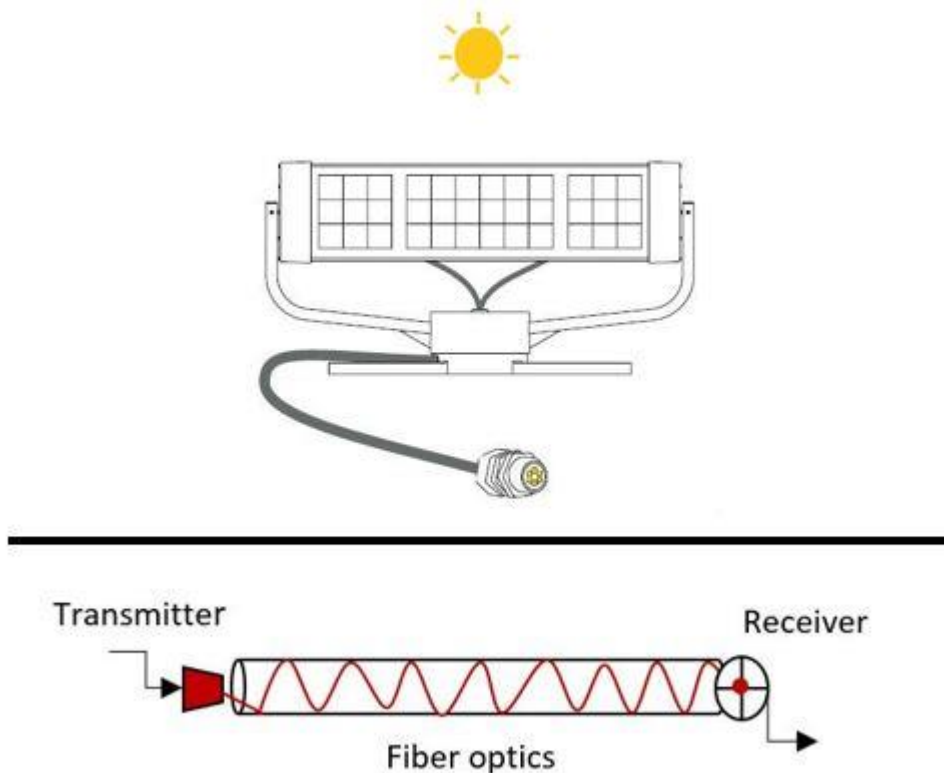




Koncept för optisk kommunikation till solpanel SP3 För kalibrering av ljusvinkelsensor

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Elektroingenjör

Mohammed Al-Masaraa
Saher Thawabteh

EXAMENSARBETE

Koncept för optisk kommunikation till solpanel SP3
För kalibrering av ljusvinkelsensor

Mohammed Al-Masaraa
Saher Thawabteh



CHALMERS

Institutionen för Signaler och System
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2016

Koncept för optisk kommunikation till solpanel SP3

För kalibrering av ljusvinkelsensor

MOHAMMED AL-MASARAA

SAHER THAWABTEH

©MOHAMMED AL-MASARAA & SAHER THAWABTEH, 2016

Institutionen för Signaler och System

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: +46 (0)31-772 1000

Omslag

Egenillustrerad bild. Bilden på solpanel SP3 samt kabel är modifierade utifrån ursprungsbilder hämtade från www.parans.com – Produktspecifikation.

Förord

Det här examensarbetet om 15 hp är den avslutande delen på högskoleingenjörsprogrammet Elektroteknik, 180 hp. Examensarbetet är utfört på institutionen för Signaler och system på Chalmers tekniska högskola. Uppdragsgivaren för projektet var Parans Solar Lighting AB.

Vi vill rikta ett tack till våra handledare på företaget Karl Richard Nilsson och Simon Larsson för deras stöd under projektet. Samtidigt vill vi även tacka vår handledare Manne Stenberg och examinator Bertil Thomas.

Ett tack går även till Sakib Sisteck för att han förmedlat kontakten med företaget och visat engagemang under arbetet.

Göteborg, 2016
Mohammed Al-Masaraa
Saher Thawabteh

Sammanfattning

Parans Solar Lighting AB är ett företag som tillverkar solpaneler för överföring av solljus till rum via optiska kablar. SP3 är det system som ständigt installeras runt om i världen.

För solpanel SP3 har manuell kalibrering för att utnyttja maximalt ljusintag varit den genomgående processen. Kalibreringsprocessen behöver ständig inmatning för att justera solpanelens vinkel till solen. Det behövs även en ögonuppskattning av ljusstyrka i rummet.

Den här processen har varit tidskrävande och omständlig. Därför vill uppdragsgivaren Parans Solar Lighting AB undersöka möjligheten till att effektivisera den här processen. Med hjälp av den befintliga utrustningen på solpanelen skulle möjligheter till kommunikation mellan belyst rum och solpanel undersökas. Projektet har berört två metoder som har varit intressanta för företaget. Kommunikationsmetoderna har i huvudsak kretsat kring modellkoncept vilket innehåller en sändare med en ljussensor och en mottagare. Dessa enheter kan kommunicera mellan varandra via optisk fiberkabel.

För att simulera eventuell funktionalitet, har en liten motor kopplats till mottagarenheten. Denna motor reglerar på olika mottagna värden. Metoden ska anses som en konceptvalidering och har inte testats på en verklig solpanel.

Den andra metoden har kretsat kring att koppla ihop två optiska fiberkablar från solpanel. Den ena kabeln är ljusförare ner till rum och den andra är för vidare transport upp till solpanel. Solljus som transporterades blev inte beroende av dubbleringen av avståndet, vilket gjorde att den nådde panelen på taket. Vidare har inte kalibreringsdelen av projektet behandlats praktiskt.

Abstract

Parans Solar Lighting AB is a company that manufactures solar panels to transfer sunlight into rooms through optical fibers. SP3 is a solar panel system which is widely installed throughout the world. Manual calibration is the main process used today to maximize solar light input to solar panel SP3. The calibration process requires constant data input in order to adjust the SP3 angle to the sun. Also, an eye estimation of the light intensity in the room is to consider. This process has been time consuming and verbose. For that reason, the job requestor Parans Solar Lighting wanted to investigate the possibility to make this process more effective.

With existing equipment on SP3, the possibility of communication between room and roof has been investigated. The project has affected two methods that has interested the firm. The first solution is model oriented with the content of a transmitter including a light sensor and a receiver. The light sensor calculates illuminance value. The value is then sent through a fiber optical cable between transmitter and receiver. To simulate possible functionality, a small DC motor has been attached to the receiver unit.

This motor reacts to different incoming illuminance values. This method can be considered as a proof of concept. Thus, it hasn't been tested on an actual SP3.

The second solution is about coupling two fiber optic cables from the SP3. One of the cables acts as transportation channel for light to the room. The other one as further transportation cable back to the SP3 on the roof. Sunlight that was transported was not affected by the doubling of the distance. As a result, the light was able to reach the SP3 on the roof. Furthermore, the practical part of the calibration has not been discussed in this project.

Innehållsförteckning

BETECKNINGAR	1
1. INTRODUKTION	2
1.1 BAKGRUND	2
1.2 SYFTE	3
1.3 PRECISERING AV FRÅGESTÄLLNING	3
1.4 AVGRÄNSNINGAR	3
2. TEORI	4
2.1 LJUSINTENSITET	4
2.2 KOMMUNIKATION VIA OPTISKA FIBRER	4
2.3 KALIBRERINGSPROCESSEN	5
3. TEKNISK BAKGRUND	6
3.1 PARANS SOLPANEL SP3	6
3.1.1 Styrkort	6
3.1.2 Ljussensor	6
3.1.3 Fiberoptiska kablar	6
3.2 ARDUINO UNO R3	7
3.3 ADAFRUIT MOTOR SHIELD V2	7
3.4 ADAFRUIT TSL2591 HIGH DYNAMIC RANGE DIGITAL LIGHT SENSOR	7
3.5 SHARP GP1FAV31TK0F FIBER OPTIC TRANSMITTER	8
3.6 SHARP GP1FAV31RK0F FIBER OPTIC RECEIVER	8
4. METOD	9
5. ARBETSUTFÖRANDE	10
5.1 SÄNDAR – OCH MOTTAGARMODULER	10
5.1.1 Beräkning av illuminansvärde	10
5.1.2 Sändning av illuminansvärde	12
5.1.3 Mottagande av illuminansvärde	12
5.2 VERIFIERING AV METOD FÖR FIBEROPTISK ÖVERFÖRING	13
5.2.1 Effektbudget	15
5.3 KABELSLINGA	17
5.3.1 Mätningar i labbmiljö	17
5.3.2 Mätningar för en installerad solpanel	19
6. MILJÖASPEKTER	22
7. SLUTSATS	23
7.1 RESULTAT	23
7.2 DISKUSSION	23
REFERENSER	25
BILAGA A. KOPPLINGSSCHEMA	27
BILAGA B. KOD	29

Beteckningar

Beteckning	Förklaring
SP3	Solar panel 3
LED	Light Emitting Diode
USB	Universal Serial Bus
I ² C	I-squared-C, Inter-integrated Circuit

1. Introduktion

1.1 Bakgrund

Företaget Parans Solar Lighting är specialiserat på att tillverka och utveckla solpaneler vars syfte är att belysa rum med naturligt solljus. Idag har Parans många installationer runt om i världen.

Systemet SP3 bygger på att en solpanel genom sina linser fångar in solljus. Detta solljus ska sedan via optiska fiberkablar föra ner solljuset till de rum den är avsedd för.

Solpanelens funktion styrs med hjälp av förprogrammerad indata. Indata skall ge solposition i grader baserat på GPS-koordinater och tid för den platsen den ska verka på.

Dessutom använder sig solpanelen av data från sin egen ljussensor där den finjusterar panelen till solen. Detta för att maximera ljusintaget till de optiska fiberkablarna som är placerade i rummet.

I vissa fall har det dock visat sig att ljussensorn har varit felkalibrerad vid tillverkning.

Problemet yttrar sig ofta hos kund i form av att ljuset nere i rummet inte varit tillräckligt utifrån de förutsättningarna för en fungerande solpanel.

För att nå optimal ljusstyrka i det avsedda utrymmet krävs idag en process där ljusstyrkan uppskattas med ögat och sedan manuellt kalibrerar ljussensorn på panelen. Den här processen sker genom seriell kommunikation mellan dator och solpanel. Metoden är inte fullt effektiv ty den kräver ständig inmatning samt en upprepande kommunikation mellan personer i rum och på tak, vilket blir väldigt omständligt och tidskrävande.

Parans vill undersöka möjligheterna till att underlätta denna process, alltså att hitta en teknisk lösning vilken kan kalibrera ljussensorn utan någon större inverkan från fysiska personer. I ett tidigare projekt utfört hos Parans Solar Lighting, har möjligheterna för automatisk kalibrering undersökts på solpanel SP3. Arbetet medförde en rapport med titeln *Kalibrering av ljussensor för Parans solpanel* [1]. Rapporten skrevs på Institutionen för data- och informationsteknik, vid Chalmers tekniska högskola. Rapporten beskriver möjligheten att lösa problemet med kalibrering av ljussensorn med hjälp av en dataalgoritm.

Projektet kunde sammanfattas med att en sökalgoritm i steg sökte efter maximal ljusstyrka. Vid varje stegsökning registrerades även koordinater för ljussensorns fokuspunkt. Processen uppskattade lämpligast position för solpanelen för att utnyttja maximalt solljussintag.

Vidare tar rapporten teoretiskt upp olika scenarion för hur eventuell kommunikation mellan rum och panel kan se ut. Förslagen beskrevs teoretiskt med några enkla experiment i labbmiljö.

1.2 Syfte

Syftet med uppdraget är att ta fram en teknisk lösning i form av enheter för avläsning av värdet för ljusstyrka samt kommunicera detta värde till solpanelen. Utgående från detta värde skall solpanelen justeras och därmed kalibreringen av ljussensorn. Lösningen skall vara utformad så att kalibreringsprocessen i längden ska vara mer noggrann och inte kräva ett omfattande arbete.

1.3 Precisering av frågeställning

Den här rapporten skall i slutändan försöka besvara följande frågeställningar:

- 1) Går det att anpassa de förslagna kommunikationsmetoderna till solpanelenheten?
- 2) Går det att upprätthålla en hållbar kommunikationskanal med de distanser som krävs?
- 3) Kan kalibreringen av ljussensorn bli möjlig med de valda kommunikationsmetoderna?

1.4 Avgränsningar

Huvudfokus i projektet var att prioritera funktionalitet. Enheterna har inte integrerats på ett specifikt sätt för en estetisk lösning.

Viss brist på material samt tid har medfört att vissa tester på systemets utrustning inte har genomförts som planerat. Av samma anledning har inte den automatiska lösningen på systemet behandlats inom tidsramen för projektet.

2. Teori

För att skapa en övergripande bild krävs en teoretisk bakgrund över begrepp och koncept relevanta för innehållet.

2.1 Ljusintensitet

Ett återkommande begrepp i den här rapporten är lux, med SI-enheten lx. Detta är ett mått på illuminans, eller belysning med ett mer vanligare ord. Den beskriver mängden ljusflöde i lumen (lm) vilket träffar en yta (m²). Ljusflöde i sin tur beskriver mängden synligt ljus. Många av måtten på ljusstyrka är underdefinitioner, och det är enkelt att räkna fram olika parametrar beroende på syfte. För att beräkna illuminans används följande formel:

$$\text{Illuminans} = \frac{\text{Ljusflöde (lm)}}{\text{Area (m}^2\text{)}} \quad [\text{lx}]$$

Begreppet ljusintensitet med SI-enheten Candela (cd) är ett mått på hur pass ljusstark en ljuskälla är [2]. Från det begreppet härstammar resten av måtten på ljus. De mest relevanta begreppen för den här rapporten är illuminansen och ljusflödet. I avseendet rörande mängden solljus kablarna levererar och ytan på platsen de ska belysa.

2.2 Kommunikation via optiska fibrer

För att upprätthålla någon typ av kommunikation över optiska fibrer så krävs det en ljussignal. Att ljussignalen kan transporteras i fibern beror på att den reflekteras internt. Plast och glas är de material som används frekvent för överföringen. Beroende på materialegenskaper kan ljuset färdas över långa sträckor med minimala förluster. Främst uppkommer förlusterna av att materialet absorberar ljuset.

Ett fiberoptiskt system brukar i allmänhet bestå av tre komponenter; en sändare, en mottagare och en kommunikationskanal [3]. Sändaren kan vara en ljuskälla i form av en LED. En elektrisk signal i form av en bitsekvens moduleras för att skickas till en LED. Där den sedan sänder pulser över den optiska kanalen, se figur 1. På mottagarsidan finns en ljussensor (detektor) för mottagande av ljussignalen. Här återskapas den ursprungliga elektriska signalen eventuellt med hjälp av en förstärkare. För överföring av ljus över långa distanser och med höga hastigheter är glasfibrer lämpligast. Plastfibern kablar i det här projektet är anpassade för korta distanser upp till 20 m.



Figur 1. Ett simpelt överföringssystem via optisk fiber.

2.3 Kalibreringsprocessen

För en installerad solpanel av typen SP3 finns det i regel sex stycken dragna kablar. Vid full funktion genereras ljus från kabelsändarna för de utrymmen de är ämnade för. Med de här förutsättningarna går det i princip mäta ljusstyrkan för varje kabelände.

Det är dock inte garanterat att ljusstyrkan är densamma för alla kablar. Ett problem som kan uppstå är att tydliga ljusskillnader märks mellan alla kablar.

Orsaken till det kan vara att fibertrådarna är skadade eller att solpanelen inte har ett maximalt ljusintag under rådande tillfälle.

För att lösa problemen för ljusintaget brukar ljusstyrkan oftast uppskattas visuellt. Om ljusstyrkan inte är optimal när den observeras från kabeländan är en kalibrering av ljussensorn på solpanelen nödvändig.

Kalibreringsprocessen påbörjas oftast genom att en dator kopplas till solpanelen via en USB-kabel för seriell kommunikation. Genom ett terminalfönster är det möjligt att inhämta data från solpanelen. I det här läget är det av intresse att inhämta data för panelens ljussensor. Data ytrar sig i form av positionskoordinater; sensor zero position: (x, y) [4].

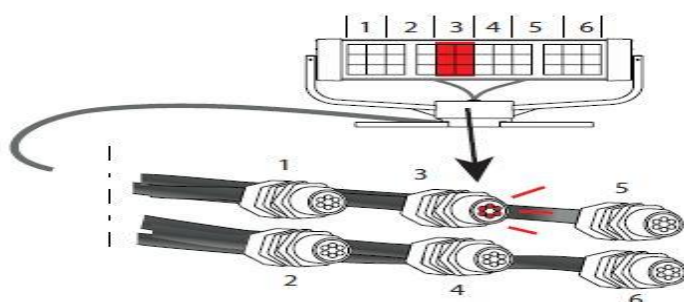
Positionskoordinaterna för ljussensorn ger en uppskattning på var fokuspunkten är placerad i ett x, y-koordinatsystem. Genom att ändra på x – och y-koordinaterna justerar ljussensorn panelens vinkel till solen.

Ändringen av koordinaterna kan ske i flera steg, främst för att lokalisera vid vilka koordinater ljusstyrkan är starkast. Små finjusteringar görs för att så småningom hitta den bästa koordinatpositionen för tillfället.

3. Teknisk bakgrund

3.1 Parans solpanel SP3

SP3 är en solpanel som följer solen och består av 36 Fresnel-linser där var och en är kopplad till varsin fibertråd. Panelen är indelad i sex uppsättningar med sex linser per uppsättning. Linsernas utformning gör att ljuset kan fokuseras in i fibertrådarna. Det transporterade ljuset är endast i det synliga spektrumet, vilket möjliggörs genom att IR -och UV-strålning filtreras bort [5]. Varje dragen kabel motsvaras av inkommande ljus från sex linser vilket resulterar i att panelen tar in ljus genom totalt sex kablar, se figur 2. På sidan av panelen finns en USB port för kommunikation [4]. Vidare ingår följande delar i SP3:



Figur 2. En uppsättning av sex linser tillhörande en kabel [4].

3.1.1 Styrkort

Styrkortet är centrerat kring mikrokontrollen PIC32. Kortet styr panelen genom två stegmotorer med 12 V spänning så att den kan orientera sig. Kommunikationen med panelen sker via dator och en USB kabel, där den direkt kan kopplas till kortet. Dock behövs mjukvaran PUTTY och drivrutiner för att kunna kommendera SP3.

Genom ett PUTTY terminalfönster kan önskade inställningar för panelen verkställas med hjälp av specifika kommandon. Det kan t.ex. handla om styrning i viss riktning, omstart av systemet och presentation av positionskoordinater.

3.1.2 Ljussensor

I panelen finns en integrerad ljussensor framtagna av tillverkaren Hamamatsu [6].

Ljussensorn finjusterar panelen så att maximalt ljusintag kan uppnås. Justeringen är baserad på att en fokuspunkt bildas på ljussensorns yta, vilket skapar fyra strömmar som ljussensorkretsen beräknar till koordinater i ett x, y-koordinatsystem. Den bildade fokuspunkten av det infallande solljuset skall vara så nära origo som möjligt i idealfallet.

3.1.3 Fiberoptiska kablar

Kablarna som används är optiska fiberkablar av plastmaterialet PMMA(Polymetylmetakrylat) och har en ljusöverföring omkring 96 % / m. Kablarna är 7 mm i diameter. Företaget förser sina enheter med standardlängderna 5, 10, 15 och 20 m [4].

3.2 Arduino UNO R3

Arduino Uno är ett utvecklingsverktyg byggt kring mikrokontrollen Atmega328.

Den har totalt 14 digitala in- och utgångar samt 6 analoga ingångar. Den opererar med klockfrekvensen 16 MHz.

Arduino Uno är försedd med en USB port för kommunikation med dator och ger då internt en driftspänning om 5 V. Det finns även möjlighet att koppla en extern strömkälla med en rekommenderad matningsspänning 7-12 V [7].

På Arduino kan olika typer av sköldar implementeras för att utöka användbarheten. Den stora fördelen med Arduino är att den är grundbaserad på öppen källkod. Med den fria programvaran IDE (*The Arduino Integrated Development Environment*) kan den enkelt programmeras med hjälp av språken C/C++. Om det finns en seriell kommunikation upprätthållen mellan datorn och kortet kan processen enkelt följas via mjukvaran.

3.3 Adafruit Motor Shield V2

Adafruits motorsköld är ett kort som är anpassat till Arduino. Den är enkel att applicera på ett Arduino kort och utgör ett extra lager för programmering av små motorer för olika projekt. Motorskölden spänningförsörjs via Arduino där den utgör en bas för motorsköldens mjukvara. Precis som de flesta sköldar, har motorskölden förprogrammerade bibliotek för att handskas med olika typer av motorer där de kan kopplas till dess gränssnitt.

3.4 Adafruit TSL2591 High Dynamic Range Digital Light Sensor

Adafruit TSL2591, figur 3, är en krets där ljusintensitet omvandlas till en digital utsignal. Den kan användas till ett I²C gränssnitt. Den kräver en matningsspänning mellan 2,7 – 3,6 V [8].

Den största fördelen med sensorn är att den har två integrerade ADC (Analog-to-digital converter) omvandlare. ADC omvandlarna hämtar information från två integrerade fotodioder och presenterar de som en digital utsignal. Denna signal kan sedan enkelt kopplas till en mikrokontroller, vilket gör att den är kompatibel till Arduinos mikrokontroller via dess I²C kommunikationsport. Ljuskretsen arbetar med klockfrekvensen 400 kHz och har en överföringsbredd upp till 400 kbit/s.

Tillverkaren AMS tillhandahåller bibliotek för Arduino. Bland annat innehåller biblioteket metoder för avläsning och beräkning av ljus. Sensorn kan bland annat beräkna belysning inom intervallet 188 μ lx – 88 000 lx [9].



Figur 3. TSL2591 ljussensor [9].

3.5 Sharp GP1FAV31TK0F Fiber Optic Transmitter

Sharp GP1FAV31TK0F är en optisk sändare med en integrerad LED med våglängden 660 nm och en drivkrets. Signalingången är anpassad till TTL (*Transistor-Transistor Logic*). Det innebär att den är begränsad till ett spänningsintervall för vilken den digitala insignalen kan ha. Det är spänningsnivåer för vad anses vara en logisk etta eller logisk nolla.

Den optiska sändaren har tre ben. Ett ben för insignal (V_{in}) som maximalt kan uppgå till matningsspänningen $V_{cc} + 0,5$ V. Det andra benet är avsett för spänningsmatning (V_{cc}) med typvärdet 3 V för rekommenderad användning. Och det tredje för jord (GND). Den maximala överföringshastigheten kan uppgå till 15,5 Mbit/s [10].

Sändaren har även ett tydligt gränssnitt, vilket möjliggör koppling av en fiberoptisk kabel.

3.6 Sharp GP1FAV31RK0F Fiber Optic Receiver

Sharp GP1FAV31RK0F är en optisk mottagare med en integrerad fotodiod med maximala våglängden 700 nm, och en krets för signalgenerering. Utgångssignal är även här anpassad till TTL-nivåer. Den har i stort sett liknande specifikationer i förhållande till sändaren. Bland annat är den rekommenderade matningsspänningen 3 V. Utöver spänningsmatning (V_{cc}) och jord (GND) finns även ett ben för utgångssignalen (V_{out}). Den är kapabel att handskas med överföringshastigheter mellan 0,1 – 15,5 Mbit/s [11].

4. Metod

Arbetet har föregåtts av besök på Parans Solar Lighting. Där införskaffades relevant kunskap om solpanelens funktion. Bland annat teknisk dokumentation och tidigare studier.

Information inhämtades om de komponenter vilka kom att användas för att förstå funktionaliteten.

Kurslitteratur har delvis använts för att inhämta information. Samtidigt studerades Arduino ty den utgör en bärande del i projektet. För att programmera inhämtades en hel del information på internet.

Arbetet fördelades över två platser. I Chalmers labblokalerna gjordes konstruktionsarbete och programmering. Där fanns även en solpanel tillgänglig för enklare undersökningar.

Hos uppdragsgivaren gjordes undersökningar för att testa panelens funktion vid fullt bruk. Undersökningarna har gjorts upprepade gånger för att stabilisera materialet som användes.

5. Arbetsutförande

Företaget i fråga har funderat kring att använda de redan dragna fiberkablarna som kommunikationskanal till SP3 av praktiska skäl. Dessutom bör hänsyn tas till att kalibreringsprocessen inte behöver göras frekvent och på alla enheter. Utan endast vid vissa tillfällen då det behövs.

Uppdraget kommer att kretsa kring undersökning av koncept som kan utgöra en grund att utnyttja de dragna kablarna.

I huvuddrag kommer två metoder att testas och utvärderas, för att i slutändan bedöma hur pass effektiva de är sett till förutsättningarna. Den ena metoden är sändar – och mottagarmoduler och den andra är en kabelslinga.

5.1 Sändar – och mottagarmoduler

Den här metoden kommer att grunda sig i en lösning med utgångspunkt för vad beskrivs i avsnitt 2.2, vilket beskriver hur ett traditionellt fiberoptiskt överföringssystem är uppbyggt.

Huvudmålet för den här metoden är att konceptvalidera möjligheten att sända värdet för illuminansen över fiberoptisk kabel.

Med bakgrund av det tekniska materialet angivet i avsnitt 3.2 – 3.6 upprättades ett arbete för att konceptvalidera teorin.

5.1.1 Beräkning av illuminansvärde

För att uppskatta värdet på illuminansen i rummet finns idag kommersiella luxmätare att köpa. De kan vara dyra i pris och finns oftast inte ute hos kund. Dessutom är de inte särskilt aktuella ty problemet med kalibreringen inte är utbrett.

Därför ansågs det relevant att bygga en sändarmodul som är innehåller en ljussensor. Ljussensorn skall ge ett uppskattningsvärde på illuminans. På det sättet kan ljusuppskattningen med ögat elimineras. Istället ersätts det med ett värde vilket är enkelt att relatera till.

Ljussensorkretsen kan integreras vid konstruktion som underlättar kommunikation med olika mikrokontrollers. Vilket marknadens traditionella luxmätare saknar.

För att kunna mäta illuminansen användes en ljussensor Adafruit TSL2591 försedd av uppdragsgivaren.

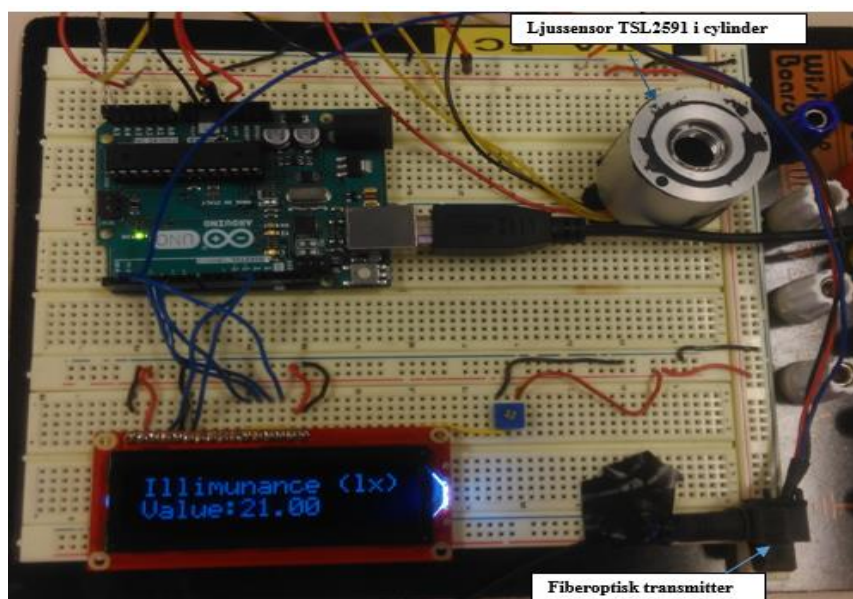
Med hjälp av det försedda biblioteket för Arduino kan olika parametrar räknas fram för det avsedda ändamålet, t.ex. synligt ljus.

Utöver ljussensorn består sändarmodulen av ett Arduino kort. Kortet är väldigt kompatibelt med ljussensorn. Fyra kablar behöver kopplas mellan Arduino och TSL2591 för att vara redo att generera värden. Sensorn behöver 3 V (V_{in}) spänningsförsörjning. Dock kunde den kopplas till Arduinos 5 V port utan problem tack vare att den har en 3-5 V spänningsregulator. Sensorns jordutgång (GND) kunde sedan kopplas till Arduinos motsvarande port.

Den digitala signalen från TSL2591 kopplas till Arduino via ett I²C gränssnitt för kommunikation. Kommunikationen sker genom koppling av sensorns SDA (data port) med Arduinoporten A4 respektive sensorns SCL (klockport) med Arduinoporten A5. Portarna A4 och A5 på Arduino kortet är avsedda för I²C kommunikation, se bilaga A1.

Ljussensorkretsen var fäst i en kort metallcylinder gängad för kabeländesmontering. Cylindern var även försedd med ett gråfilter för att skydda ljussensorn. Detta för att minska solljusets intensitet marginellt [1].

Programmeringen genomfördes i Arduinos mjukvarumiljö. Programmet koncentrerades till att endast beräkna värden i lux, i paritet med de kommersiella varianterna. Sensorn testades för olika ljuskällor i labbmiljö för att testa funktionaliteten. Illuminansvärdena blev alltmer konstanta ju stabilare ljuskällan var. Det räckte med ett visst antal mätningar under en specifik tid för att beräkna ett medelvärde för den uppmätta illuminansen. Hänsyn togs även till de enskilda mätningarna där det genererades felaktiga värden som ett resultat av ett snabbt bortfall av ljus vid databeräkning. Dessa värden togs inte med i beräkningarna. Värdet kunde sedan presenteras på en LCD display kopplad till Arduino kortet, se figur 4.



Figur 4. Avläsning av ljussensorn TSL2591 med hjälp av Arduino.

5.1.2 Sändning av illuminansvärde

Med befintliga värden för illuminansen, var det relevant att undersöka möjligheterna att sända dem över optisk fiberkabel. För att göra det krävs en signal i form av ljus. Signalen ska sändas till en mottagarenhet för att läsa inkommande värde, där det tidigare har registrerats av ljussensorn på sändarsidan.

För att få ljus att sändas genom fiberkabeln, 10 m i testfallet, användes olika lysdioder (LED) med våglängder som varierar mellan 485-600 nm.

Ljuspulserna genererades genom att översätta värdet på illuminansen till en binär sekvens. Med en viss fördröjning mellan pulserna observerades det om ljuspulsen reflekterades ut ur panelen linser, vilket den gjorde.

5.1.3 Mottagande av illuminansvärde

För att detektera ljuspulsen användes olika detektorer; fotomotstånd, fotodiod och fotodioden som är inbyggd i Adafruit TSL2591. Mottagarna kopplades till en Arduino för att detektera de inkommandepulserna.

Fotomotståndet reagerade långsamt på ljuset, vilket gjorde att den avfärdades tidigt.

I fallet med de två andra reagerade mottagarna på om det förekom ljus eller inget ljus alls. Vid koppling av fotodioden med resistansen 100 k Ω registrerade fotodioden en spänning 5 V vid ljus och 2,5 V när den inte detekterade något ljus.

I det andra fallet med Adafruit TSL2591 registrerades ett luxvärde när ljus detekterades, samt 0 lx vid bortfallande av ljus. Detta förfarande inträffade vid en lång fördröjning mellan pulserna i bitsekvensen. Problem förekom genast vid ökning av hastigheten, när bitsekvensen skickades snabbare. Mottagaren hann inte med skilja på ordningen för vilken bit som kom fram. Detta problem kan oftast uppstå då det saknas ett kommunikationsprotokoll mellan sändaren och mottagaren. Det gör att en sådan överföring inte kan ske på ett smidigt sätt.

Ett annat uppenbart problem var att mottagaren inte hade någon direktkontakt med fiberkabeländen fäst bakom linsen. Det förekommer ett avstånd om ca 10 cm från ändan på kabeln och linsen på panelen vilket gjorde det svårt att hantera mottagaren på ett effektivt sätt när ljuset skulle träffa den ljuskänsliga ytan på fotodioden.

5.2 Verifiering av metod för fiberoptisk överföring

För att kunna verifiera systemet med sändar – och mottagarenheterna gjordes ett konceptförsök med en optisk sändare och en optisk mottagare. Komponenterna angavs i avsnitt 3.5 – 3.6.

För att eliminera eventuella störningar som t.ex. bakgrundsljus användes en passande 1,5 m TOSLINK fiberoptisk kabel. Den skapar en direkt länk mellan sändare och mottagare.

Ett förtest gjordes med trådkoppling innan fiberoptisk överföring för säkerställning av funktion. Här användes Arduinos sändar – och mottagarben; Tx (digitalt ben 0) respektive Rx (digitalt ben 1). Dessa ben används för kommunikation via den seriella porten UART. Porten UART möjliggör även samma kommunikation mellan USB och dator [12].

En seriell buss skapades genom att binda ihop Tx på den första Arduino till Rx på den andra. Den andra länkade i sin tur ihop Rx på första med Tx på den andra. Slutligen kopplades jord (GND) mellan båda Arduino, se bilaga A2.

För att garantera att kopplingen fungerade enligt plan, skickades teckensekvens från sändarsidan till mottagarsidan. Med hjälp av Arduinos seriella monitor och LCD display noterades att sekvensen mottogs felfritt.

Med bakgrund av den seriella kommunikationen i testet ovan, förbereddes ett test för att utföra samma process med den fiberoptiska kabeln.

På sändarsidan användes Arduino och den optiska sändaren. På mottagarsidan en annan Arduino och den optiska mottagaren. Även här utnyttjades Tx och Rx benen.

Arduinos Tx utgång, 3,3 V och GND kopplades till sändarens V_{in} ben, V_{cc} och GND respektive. På mottagarsidan kopplades Arduinos Rx ingång, 3,3 V och GND till mottagarens V_{out} ben, V_{cc} och GND respektive. Den fiberoptiska kabeln var den bindande länken mellan enheterna, bilaga A1.

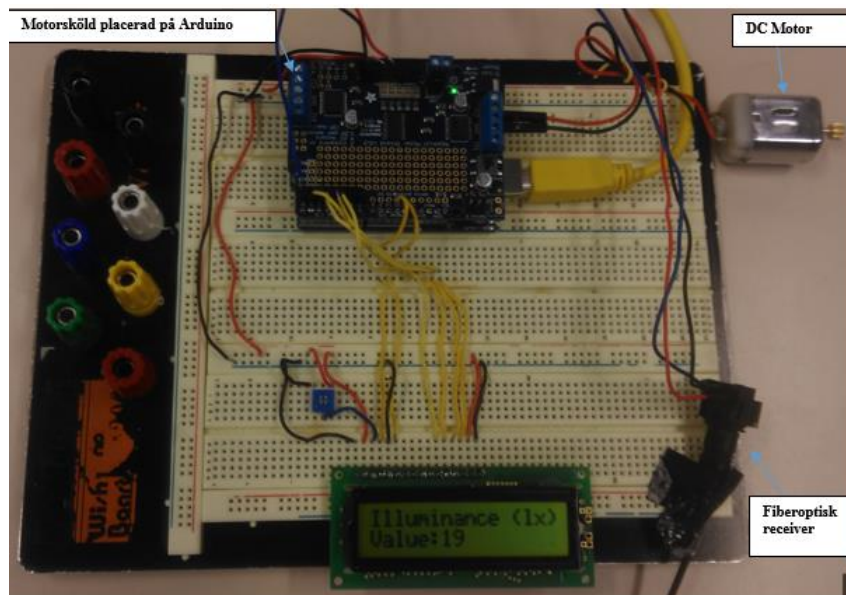
Precis som i första testet ovan skickades nu tecken från sändarsidan till mottagarsidan via den fiberoptiska kabeln. Teckensekvensen mottogs inte alltid felfritt. Vid vissa tillfällen mottogs det utan problem. Andra tillfällen skapades det glapp vid mottagandet. Detta yttrade sig i att mottagaren inte kunde läsa från mottagarbufferten då det inte fanns något att läsa än. Problemet var alltid begränsat till det första mottagna tecknet.

Med en någorlunda fungerande kommunikation via fiberoptisk kabel testades överföringen med hänsyn till den ljussensor (Adafruit TSL2591) vilken använts i projektet.

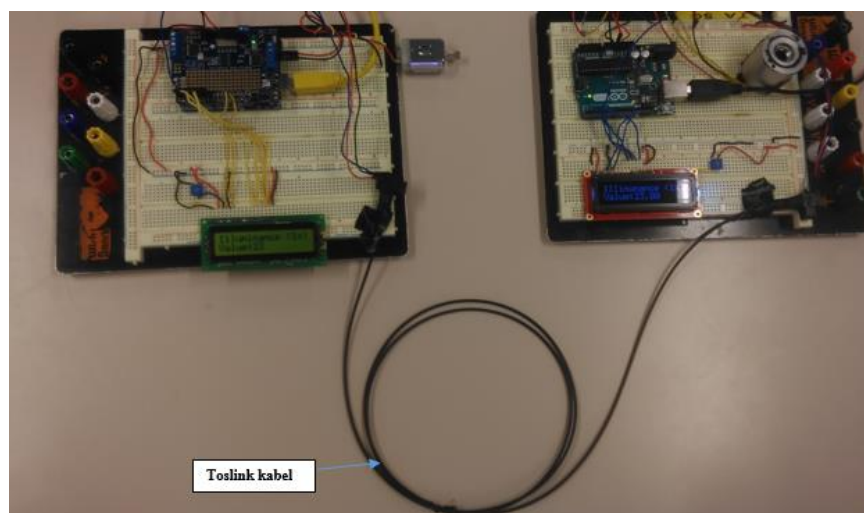
Med de premisser som beskrevs i kapitel 5.1.1 var det intressant att undersöka överförandet av illuminansvärde.

Vid användning av samma kopplingsmetodik konstruerades ett litet system vars syfte var att upprätthålla en överföring från sändarenheten till mottagarenheten via den fiberoptiska kabeln. Ljussensorn registrerade värden vilka sedan kontinuerligt överfördes via fiberoptiska kabeln till den mottagande enheten, se figur 5. Det mottagna värdet kunde observeras på mottagarens seriella monitor och display.

Slutsteget i den här processen bestod i att koppla en motorsköld med tillhörande DC motor till Arduino. Idén grundar sig i att få motorn att spinna beroende på specifika intervall för illuminansvärden. När ett värde inom intervallet detekterades, kördes programmet för motorn, se figur 6.



Figur 5. Avläsning av mottaget värde.



Figur 6. Modell med sändarenhet till höger och mottagarenhet till vänster, TOSLINK kabel mellan de.

5.2.1 Effektbudget

För att bilda en uppfattning om systemets egenskaper och hur dataöverföring via optiska fibrer kan ske bör en effektbudget beräknas. Effektbudgeten behandlar de acceptabla förluster vilka kan ingå i en fiberöverföring utan att inverka på funktionen [13].

Vid beräkning av förluster tillkommer begrepp som behandlar komponentförluster i enheten i stort. I fallet med modellen för det fiberoptiska system som har behandlats tillkommer data för effekten transmittern skickar med och effekten som detekteras av receivern. Parametrarna är angivna i dBm (decibel-milliwatt). Detta är ett begrepp som härstammar från effektkvoten i dB (decibel) med avseende på 1 mW (milliwatt) [14].

Enligt datablad för transmittern Sharp GP1FAV31TK0F, är den minimala sändareffekten -21 dBm [11]. För receivern GP1FAV31RK0F är den minimala mottagareffekten -24 dBm [12]. Den optiska förlusten kan då beräknas enligt följande [14].

$$P_{\text{förlust dB}} = P_{\text{sändare, dBm}} - P_{\text{mottagare, dBm}} = -21 - (-24) = 3 \text{ dB}$$

För att upprätthålla de minimala acceptabla förluster om 3 dB, skall inte länkens övriga förluster överskrida 3 dB.

De viktigaste är att beräkna för totalförlust som kan uppkomma i ett sådant överföringssystem. Ingående delar är t.ex. dämpnings- och kopplingsförluster. För TOSLINK kabeln som användes till transmitter och receiver i det här projektet nämns endast kopplingsförlusten som $\leq 2,0$ dB [15]. Trots att inte mer teknisk data finns tillgänglig så kan man anta att TOSLINK är en god fiberoptisk kabel ty förlusterna hamnar under 3 dB för systemet med sändar- och mottagar-moduler.

För att det ska vara möjligt att utnyttja kablarna på Parans SP3 kan man först utgå från egenskaperna på kablarna. Det är POF (Plastic optical fiber) kablar och finns i längderna 5, 10, 15, 20 m. Oftast brukar tillverkarna av plastfibern kablar ange dämpningen i dB/km. Dämpningen brukar variera mellan 100 – 200 dB/km för 650 nm rött ljus [16].

För att göra en överslagsräkning för eventuella dämpningsförluster användes längderna på företagets kablar. Här har dämpningen beräknats till dB/m för att passa längderna. Som exempel har hänsyn till 0,15 dB/m dämpning tagits.

Tabell 1. Exempel på dämpning för POF fiberoptiska kablar.

Längd [m]	5	10	15	20
Dämpning[dB]	0,75	1,5	2,25	3

Med förutsättningarna som sattes upp så är en dämpningsförlust mellan 0,75- 3 dB ofrånkomlig, ifall alla längder ska kunna utnyttjas.

Om man jämför med transmitter och receiver som använts i projektet kan man dra slutsatsen att de inte går att använda. Dels för att gränssnittet inte passar företagets kablar och dels att ger en liten uteffekt för överföring. För att göra en möjlig effektbudget bör man även ta hänsyn till dämpningsförlusterna och kopplingsförluster.

Dessutom bör man räkna med 3 dB extra marginal. Detta för att beakta eventuellt slitage på komponenter långsiktigt [13].

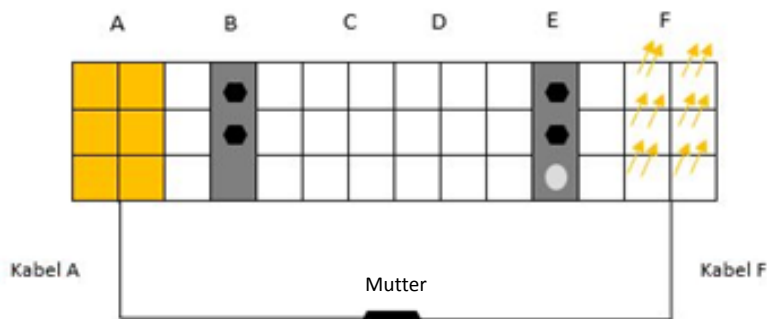
Antagande görs till endast dämpningsförlust för 20 m kabel. Information om kopplingsförluster inte är känt. Total förlust blir då:

$$\begin{aligned} \text{Total förlust} &= \text{dämpning i kabel} + \text{kopplingsförluster} + \text{marginal} \\ &= 3 \text{ dB} + 0 + 3 \text{ dB} = 6 \text{ dB} \end{aligned}$$

Med 6 dB förluster innebär det att en effektbudget för att ett system ska kunna tolerera dessa förluster bör beräknas. Om länken har en tolererbar gräns på 6 dB eller 10 dB innebär det att effektkvoten blir 4 eller 10 respektive för förhållandet mellan sändareffekt och mottagareffekt [14].

5.3 Kabelslinga

Metoden med kabelslinga är en lösning enbart baserad på att mäta illuminansen upp på taket i anslutning till panelen. Inget illuminansvärde behöver mätas vid fiberkabeländan. Istället är idén att koppla ihop två stycken kablar från samma panel så att en slinga bildas enligt figur 7.



Figur 7. Kabel A är ljusförande och kabel F används för vidareöverföring

Innan en sådan koppling kan göras är det viktigt att poängtera att de linser tillhörande en av kablarna bör täckas över. Detta för att förhindra att just de linserna skall ta emot solljus. Risken blir att dubbelt intag av ljus förs in i slingan vilket överbelastar fiberkablarna.

Funktionaliteten är baserad på att en ljuskälla, i det här fallet solljus, fångas upp av en uppsättning av sex linser. Dessa linser levererar ljuset till motsvarande kabel.

För den andra kabeln gäller det att täcka över motsvarande uppsättning linser, för att inte leverera solljus till tillhörande kabel. Vid koppling av båda kablarna sker nu en överföring av solljuset från första kabeln vidare genom den andra tomma kabeln. På så sätt har en kabelslinga bildats från panel ner till rum och tillbaka till panel.

Ljuset som förs upp via den andra tomma kabeln kommer nu istället att stråla ut ur de övertäckta linserna. Det ljuset blir då tillgängligt för mätning med hjälp av en mottagare.

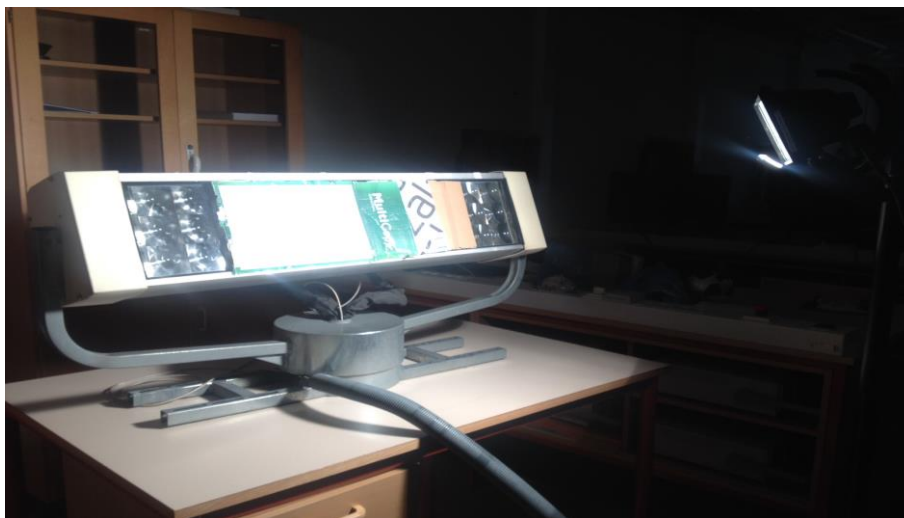
Fördelen med den här metoden är att kommunikationen sker endast i form av solljus. Ingen elektrisk signal behöver skapas för att tolkas. Alla mätningar sker på taket och då behövs endast en mottagare för att läsa av illuminansen.

5.3.1 Mätningar i labbmiljö

Med en tillgänglig solpanel testades principen med kabelsslingan i labbmiljö. Målet var att tolka hur pass effektiv kommunikationsmetoden blev med att endast koppla ihop två kablar och vilka värden det genererade.

Panelens linser betecknades med A, B, C, D, E och F. En bokstav för varje uppsättning linser. Storleken på linserna mättes för att planera hur stor övertäckningsanordningen skulle bli. Detta är väsentligt för att kunna eliminera så mycket som möjligt av eventuellt bakgrundsljus eller solljus. Kablarna betecknades på samma sätt som linserna. Varje kabel motsvarade en uppsättning linser.

För att kunna göra en rättvis bedömning behövdes det material för att upprätthålla en stabil testmiljö. Viktigast var att totalt mörklägga det rum där testerna skulle utföras. Samtidigt krävdes en stabilt riktad ljuskälla mot linserna. Ljuskällan var en 400 W, 6000 lumen halogenlampa, se figur 8.



Figur 8. Linserna till vänster skall utnyttja ljuset. Linsen till höger skall täckas över.

Det behövdes också material för att täcka över linser. Även en övertäckningsanordning med en infäst ljussensor behövdes för att kunna mäta utgående ljus från linserna. För övertäckningsanordningen användes två modeller. En sfärisk modell i plast invirad i aluminiumfolie med två öppningar. En öppning passade till en lins med måtten 6,5 x 6,5 cm, där ljuset togs emot. Ljussensorn Adafruit TSL2591 kunde placeras i den andra öppningen. Den sfäriska utformningen gjorde att ljuset reflekterades i väggarna på sfären och belysning skapades. Den andra modellen var en låda täckandes en uppsättning på sex linser. I den placerades ljussensorn Adafruit TSL2591.

Att använda två modeller grundar sig i att uppskatta om det finns märkbara skillnader i att använda en övertäckningsanordning för en lins eller för sex linser.

För att uppskatta hur stora skillnader det varierade mellan illuminansen i kabeländan och densamma vid panelen delades mätningarna i två delar. Först genom att mäta på kabeländan för inkommande ljus och sedan när två kablar var ihopkopplade. I det senare fallet mättes det återkopplade ljuset vid linserna.

Testet skedde först genom att beräkna illuminansen för alla fiberkablar vid belysning av hela panelen. Därefter täcktes en uppsättning linser för att förhindra ljusintag för en av kablarna. Kabeln kopplades sedan ihop med en ljusförande kabel, se figur 7.

Med upprepade försök med olika kopplingskombinationer och övertäckning av linser observerades det ljus som återkopplades tillbaka till panelen. Mätningarna ledde till väldigt låga värden. Anledningar till dessa låga värden tros ligga i att vissa fibertrådar fungerade dåligt. Dessutom var ljuskällan inte fullt effektiv från avstånd och vinkel till panelen.

Mätningarna gav inga tydliga indikationer på kabelslingans effektivitet för att dra slutsatser om den här metoden.

5.3.2 Mätningar för en installerad solpanel

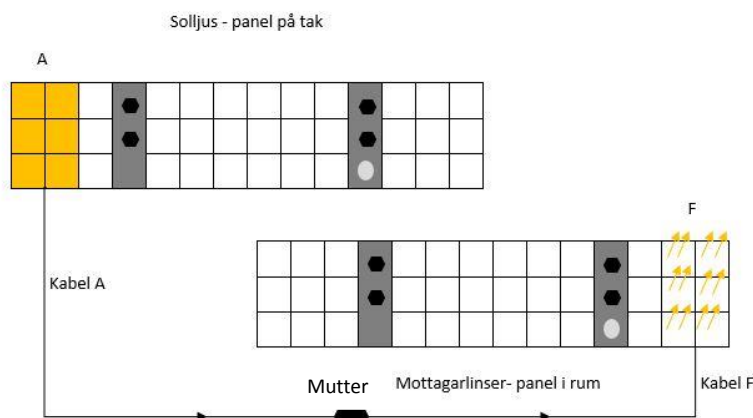
På taket till Parans lokaler i Göteborg fanns en SP3:a upprättad. Den var fullt funktionsduglig och kablarna genererade solljus till rum.

Med den bakgrunden kunde olika tester göras för att utvärdera teorin om kabelslingan. Mätutrustningen var densamma som i fallet med labbmiljötestet. SP3:an såg ut enligt figur 9 nedan.



Figur 9. Installerad SP3 på Parans tak.

För att testa de två modellerna gjordes mätningarna med hjälp av två SP3:or. Den ena, som installerad på taket var ljuskällan. Den andra, som inte var installerad, låg i ett rum och skulle agera mottagare. Kablarna kopplades ihop enligt figur 10. Detta förfarande för att eliminera störningar i form av bakgrundsljus och för att testa funktionaliteten av mätmetoderna.



Figur 10. En återkoppling mellan installerad panel och en mottagarpanel.

Innan hopkopplingen av kablarna, mättes illuminansen upp för alla kabeländarna i rummet. Hela panelen var då utsatt för solljus. Anledningen till mätningarna på kablar var främst för att se hur pass mycket värdet påverkades kontra när den ihopkopplades med en annan kabel.

Under olika dagar då solen var framme genomfördes tester på enheten. Mätningarna på kablarna visade sig inte vara särskilt stabila. När en och samma kabel testades vid flera tillfällen under kort tid syntes tydliga skillnader mellan värdena. Dessa skillnader tros ligga i att panelen ständigt justerar sin vinkel till solen. Dessutom är solen själv som ljuskälla oberäknelig. Med de noterade värdena, kopplades en av kablarna till en tom kabel på den andra panelen. Kablarna, 10 m vardera kopplades ihop med en mutter, se figur 11.



Figur 11. Två ihopkopplade kablar med en mutter.

De blockerade linserna agerade som mottagare av ljussignalen som återkopplades. Det är det ljus som skulle mätas.

Ljuset mättes på olika sätt. Först användes den sfäriska modellen som innehöll ljussensorn TSL2591. Sedan användes lådan med samma sensor och sist placerades själva ljussensorn direkt på linsen.

Ljuset kunde återkopplas till den andra panelen, vilket kunde observeras tydligt bakom linserna och där mätenheterna kunde detektera ljuset.

Vid test, visade sig kopplingen med mutter, inte vara särskilt effektiv. Värdet föll ganska markant, vilket berodde på att kabeländarna inte var tätt sammanslutna. Mellanrummet orsakade minskande i ljusstyrka innan det nådde den andra kabellängden.

Som en lösning på det här problemet hölls kontakterna på kabelsändarna tätt ihop, se figur 12.



Figur 12. Två kabellängder som sitter tätt ihop.

Det visade sig vara ett bättre sätt för att få bättre värden. Resultaten från tabell 2 visar mätningarna för fem kablar, där den sjätte inte fungerade.

Tabell 2. Illuminansvärden för kabeländarna från installerad panel.

Ljusförande kabel	Illuminans [lx]
A	35
B	31
C	35
D	43
E	110
F	Ej aktiv

Efter mätningarna kopplades sedan var och en av kablarna med kabeln för linsuppsättning F på den andra panelen. Enligt tabell 3 syns de olika modellernas reaktion på ljuset. Observera att utgångsvärdena är enligt tabell 2 ovan.

Tabell 3. Återkopplade värden till mottagarpanel med linsuppsättning F.

Ljusförande kabel [lx] / Mätmodell	A	B	C	D	E	F
Sensor mot linsen	25	20	25	35	70	-
Låda	20	16	16	23	60	-
Sfärisk boll	-	-	-	-	-	-

Den sfäriska bollen, som fanns på företaget hade problem att detektera ljuset ut från linsen. När det gäller de två första modellerna i tabell 3 finns ingen större skillnad. Mellan linsens yta och sensorn i låda finns ett avstånd på 10 cm, vilket kan förklara att värdet sjunker en aning. Mätningarna angivna i tabellerna ovan visar att dubbleringen av avståndet inte bör orsaka problem i avläsning av värdet för solpanelen.

Det finns dock en viktig sak att ta i beaktning när det gäller de värden som mäts upp. Målet är inte att eftersträva ett specifikt värde som bör vara rätt innan kalibreringsprocessen. Istället är det ett maximalt värde som söks. Det maximala värdet kan uppnås genom kalibreringen. Illuminansen som mäts upp, vare sig det är nere i rummet eller uppe på taket, kan betraktas som ett utgångsvärde preliminärt. Kalibreringen kommer så småningom ge ett resultat på om det är möjligt att erhålla en högre ljusstyrka i kablarna än ljusstyrkan innan kalibreringen.

Att maximal ljusstyrka inte når rummet kan ha olika orsaker. Det kan vara alltifrån att det är molnigt till att fiberkablarna är skadade. Dessa parametrar kommer i stor utsträckning att påverka avläsning av ljusstyrka för en installerad solpanel på tak. Kommunikationen av värdet på ljusstyrkan är väsentlig i den del som rör hur pålitlig förmedlingen av värdet från rum upp till tak är. Alltså om hopkopplingen av kablar kan ge en avläsning uppe på taket som kan betraktas som en god utgångspunkt för kalibrering.

6. Miljöaspekter

Att använda solljus som energikälla ger många miljömässiga vinster. Genom att främst utnyttja solkraften så sparar man den energi som går åt artificiellt ljus. Parans teknik filtrerar även bort UV-och IR- strålning vilket gör att man får in hälften så mycket värme som från fönstren vilket även sparar energibehoven att kyla en fastighet. Fossil energi som går åt till artificiellt ljus, uppvärmning eller kylning av fastigheter ökar koldioxidutsläppen vilket är den främsta orsaken till växthuseffekten och klimatförändringarna.

Genom energieffektiviseringar och omställningen av energisystemet till mer förnybara energikällor vinner både klimatet och människan på det.

En förbättring av kommunikationsmetoden kommer på sikt att effektivisera ljusintaget, vilket leder till mer ljus i rummet och ett mindre beroende av artificiellt ljus.

7. Slutsats

7.1 Resultat

De tester som har utförts har varit begränsade till två olika kommunikationsmetoder. Den ena innehöll en konstruktionsmässig lösning som har utförts i labbmiljö. Lösningen har genererat ett koncept för hur kommunikation mellan rum och tak kan se ut via fiberoptisk kabel.

Att bygga ett kommunikationssystem bestående av sändare, mottagare och fiberoptisk kabel för de distanser som är önskade är möjligt.

Dock krävs en robustare konstruktion för att kommunikationen ska fungera felfritt.

Sändare – och mottagarenheten som konstruerades kan ses som en liten modell för ett system som sänder och mottar värde på illuminansen. Vid mottagande av illuminansvärdet reagerar en DC motor vid igenkänning av vissa värden.

Den andra metoden visade sig lite mer svårhanterlig. Det berodde mycket på hanteringen av solljuset som ljuskälla. Tekniken har varit svårkontrollerad för noga resultat och bedömning. Dock har mätningar ändå gjorts för att förstå hur en sådan metod i praktiken kan se ut. Det finns möjligheter med rätt utrustning att ytterligare verifiera mätmetoden med kabelslinga.

7.2 Diskussion

Arbetet har kretsat kring att verifiera två metoder för optisk kommunikation. Syftet var att ta fram en teknisk lösning i form av enheter för kommunikation via företagets installerade kablar. Praktiskt har metoderna bekräftats med simpla modeller. Dock har det inte varit möjligt att testa koncepten på installerad panel i full skala. Dataöverföring för kabel med sex fibrer är möjlig med de distanser som finns men solpanelens konstruktion begränsade mottagande av signal. Det krävs en linsanpassad design för att kunna ta emot signalen felfritt och för att övertäcka linsen för eliminering av bakgrundsljus. En modell för hur förmedling av illuminansvärden via optisk fiber kan anses vara utredd.

Metoden för kabelslinga visade sig vara än mer krångligare att utföra. För att göra en rättvis bedömning av metoden, krävdes en hel del arbete. Trots arbetet med att stabilisera utrustningen fanns det parametrar som försvårade mätningen av ljus.

Bakgrundsljus trots övertäckning av panel skapade osäkerhet i mätdata. Möjligheten att designa speciell utrustning ansågs inte ligga inom ramen för projektet.

När det gäller kalibrering av solpanel har inget praktiskt förfarande testats.

I modellen med sändare – och mottagarenhet kopplades en DC motor för att simulera en respons på illuminansvärdet. Tanken från början var att när illuminansvärden nådde mottagaren skulle solpanelen reagera på värdet och justera sin position. Detta har försvårats på grund av begränsningen i att motta signal i sammanslutning till panelen. Vi som har arbetat med projektet anser att metoden med kabelslinga inte förenklar kalibreringsprocessen i jämförelse med den manuella metoden. Metoden med kabelslinga kommer i längden även kräva tid och specifik utrustning för att genomföra kalibreringen. För optiska fiberkablar är tekniken för kommunikation långt gången.

När det gäller kommunikation av data för solpanelen är möjligheterna större och effektivare. Ett förslag är att utveckla en envägs kommunikation från rum till tak via företagets optiska kablar. Då skulle t.ex. en sjunde kabel, utöver de befintliga sex, kunna fungera som en kommunikationskabel. Med en sådan konstruktion blir arbetsbelastningen mindre och snabbare.

Referenser

- [1] Svedberg,P,Åkergren.O. *Kalibrering av ljussensor för Parans solpanel*. Examensarbete. Chalmers tekniska högskola; 2015.
- [2] Beiser A. *Schaum's Outline of Applied Physics*,4th Edition.The McGraw-Hill Companies,Inc; 2009.
<http://accessengineeringlibrary.com/browse/schaums-outline-of-applied-physics-fourth-edition#fullDetails> (hämtad 19 maj 2016).
- [3] Radio-Electronics.com: *Fibre optic communications tutorial*.
http://radio-electronics.com/info/telecommunications_networks/fiber-fibre-optics/communications-basics-tutorial.php (hämtad 21 mars 2016).
- [4] Technical manual SP3. Parans Solar Lighting AB; 2014.
- [5] Parans Solar Lighting:*Paranssystemet använder varje soltimme*. www.parans.com/swe/sp3 (hämtad 21 mars 2016).
- [6] Hamamatsu photonics K.K. *Two dimensional PSD S5990-01,S5991-01*; 2013.
https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/s5990-01_etc_kpsd1010e.pdf (hämtad 30 mars 2016).
- [7] Arduino. Arduino Uno: Overview. <https://www.arduino.cc/en/main/arduinoBoardUno> (hämtad 22 mars 2016).
- [8] AMS. *TSL2591 Datasheet-Apr.2013-ams163.5*; 2013
https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/TSL25911_Datasheet_EN_v1.pdf (hämtad 18 mars 2016);
- [9] Adafruit. *Adafruit TSL2591 High dynamic range digital light sensor*.
<https://www.adafruit.com/products/1980> (hämtad 23 mars 2016)
- [10] Sharp. *GP1FAV31TK0F Fiber optic transmitter. Sheet No.E2-A00601EN*; 2006
<http://www.farnell.com/datasheets/624361.pdf> (hämtad 4 maj 2016)
- [11] Sharp. *GP1FAV31RK0F Fiber optic receiver. Sheet No. E2-A01401EN*; 2006
<http://www.farnell.com/datasheets/1500358.pdf> (hämtad 4 maj 2016)
- [12] Arduino.Serial.<http://www.arduino.cc/en/Reference/Serial> (hämtad 22 maj 2016)

[13] Guide to fiber optics & premises cabling: *Power budget and loss budget*.
<http://www.thefoa.org/tech/lossbudg.htm> (hämtad 4 juni 2016);

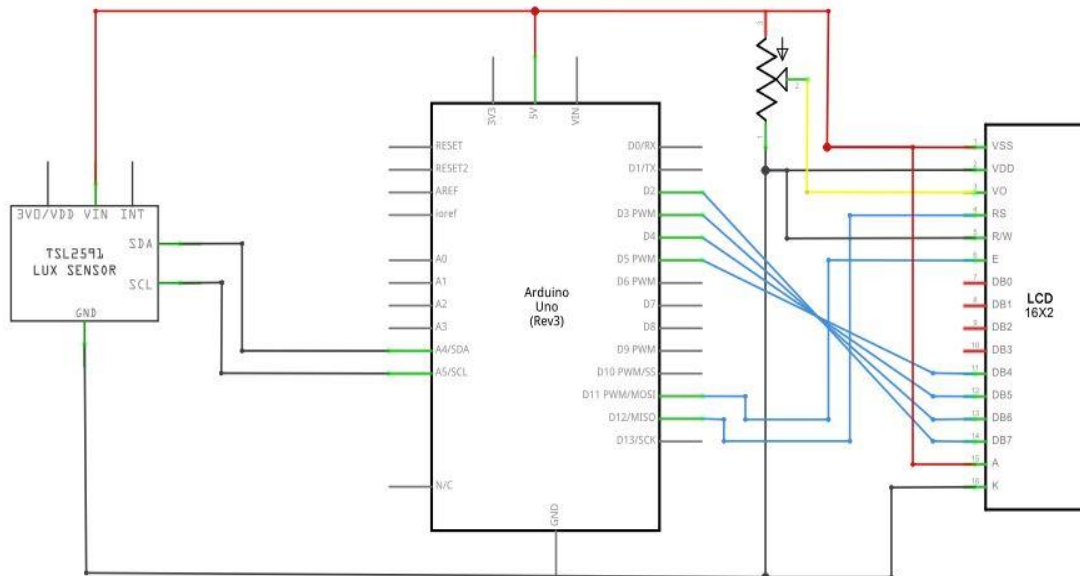
[14] Cisco. *Cisco-Introduction to Optical Fibers,dB, Attenuation and Measurements*.
<http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/optical/synchronous-digital-hierarchy-sdh/29000-db-29000.html#topic1> (hämtad 4 juni 2016)

[15] Cliff Electronic components limited. *Toslink audio data connector*.
<http://se.farnell.com/cliff-electronic-components/fm65015/optical-cable-audio-plug-1-5m/dp/2447913> (hämtad 24 maj 2016);

[16] Ziemann O,Krauser J, Zamzow PE, Daum W. *POF Handbook, optical Short Range transmission systems, 2nd edition*. Springer.com; 2008. E-book.

BILAGA A. Kopplingsschema

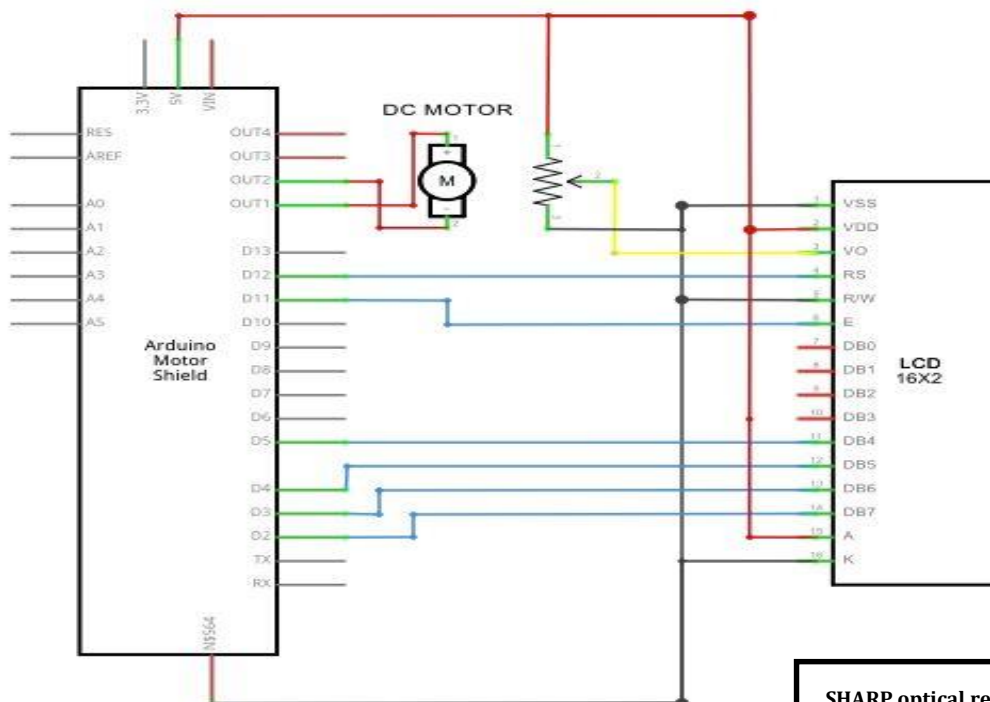
A1. Sändar – och mottagarenheter



SHARP optical transmitter

$V_{in} \rightarrow$ Tx Arduino
 $V_{cc} \rightarrow$ 3.3 V Arduino
 $GND \rightarrow$ GND Arduino

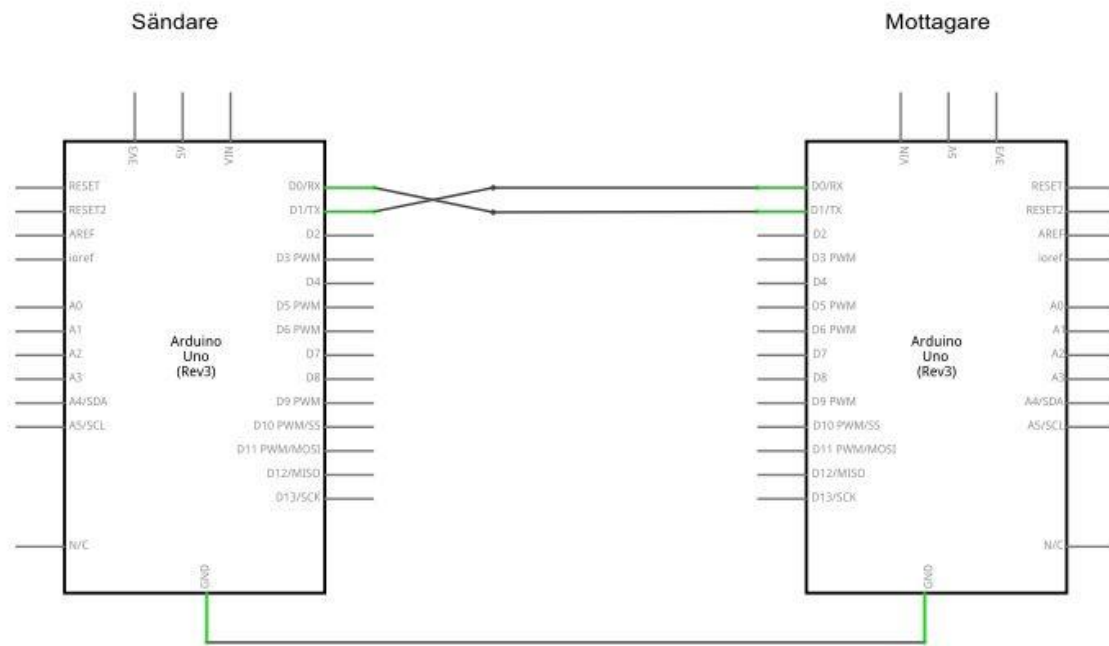
Toslink kabel



SHARP optical receiver

$V_{cc} \rightarrow$ 3.3 V Arduino
 $GND \rightarrow$ GND Arduino
 $V_{out} \rightarrow$ Rx Arduino

A2. Tx/Rx överföring



BILAGA B. Kod

B1. Kod för sändaren

```
/* ***** */

This is a library for the Adafruit TSL2591 breakout board
This library works with the Adafruit TSL2591 breakout
----> https://www.adafruit.com/products/1980

Check out the links above for our tutorials and wiring diagrams
These chips use I2C to communicate

Adafruit invests time and resources providing this open source code,
please support Adafruit and open-source hardware by purchasing
products from Adafruit!

@section LICENSE

Software License Agreement (BSD License)

Copyright (c) 2014 Adafruit Industries
All rights reserved.

/* ***** */

#include <Adafruit_TSL2591.h>

/* TSL2591 Digital Light Sensor */
/* Dynamic Range: 600M:1 */
/* Maximum Lux: 88K */

/* *****Libraries***** */
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include "Adafruit_TSL2591.h"

/* ***** Variable declarations ***** */
SoftwareSerial Serial1(0, 1);
LiquidCrystal lcd(12,11,5,4,3,2); // Ben för displayen

int i=0;
int j=0;
char str[100];

Adafruit_TSL2591 tsl = Adafruit_TSL2591(2591);

/* ***** */

void displaySensorDetails(void)
{
  sensor_t sensor;
  tsl.getSensor(&sensor);
  Serial.println("-----");
  Serial.print ("Sensor:      "); Serial.println(sensor.name);
  Serial.print ("Driver Ver:    "); Serial.println(sensor.version);
```

```

Serial.print ("Unique ID:   "); Serial.println(sensor.sensor_id);
Serial.print ("Max Value:   ");
Serial.print(sensor.max_value); Serial.println(" lux");
Serial.print ("Min Value:   "); Serial.print(sensor.min_value);
Serial.println(" lux");
Serial.print ("Resolution:  "); Serial.print(sensor.resolution);
Serial.println(" lux");
Serial.println("-----");
Serial.println("");
delay(500);
}

/*****Sensor Configuration*****/

void configureSensor(void)
{
  tsl.setGain(TSL2591_GAIN_LOW);
  //tsl.setGain(TSL2591_GAIN_MED); // 25x gain
  tsl.setTiming(TSL2591_INTEGRATIONTIME_100MS); //shortest integration time
  (bright light)

  /* Display the gain and integration time for reference sake */
  //Serial.println("-----");
  // Serial.print ("Gain:      ");
  tsl2591Gain_t gain = tsl.getGain();
  switch(gain)
  {
    case TSL2591_GAIN_LOW:
      // Serial.println("1x (Low)");
      break;
    case TSL2591_GAIN_MED:
      // Serial.println("25x (Medium)");
      break;
    case TSL2591_GAIN_HIGH:
      // Serial.println("428x (High)");
      break;
    case TSL2591_GAIN_MAX:
      //Serial.println("9876x (Max)");
      break;
  }
}

/***** Setup function *****/

void setup() {

  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Illimunance (lx)");

  //Serial.println("Starting Adafruit TSL2591 Test!");

  if(tsl.begin()){

```

```

    Serial.println("Found a TSL2591 sensor");

    }else{
        Serial.println("No sensor found ... check your wiring?");

        while (1);

    }

/* Display some basic information on this sensor */
displaySensorDetails();

/* Configure the sensor */
configureSensor();

// Now we're ready to get readings ... move on to loop()!
}

/***** Unified Sensor API read *****/

void unifiedSensorAPIRead(void){

/* Get a new sensor event */
sensors_event_t event;
tsl.getEvent(&event);

/* Display the results (light is measured in lux) */
/* If event.light = 0 lux the sensor is probably saturated */
/* and no reliable data could be generated! */
/* if event.light is +/- 4294967040 there was a float over/underflow */

    if ((event.light < 0) | (event.light > 4294966000.0) | (event.light <-
4294966000.0)){

        Serial.println("Invalid data (adjust gain or timing)");
        i--;
    } else {

        Serial.print(event.light); Serial.println(" lux");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("Value:");
        lcd.print(event.light);

    }

}

/***** Loop begin *****/

void loop() {

unifiedSensorAPIRead();

    ltoa(get_average , str, 10);
}

/*****END LOOP*****/

```

B2. Kod för mottagaren

```
/*
This is a test sketch for the Adafruit assembled Motor Shield for Arduino
v2
It won't work with v1.x motor shields! Only for the v2's with built in PWM
control

For use with the Adafruit Motor Shield v2
----> http://www.adafruit.com/products/1438
*/

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MotorShield.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include "utility/Adafruit_MS_PWMServoDriver.h"

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
SoftwareSerial Serial1 = SoftwareSerial(0,1);

// Create the motor shield object with the default I2C address
Adafruit_MotorShield AFMS = Adafruit_MotorShield();
// Or, create it with a different I2C address (say for stacking)
// Adafruit_MotorShield AFMS = Adafruit_MotorShield(0x61);
// Select which 'port' M1, M2, M3 or M4. In this case, M1
Adafruit_DCMotor *myMotor = AFMS.getMotor(1);
// You can also make another motor on port M2
//Adafruit_DCMotor *myOtherMotor = AFMS.getMotor(2);

/*-----Definitions-----*/

char str[100];

long int value;
long int average;
long int result;

/*-----*/

void setup() {

  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Illuminance (lx)");
  Serial.begin(9600); // set up Serial library at 9600 bps
  Serial1.begin(9600);
  //Serial.println("Adafruit Motorshield v2 - DC Motor test!");

  AFMS.begin(); // create with the default frequency 1.6KHz
  //AFMS.begin(1000); // OR with a different frequency, say 1KHz
  // Set the speed to start, from 0 (off) to 255 (max speed)
  myMotor->setSpeed(150);
  myMotor->run(FORWARD);
  // turn on motor
}
```

```

myMotor->run(RELEASE);
}

/*-----*/

void run_motor ( ){

value = result;

if(result >100 && result <499 ){
for(int j=0; j<2;j++){
    myMotor->setSpeed(250);
    myMotor->run(FORWARD);
delay(500);
    myMotor->run(RELEASE);
delay(200);
}

}
if(result >500 && result <2000 ){
for(int j=0; j<2;j++){
    myMotor->setSpeed(150);
    myMotor->run(FORWARD);
    delay(5000);
    myMotor->run(RELEASE);
    delay(2000);
}
for(int m=0; m<5;m++){
myMotor->setSpeed(100);
myMotor->run(BACKWARD);
delay(5000);
myMotor->run(RELEASE);
    delay(2000);
}
}
}
long int get_value(){

int i=0;

if (Serial1.available()) {
delay(100); //allows all serial sent to be received together
while(Serial1.available() && i<100) {
    str[i++] = Serial1.read();

}
str[i++]='\0';

if(i>0) {
result = atol(str); // char to int
Serial.println(result);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Value:");
lcd.print(result);

}

}

```

```
    }  
    return(result);  
}  
  
void loop(){  
    get_value();  
    run_motor();  
}
```