtta timmar är uppfyllt, då batterier på 220 mAh klarade att försörja prototypen betydligt längre än en arbetsdag med mätfrekvenser av en mätning var 20:e sekund.

Formfaktorn för den fungerande prototypen ligger inom ramarna för specifikationerna för ett hårsmycke om det bortses från det faktum att strömförsörjningen haft tillskott av en stor elektrolyt kondensator. Detta är dock någonting som väldigt enkelt skulle kunna justeras vid en fortsatt utveckling. Prototypens totala storlek skulle också kunna ändras på ett enkelt sätt då den i nuvarande form är konfigurerad för test och utveckling.

Ett av huvudmålen i projektet var att i största möjliga grad använda enkla och billiga mät-och utvecklingsmetoder. Med användningen av beskrivna utvecklingsverktyg och mätmetoder så visas att det är möjligt att bedriva enkla lågkostnadsutvecklingar med relativt god prestanda även för vanliga användare utan tillgång till dyra instrument och programvara.

### 6.2 Etiska och samhällseliga aspekter

De etiska aspekter som ett färdigt klimatsmycke ställer är främst i form av potentiell övervakning. Detta skulle kunna uppstå om tids och positionsdata från mobiltelefonen på något sätt gick att koppla ihop med en enskild person genom appen eller molntjänsten. Det bästa sättet att undvika detta är inte skicka identitets information (ID) om användaren i största möjliga mån. Om det absolut behövs id data för en molntjänst så skall den åtminstone krypteras. Dock så ställer även detta problem i förhållande till en förtroendesituation till operatören av molntjänst / app. Det bör dock också nämnas att detta inte skulle vara i någon större grad



än vad som redan förekommer i form av alla plats tjänster som finns för mobila appar idag.

De positiva samhällsliga aspekterna som ett klimatsmycke skulle föra med sig är väldigt stora. Bland annat kan då användaren i realtid se hur nivåerna av CO<sub>2</sub> förändras och ligger över stora områden. Därmed ser de också potentiellt hur föroreningar ser ut i t.ex. staden. Andra fördelar är att om vissa myndigheter i realtid kan se hur utsläpp ligger i en stad och därmed kan de vidta åtgärder för att minska utsläpp och bygga bättre och mer miljövänliga städer. Om alla människor har tillgång till realtidsdata över CO<sub>2</sub> utsläpp kan de också få lättare att engagera sig och påverka myndigheter att utföra nödvändiga åtgärder.

Den negativa miljöpåverkan som tillverkningen av prototypen skulle innebära i form av vissa utsläpp vägs troligen upp flera gånger om av de mycket stora fördelar klimatsmycket skulle föra med sig. Då också smycket skulle vara fysiskt väldigt litet och inte bestå av miljöfarliga ämnen samt att den också redan använder befintlig teknik i form av mobiltelefon för kommunikation.

### 6.3 Fortsättning

Fortsatt utveckling för hela projektet är att konstruera en egendesignad mobil applikation samt sammankoppla allting i en molntjänst. För själva klimatsmycket kan formfaktorn minskas ytterligare genom att implementera allting på ett egendesignat pcb kort. För strömförbrukningen så kan nrf51822 chippet optimeras ytterligare genom att t.ex. stänga av hela uart protokollet, skicka data mer sällan som att spara ett antal mätningar i mikrokontrollerns minne och därefter skicka all data i en enda sändning. Dessa åtgärder skulle därmed kunna minska tiden som radiosändaren är aktiv och troligen spara relativt mycket strömförbrukning.

Det skulle också vara väldigt intressant att utveckla mätmetoden för strömförbrukningsmätningarna med superkondensatorerna ytterligare genom att ta med diskuterade parametrar som självurladdning och kapacitans och jämföra mot traditionella strömmätningametoder som shunt resistor mätningar.

## Referenser

[1]: [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)], Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014, IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

[2]: Sweco Eurofutures AB, Rapport Miljö och miljövanor i Stockholm 2013, 2014, Hämtad: 2017-05-24,  
[http://miljobarometern.stockholm.se/content/docs/me/2013/medborgarenkat\\_2013.pdf](http://miljobarometern.stockholm.se/content/docs/me/2013/medborgarenkat_2013.pdf)

[3]: McGrath, Michael. Scanail, Cliodhna, Sensor Technologies: Healthcare, Wellness, and Environmental Applications, 2013, sid. 32-33,  
<https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-1-4302-6014-1>

[4]: Lee, J. K., Christen, A., Ketler, R., and Nesic, Z., A mobile sensor network to map carbon dioxide emissions in urban environments, 20170301, Atmos. Meas. Tech., 10, 645–665, 2017, <http://www.atmos-meas-tech.net/10/645/2017/>

[5]: Roy Friedman, Alex Kogan, Yevgeny Krivolapov, On Power and Throughput Tradeoffs of WiFi and Bluetooth in Smartphones, , TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING, VOL. 12, NO. 7, JULY 2013

[6]: Bluetooth SIG, 20141202, Hämtad: 2017-05-23,  
<https://www.bluetooth.com/specifications/adopted-specifications>

[7]: Bluetooth SIG, bluetooth.com, Hämtad: 2016-05-23,  
<https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/how-it-works>

[8]: Gomez, Carles Oller, Joaquim Paradells, Josep, Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology, 2012, Sensors (Basel, Switzerland), 2012, Vol.12(9), p.11734-11753

- [9]: J Zosel, W Oelßner, M Decker, G Gerlach and U Guth, The measurement of dissolved and gaseous carbon dioxide concentration, 2011, Measurement Science and Technology, Volume 22, Number 7, <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0957-0233/22/7/072001/meta>
- [10]: Christine Hummelgård, Ingrid Bryntse, Maksym Bryzgalov, Jan-Åke Henning, Hans Martin, Markus Norén, Henrik Rödjegård, Low-cost NDIR based sensor platform for sub-ppm gas detection, 2015, Urban Climate 14, Part 3, (2015) 342-350, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095514000650>
- [11]: co2meter.com, LP8 Data Sheet, Hämtad: 2017-05-31, <https://www.co2meter.com/collections/co2-sensors/products/lp8-miniature-co2-sensor>
- [12]: co2meter.com, LP8 CO2 engine for battery-powered applications User's Guide Rev 1.16, , hämtad: 2017-05-31, <https://www.co2meter.com/collections/co2-sensors/products/lp8-miniature-co2-sensor>
- [13]: S. Sarangapani, J. Forchione, A. Griffith, A. B. LaConti, Baldwin, R., Some recent studies with the solid-ionomer electrochemical capacitor, 1991, Journal of Power Sources, 36 (1991) 341-361
- [14]: Burke, A.F, Batteries and Ultracapacitors for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles, 2007, Proceedings of the IEEE, April 2007, Vol.95(4), pp.806-820
- [15]: Eaton, Datasheet TV Supercapacitors, 2016, hämtad: 2017-06-01, <http://www.cooperindustries.com/content/dam/public/bussmann/Electronics/Resources/product-datasheets/bus-elx-ds-10554-tv-supercapacitors.pdf>
- [16]: Kötz, R. Carlen, M., Principles and applications of electrochemical capacitors, Electrochimica Acta, 2000, Vol.45(15), pp.2483-2498

- [17]: Cooper Bussman, PowerStor: Application Guidelines, 2007, hämtad: 2017-05-30, [http://www.cooperindustries.com/content/dam/public/bussmann/Electronics/Resources/technical-literature/Supercapacitors/BUS\\_Elx\\_App\\_Notes\\_App\\_Guidelines.pdf](http://www.cooperindustries.com/content/dam/public/bussmann/Electronics/Resources/technical-literature/Supercapacitors/BUS_Elx_App_Notes_App_Guidelines.pdf)
- [18]: Devillers, N. Jemei, S. Pera, M-C. Bienaime, D. Gustin, F, Review of characterization methods for supercapacitor modelling, Journal of Power Sources, Jan 15, 2014, Vol.246, p.596(13)
- [19]: Maximilian Kaus, Julia Kowal, Dirk Uwe Sauer, Modelling the effects of charge redistribution during self-discharge of supercapacitors, 2010, Electrochimica Acta, 2010, Vol.55(25), pp.7516-7523
- [20]: Žilvinas Nakutis, Power Consumption Measurement Methods Overview, 2015, hämtad: 2017-06-01, [https://www.researchgate.net/publication/266013699\\_Embedded\\_Systems\\_Power\\_Consumption\\_Measurement\\_Methods\\_Overview](https://www.researchgate.net/publication/266013699_Embedded_Systems_Power_Consumption_Measurement_Methods_Overview)
- [21]: Elfa, Elfa.se, hämtad: 2017-06-01, [www.elfa.se](http://www.elfa.se)
- [22]: Weber, Peter. Zipperer, Johann., Using Power Wisely, 20140211, , <http://www.newelectronics.co.uk/article-images/59420/P24-25.pdf>
- [23]: Readbearlab, Redbearlab.com, Hämtad: 2017-05-30, <http://redbearlab.com/blenano/>
- [24]: Nordic Semiconductor, nRF51822 Datasheet, hämtad: 2017-06-05, [http://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF51822\\_PS\\_v3.1.pdf](http://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF51822_PS_v3.1.pdf)
- [25]: Jensen, Mathias , Coin cells and peak current draw, hämtad: 2017-05-04, <http://www.ti.com/lit/wp/swra349/swra349.pdf>
- [26]: Tyzzer, Jeff, Extending battery life in ultra low power wireless applications, hämtad: 2017-06-05, <http://www.low-powerdesign.com/121312-article-extending-battery-life.htm>

## **Bilaga Programkod**

All programkod till projektet kan hittas under.

<https://developer.mbed.org/users/jony1401/code/SenseAirLP8/>

## Bilaga A

Mätvärden urladdning av superkondensatorer.

LP8+BLE 20s Fluke + läckage BLE Aviseringar LP8+BLE 60s			
Tid(s):	Tid(s):	Tid(s):	Tid(s):
167,0	376,0	233,0	165
173,0	403,0	246,0	201
177,0	388,0	239,0	204
183,0	391,0	239,0	208
181,0	390,0	247,0	187
175,0	310,0	237,0	195
148,0	389,0	237,0	208
130,0	411,0	241,0	208
160,0	412,0	242,0	214
176,0	408,0	242,0	215
178,0	419,0		214
181,0			213
<b>169,1</b>	<b>390,6</b>	<b>240,3</b>	<b>202,7</b>

## Bilaga B

Spänningsmätningar över cr2032 batterier.

Tid (hr, min)	Batterispänning (Volt)
12,37	6,018
12,37	6,001
12,38	5,999
12,38	5,999
12,39	5,995
12,39	5,988
12,39	5,980
12,40	5,976
12,42	5,946
12,44	5,926
12,46	5,913
12,47	5,910
12,48	5,906
12,49	5,900
12,50	5,892
12,51	5,889
12,52	5,879
12,53	5,876
12,54	5,871
12,55	5,867
12,56	5,860
12,57	5,856
12,58	5,850
13,00	5,846
13,02	5,833

13,03	5,831
13,04	5,831
13,05	5,830
13,06	5,828
13,06	5,825
13,08	5,821
13,14	5,803
13,17	5,800
13,21	5,790
13,27	5,780
13,30	5,774
13,31	5,770
13,32	5,768
13,33	5,765
13,34	5,763
13,36	5,762
13,37	5,763
13,39	5,759
13,43	5,753
13,46	5,750
13,48	5,744
13,49	5,742
13,50	5,742
13,52	5,739
13,54	5,737
13,56	5,732
13,59	5,732
14,00	5,730
14,02	5,727



14,04	5,724
14,05	5,721
14,08	5,722
14,11	5,720
14,15	5,718
14,17	5,716
14,19	5,718
14,22	5,714
14,23	5,714
14,25	5,714
14,28	5,714
14,31	5,710
14,33	5,708
14,34	5,710
14,35	5,712
14,38	5,711
14,42	5,710
14,44	5,707
14,49	5,703
14,53	5,700
14,59	5,693
15,02	5,692
15,08	5,696
15,11	5,690
15,18	5,689
15,21	5,686
15,23	5,689
15,28	5,687
15,35	5,690

15,38	5,692
15,41	5,690
15,44	5,689
15,46	5,689
15,51	5,691
Uppehåll:	
8,15	5,826
8,18	5,806
8,23	5,784
8,28	5,772
8,34	5,757
8,36	5,751
8,40	5,740
8,50	5,720
8,54	5,712
9,29	5,647
9,36	5,645
9,44	5,640
10,00	5,635
10,04	5,634
10,12	5,633
10,21	5,632
10,32	5,630
10,57	5,625
11,04	5,624
11,20	5,621
11,25	5,619

11,26	5,620
12,03	5,622
12,04	5,622
12,05	5,624
12,10	5,623
12,15	5,615
12,20	5,613
12,28	5,615
12,38	5,616
12,58	5,616
13,05	5,624
13,06	5,624
13,17	5,628
13,30	5,632
13,35	5,632
13,40	5,632
13,50	5,632
14,05	5,603
14,13	5,606
14,18	5,605
14,19	5,605
14,25	5,605
14,31	5,605
14,55	5,615
14,58	5,618
15,04	5,618
15,11	5,617
15,16	5,617
15,33	5,617

15,40	5,617
15,48	5,617
15,51	5,617
15,54	5,616
15,55	5,617
Uppehåll:	
8,05	5,752
8,10	5,782
8,11	5,768
8,12	5,728
8,13	5,714
8,14	5,714
8,15	5,705
8,16	5,700
8,17	5,696
8,18	5,718
8,20	5,687
8,22	5,679
8,23	5,723
8,26	5,704
8,38	5,704
8,41	5,701
8,42	5,701
8,50	5,691
8,55	5,686
9,06	5,679
9,13	5,672

9,30	5,658
9,47	5,649
10,15	5,666
10,27	5,654
10,39	5,648
10,57	5,644
11,00	5,640
12,15	5,631
12,22	5,623
12,39	5,625
13,21	5,632
13,23	5,636
13,55	5,634
14,04	5,635
14,08	5,634
14,24	5,633
14,35	5,613
14,42	5,612
15,13	5,613
15,25	5,611
15,43	5,610
15,45	5,610
15,53	5,611
16,00	5,611
16,01	5,610
Uppehåll:	
8,15	5,803

8,16	5,800
8,59	5,725
9,01	5,722
9,09	5,713
9,14	5,708
9,26	5,699
9,40	5,670
9,49	5,655
10,27	5,645
10,40	5,648
10,49	5,645
10,55	5,644
11,11	5,642
11,24	5,641
11,25	5,641
12,03	5,632
12,33	5,631
12,37	5,629
12,53	5,625
13,02	5,624
13,14	5,622
13,27	5,619

12 timmars mätning:

Tid:	Spänning:
9,22	5,73
9,23	5,73
9,35	5,70
10,11	5,65

10,24	5,64
10,32	5,64
11,16	5,58
11,51	5,55
12,29	5,53
13,20	5,50
14,06	5,50
14,32	5,51
15,05	5,51
16,34	5,50
16,54	5,49
18,41	5,47
19,11	5,43
19,48	5,48
20,17	5,46
21,38	5,52