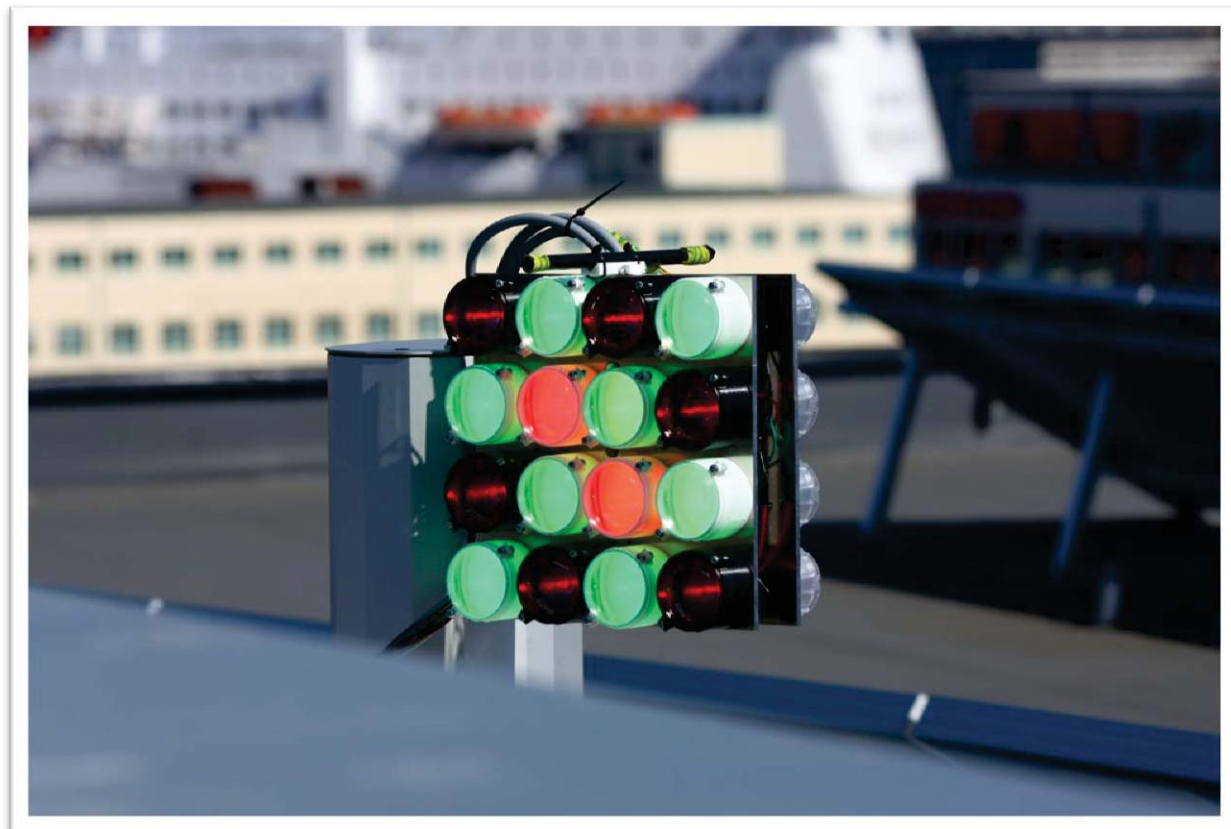




CHALMERS



Signallampa med LED-teknik

LED Signal Light Gun

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Mekatronik

ERIC GARD

STEFAN ENGLUND

Förord

Detta examensarbete är en avslutande del för Mekatronikprogrammet (180 HP) vid Chalmers tekniska högskola och är på 30 HP fördelat på två personer. Vi har utfört examensarbetet på institutionen för signaler och system med Manne Stenberg som examinerator samt Göran Hult som handledare. Arbetet har utförts hos SAAB AB på Lindholmen/Göteborg våren 2014 under ca 10 veckor.

Stort tack till alla inblandade på både SAAB och Chalmers som har hjälpt oss med framtagandet av detta examensarbete. Särskilt vill vi tacka vår handledare Henrik Engström på SAAB för hjälp med konstruktion, testning och material. Vi vill även tacka Göran Hult för hans hjälp med rapportskrivning och feedback på rapporten.

Eric Gard & Stefan Englund

Göteborg, 27 maj 2014

Sammanfattning

Denna rapport beskriver ett examensarbete utfört för SAAB AB. Examensarbetet går ut på att ta fram ett underlag för en ny typ av signallampa (SLG = Signal Light Gun) utan rörliga delar tänkt för användning tillsammans med SAABs produkt *Remote Tower*.

En SLG används för kommunikation mellan flygledare och flygtrafik och ska användas vid händelse av att radiokommunikation ej fungerar. Ett antal olika färger och sekvenser används för att förmedla olika meddelanden från flygledare till mottagare.

Den signallampa som konstruerades använder sig av röda och gröna lysdioder för att kunna visa färgerna rött, grönt och vitt. Den vita färgen skapas genom att kombinera rött och grönt ljus.

Till skillnad från befintliga signallampor är denna signallampa helt utan rörliga delar och den kan snabbt byta olika färger då separata lysdioder för varje färg använts.

En form av felövervakning av de individuella lysdiodernas funktion finns genom att använda en fototransistor som detekterar ljus. Funktionskontrollen aktiverar en kort fyrkantsvåg till lysdioden som vid korrekt funktion kommer att generera samma fyrkantsvåg från fototransistorn vilken sedan detekteras.

Två olika typer av optik har undersökts, asfärisk optik och TIR-optik. Med den asfäriska optiken kan en strålvinkel på ca 2° uppnås och med TIR-optiken ungefär 8°. Kravet på att synas på 5 km avstånd uppfylls av båda optiktyperna.

Arbetet har gått ut på att ta fram ett underlag för val av lysdioder, optik och styrelektronik. Arbetet har därför avgränsats till att ej ta fram en komplett konstruktion av en signallampa.

Nyckelord: Signallampa, LED, lysdiod, optik,

Abstract

This report describes a thesis work done for SAAB AB. The purpose of this thesis work is to develop a concept for a new type of signal light gun (SLG) without moving parts, for use with SAABs product Remote Tower.

A SLG is used to communicate between air traffic controllers and air traffic in the event that the radio communication is not working. A variety of colors and sequences are used to convey different messages from air traffic controllers to the receiver.

The constructed SLG uses red and green LEDs to show the colors red, green and white. The white color is created by combining red and green LEDs.

Unlike the existing signal light gun, this SLG functions without the use of moving parts, and can quickly change colors because separate LEDs is used for each color.

The SLG also has the ability to detect faulty LEDs by using a phototransistor. The fault detection is created by generating a square wave to the LED which, when functioning properly, will generate the same square wave from the phototransistor which is then detected by a microcontroller.

Two different types of optics have been investigated, TIR optics and aspheric optics. With the aspheric optics, a beam angle of about 2° is achieved and with TIR optics approximately 8° .

The requirement to be visible at 5 km distance is fulfilled by both types of optics.

The assignment has been to develop a basis for selection of LEDs, optics and control electronics. Work has therefore been limited to not produce a complete design of a SLG.

Keywords: Signal Light Gun, LED, optics

Innehåll

1. INLEDNING.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Precisering av arbetsuppgiften	1
1.5 Kravspecifikation	2
2 TEKNISK BAKGRUND	3
2.1 Lysdiod	3
2.2 Elektronik.....	4
2.3 Mjukvara	4
2.4 Optik.....	5
2.4.1 TIR-optik.....	5
2.4.2 Asfärisk optik	6
3 METOD	7
4 KONSTRUKTION	7
4.1 Val av lysdioder	7
4.2 Val av optik.....	8
4.3 Testplattform	10
4.4 Styrenhet	15
4.5 Verifiering av funktion.....	16
4.6 HMI	18
5 RESULTAT	20
5.1 Temperaturtest	20
5.1.1 Simulering av temperaturhöjning	20
5.1.2 Mätning av temperaturhöjning	21
5.2 Utvärdering av strålvinkel & ljusstyrka.....	23
5.3 Distanstest	25
5.4 Jämförelse mot kommersiell signallampa	30
6 DISKUSSION	32
7 SLUTSATS	35
Källförteckning.....	36

1. INLEDNING

Här förklaras projektets bakgrund, syfte, mål och dess problemställning. Även kravspecifikationen som togs fram presenteras här.

1.1 Bakgrund

Saab AB utvecklar produkten Remote Tower vilket är ett fjärrmanövrerat flygledartorn som kan användas för att dirigera flygtrafik utan att behöva befinna sig i närheten av flygplatsen som ska kontrolleras. Högst upp på Remote Tower finns en signallampa som tillsammans med en kamera är monterad på en pan-tilt-robot. Denna lampa kan riktas in med hjälp av roboten och används för att kommunicera med flygtrafiken om flygplanets radiokommunikation inte fungerar. Syftet är att ta fram nästa generation av denna signallampa med förbättrad prestanda.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att ta fram ett underlag för en ny signallampa som inte använder rörliga delar för sin funktion, men den ska fortfarande uppfylla befintlig kravspecifikation.

1.3 Avgränsningar

Konstruktion av signallampans hölje ska inte utföras, dock kan ett hölje koncepteras för vidare utveckling.

Ingen kommunikation med extern styrning behöver tas fram, dock ska möjlighet att styra lokalt finnas.

1.4 Precisering av arbetsuppgiften

För att ta fram den nya signallampan behöver ett antal frågor kunna besvaras:

- Vilka är de bästa lysdioderna att använda för att synas väl på långt avstånd?
- Vilken optik behövs för att uppfylla krav på strålvinkel?
- Hur ska styrningen av lamporna utformas?
- Hur ska operatören veta att lampan är funktionsduglig?
- Hur ska lampan vara designad så att man klarar miljökraven samtidigt som en låg vikt är möjlig?
- Hur konstruerar man lampan så att inga rörliga delar behövs?

1.5 Kravspecifikation

Kravspecifikationen som sattes upp för utvecklingen av signallampan fick tas fram utifrån olika regelverk samt SAABs egna önskemål och är som följer:

Krav som *ska* uppfyllas:

- Lampan ska synas på 4-5 km i klart dagsljus (motsvarar en ljusstyrka på ca: 6000 cd)
- Färgerna rött, vitt och grönt skall finnas
- Felkontroll ska finnas
- $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ omgivningstemp ska klaras av
- Signallampan ska inte ha några rörliga delar
- Möjlighet att testköra lokalt ska finnas

Krav som *bör* uppfyllas

- 1° - 3° full strålvinkel med försumbar mängd ljus utanför 3°
- Låg vikt
- DC-matning 12 V-48 V

2 TEKNISK BAKGRUND

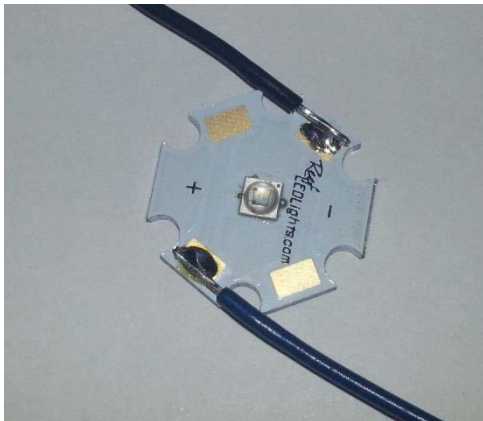
Nedan beskrivs de tekniska komponenter och system som kommer att användas inom projektet.

2.1 Lysdiod

En lysdiod, eller LED, är en komponent som fungerar likt en vanlig diod med skillnaden att den även genererar ljus när en ström går genom dioden. Lysdioder finns i en mängd olika storlekar med effekter från ett par mW upp till hundratals Watt.

En lysdiod är en mycket effektiv ljuskälla jämfört mot andra typer av belysning då de har en mycket hög verkningsgrad. Den höga verkningsgraden uppkommer då en lysdiod fungerar med hjälp av elektroluminiscens och inte genom värme som traditionella glödlampor. Dock så är färgåtergivningen ofta dålig då ljuset enbart består av ett fåtal olika våglängder och inte ett kontinuerligt ljusspektrum.

En lysdiods ljusintensitet mäts i candela där en candela motsvarar ungefär ett stearinljus i ljusstyrka. Lysdiodens totala ljusflöde mäts i Lumen, där en helt rundstrålande ljuskälla på en candela ger ljusflödet 4π lumen. Lysdiodens ljusstyrka kan mätas med hjälp av en luxmeter där en lux mätt från en meters avstånd motsvarar en ljusintensitet av en candela. [1]



Figur 2-1 En av de lysdioder som valdes till signallampans konstruktion. Här monterad på en 20 mm aluminiumstjärna.

2.2 Elektronik

Mikrokontroller

En mikrokontroller är ett programmerbart styrsystem med möjlighet att kommunicera med omvärlden på olika sätt. Ofta finns möjlighet att läsa och skriva till mikrokontrollerns portar för att kunna styra externa komponenter. De brukar också ha möjlighet att läsa analoga spänningar samt skapa PWM-signaler (Pulse Width Modulation). Ofta finns även olika sätt att kommunicera med kringkomponenter genom olika kommunikationsprotokoll såsom RS232, I2C, SPI osv. Här används en *ATmega328p* för kommunikation och kontroll av signallampan vilket är en mikrokontroller tillverkad av Atmel. Den har alla de funktioner som kan förväntas med flera PWM-kanaler, AD-omvandlare och olika kommunikationsmöjligheter. [2][5]

Termistor

Tillsammans med mikrokontrollern kommer även en del annan elektronik att behövas för att kunna kontrollera signallampan. Bland annat så kommer en termistor att användas för att kunna mäta temperatur. Detta är en komponent vars resistans ändras på ett förutsägbart sätt vid olika temperaturer. En termistor är billig och enkel att använda jämfört mot de mer avancerade temperaturmätningsskretsar som finns tillgängliga, som ofta ger bättre precision och fler funktioner men samtidigt är svårare att använda, drar mer ström och är mycket dyrare.[6]

Buck-regulator

En Buck-regulator kan användas för att ge konstant ström till lysdioderna. Detta är en enhet som består av en switchad spole med kringkomponenter som genom att styras kan ge en konstant ström på utgången. Detta gör att den lämpar sig väl för att driva lysdioder med då den inte gör som ett motstånd där oönskad effekt endast ”bränns bort” och därför har en buck-regulator mycket hög verkningsgrad, ofta över 90 %.

2.3 Mjukvara

Här beskrivs den viktigaste mjukvaran som användes för konstruktionen av signallampan.

Processing

Mjukvaran Processing är en öppen utvecklingsmiljö för att snabbt och enkelt kunna skapa grundläggande grafiska program på sin PC utan att behöva ha några djupare kunskaper inom programmering av fönster och grafik. Här används detta program för att skapa ett HMI mellan en PC och signallampa samt en robot.

Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) är en utvecklingsmiljö för prototypplattformen Arduino. Denna utvecklingsmiljö gör det mycket enkelt att med ett C-liknande programmeringsspråk styra mikrokontrollern utan att behöva ställa in register, klockfrekvenser och annat.

2.4 Optik

För denna signallampa undersöktes huvudsakligen två typer av optik, asfärisk optik samt TIR-optik (Total Internal Reflection). Nedan följer en förklaring av dessa.

2.4.1 TIR-optik

TIR-optik bygger på principen att ljus som färdas mellan två ämnen med olika brytningsindex kommer att böjas av, infallsvinkeln kommer alltså att vara skild från utfallsvinkeln. Snells lag beskriver hur dessa vinklar förhåller sig till varandra enligt

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (\text{ekv. 2.1})$$

där n i *ekvation 2.1* ovan är brytningsindexet för respektive material.

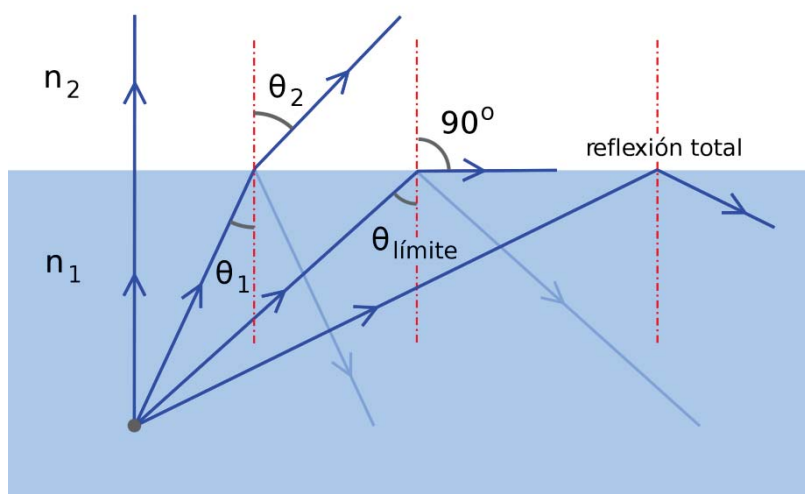
Genom att infallsvinkeln är känd så kan utfallsvinkeln beräknas genom användning av följande ekvation:

$$\sin \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1 \quad (\text{ekv. 2.2})$$

För att hitta den kritiska vinkeln θ beräknas

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (\text{ekv. 2.3})$$

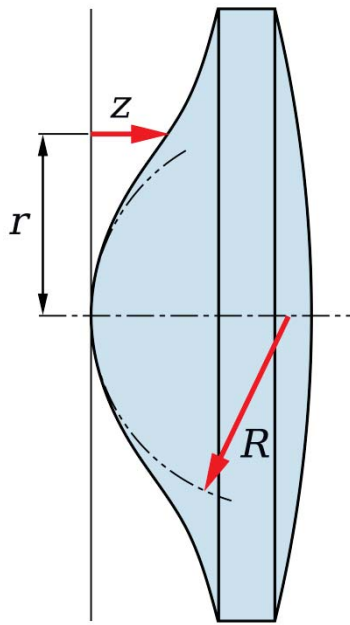
För vinklar som är större än denna vinkel θ från *ekvation 2.3* kommer total reflektion att uppstå. Det är detta som TIR-optik utnyttjar för att rikta ljuset ut ur optiken i en smal vinkel utan att ljus ”läcker” ut ur sidorna.[3]



Figur 2-2 Visar förhållande mellan in- och utfallsvinkel mellan två material(8)

2.4.2 Asfärisk optik

Asfärisk optik är linser som är baserade på sfäriska former men där radien på sfären ändrar sig efter avstånden från centrumlinjen. Den asfäriska linsen är bra på att fokusera parallella ljusstrålar som infaller mot den asfäriska ytan till en skarp punkt bakom linsen. Dock så används linsen åt andra hållet i detta fall, lysdioden kan ses som en punktformad ljuskälla som belyser linsens plana yta och i idealfallet ska parallella ljusstrålar stråla ut från linsens asfäriska yta. Tillsammans med en lysdiod så ska en väl monterad asfärisk lins ge en projektion av själva diod-chippet där man tydligt ska kunna urskilja mönster och ledningar.[4]



Figur 2-3 Visar generellt utseende på en asfärisk lins [7]

3 METOD

Arbetsgången planeras att ifrån ett antal olika komponenter välja några lämpliga kandidater av dioder, linser och styrelektronik för vidare utvärdering. Eliminationen av komponenter kommer att utföras genom användning av urvalsmatriser vilket kommer att eliminera de komponenter som inte klarar av kraven från kravspecifikationen och lämna kvar de komponenter som bäst passar för applikationen.

De valda komponenterna kommer därefter att testas genom att utforma experiment där relevanta parametrar kan mätas såsom strålvinkel för optiken eller ljusstyrkan för lysdioder. Utifrån dessa test jämförs komponenterna mot kravspecifikationen för att välja de lösningar som kommer att användas för vidare utveckling av signallampan.

När valet av komponenter är klart så kommer styrelektronik för dessa att väljas, införskaffas och eventuell programkod kommer att tas fram. Nästa steg kommer valda komponenter att sättas ihop till en prototyp som kommer att testas mot kravspecifikationen olika experiment för att få fram användbar data.

Dessa data kommer till sist att analyseras för att kunna ge ett slutgiltigt lösningsförslag på signallampan som därefter överlämnas till företaget.

4 KONSTRUKTION

I detta kapitel förklaras hur arbetsgången gick till och vad som gjordes i de olika stegen för att gå från en kravspecifikation och frågeställning till att ha en fungerande signallampa.

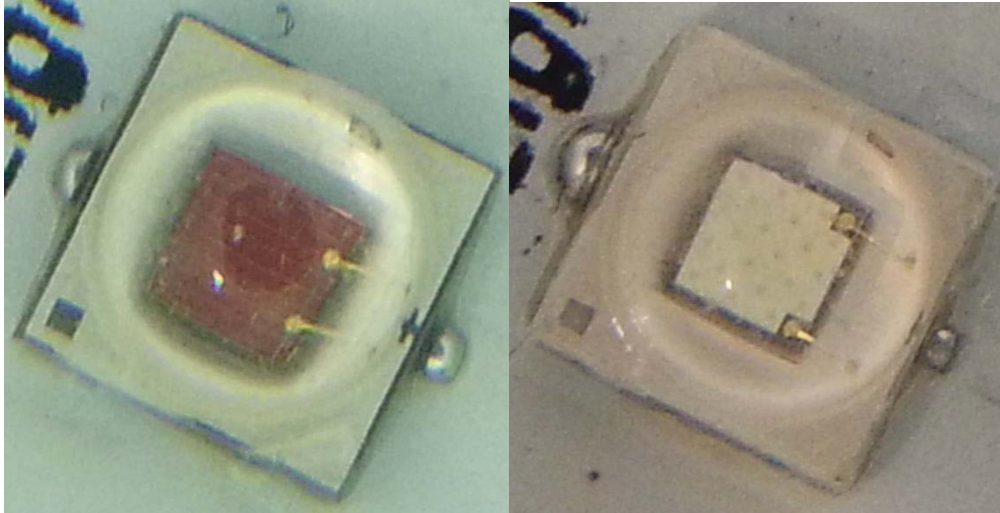
4.1 Val av lysdioder

Det första som gjordes var att välja lysdioder som skulle användas till signallampan då detta är den viktigaste komponenten i signallampan och lysdioderna som väljs bestämmer mycket av hur resten av konstruktionen kommer att byggas. För att inga rörliga delar ska behövas gjordes valet att använda färgade lysdioder istället för färgfilter som används i klassiska signallampor. Lysdioderna måste hålla en hög kvalitet och vara mycket driftsäkra då det ställs höga krav på deras funktionalitet även under tuffa förhållanden och miljöer.

Valet av lysdioder påbörjades med att undersöka vilka tillverkare som finns samt vilka lysdioder de tillverkar som var aktuella för denna tillämpning. Därefter valdes flera olika typer av dioder ut från olika tillverkare för vidare utvärdering. Då antalet olika dioder behövde minskas så valdes användningen av en elimineringsmatris för att reducera antalet val. Denna matris presenteras i *Bilaga C* utifrån vilken det syns att fem typer av dioder finns kvar för utvärdering. Dessa fem dioder undersöktes mer noggrant var för sig genom användning av

en Pugh-matris som presenteras i *Bilaga E* och valet föll på dioden **XP-E2** från tillverkaren Cree som var mest lämpad för denna applikation av flera anledningar:

- Den hade högst ljusintensitet per ytenhet samtidigt som den är mycket liten. Detta innebär att den ger minsta möjliga strålvinkel när den används tillsammans med optik för fokusering.
- Den finns i alla de färger som kan komma att behövas.
- Den är enkel att få tag på och kommer från en välkänd tillverkare.
- Den valda dioden har högst effektivitet av alternativen vilket gör att både temperatur och effektförbrukning hålls nere.



Figur 4-1 Röd diod t.v. och grön diod t.h.

I *figur 4-1* visas bilder på två av de XP-E2-dioder som används. I bilderna kan lysdiodens kontakter, ledningar och mönster kan urskiljas.

4.2 Val av optik

Ett av de viktigaste kraven för en signallampa är strålvinkeln på ljuskonen. Därför är optiken en mycket viktig del av signallampans konstruktion då lysdiodens strålvinkel är 115° utan optik vilket är alldeles för mycket. Optikens jobb är att fokusera de 115° ned till den önskade gränsen på maximalt 3° och samtidigt behålla så mycket ljus som möjligt.

Det finns ett antal olika optiktyper att välja mellan. Här valdes två typer av optik ut att bygga varsin prototyp med, TIR-optik (*figur 4-2*) och asfäriska linser (*figur 4-3*). Dessa typer valdes då de båda två klarar av att fokusera ljuset bra och deras små byggstorlekar.

TIR-optiken kommer från tillverkaren *Gaggione*, och är av typen LLC49R. Dessa ska enligt databladet ge en strålvinkel på $3,6^\circ$, dock så är detta värde definierat så att 50 % av ljuset hamnar inom dessa $3,6^\circ$ och resten utanför.

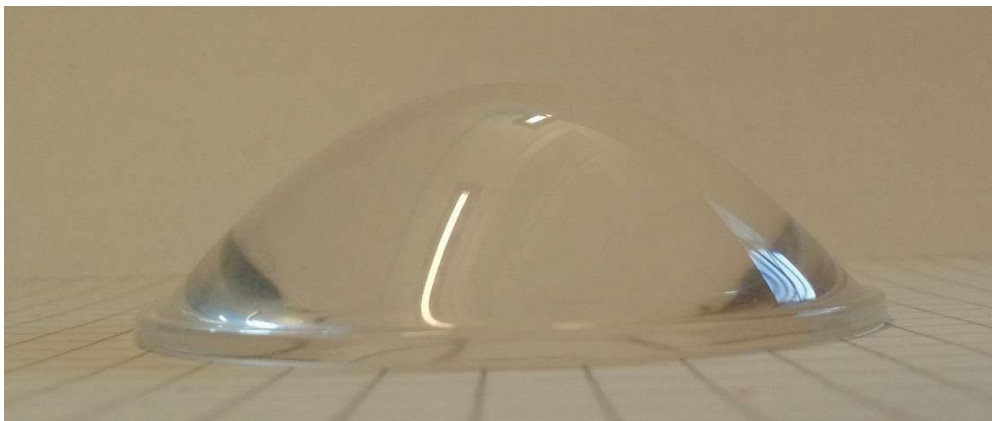
Även om de överstiger önskemålet på max 3.0° så avgjordes det trots detta att bygga en prototyp även med denna optiktyp då den kanske kan uppfylla de övriga kraven som finns, t.ex. att synas på 5 km.

Den TIR-optik som valdes är den mest smalstrålande TIR-optik som fanns tillgänglig vid utvärderingen av vilka linser som skulle användas. [11]



Figur 4-2 En av de TIR-linser som används till signallampan

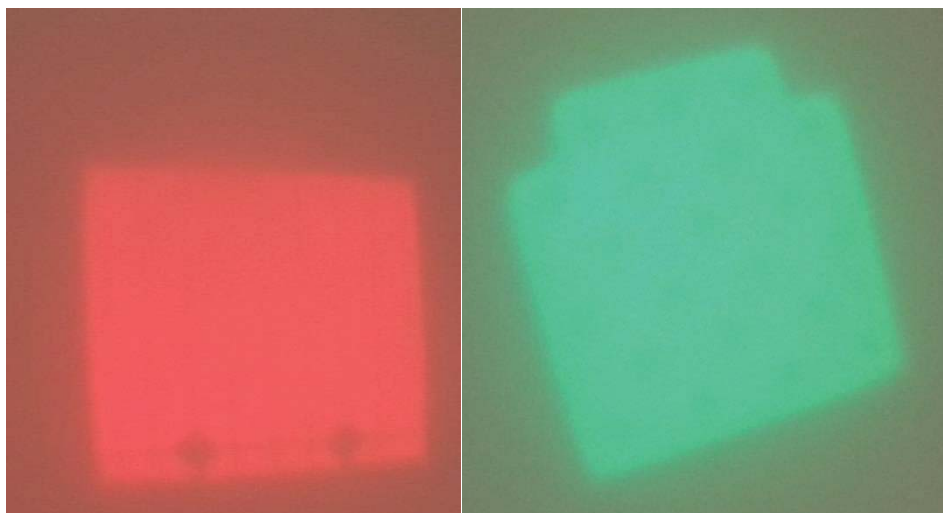
De asfäriska linserna är tillverkade av företaget *Edmund Optics* (artikelnummer #46-661) och är 50 mm i diameter med en BFL¹ på 27 mm. När det handlar om asfäriska linser så ger en större lins generellt sett mindre strålvinkel mot vad en mindre lins ger, men det är även viktigt att tänka på storlek på hela signallampan. Därför valdes linser med 50 mm diameter då dessa hade en strålvinkel på ungefär 2° samtidigt som har de relativt liten diameter för att kunna skapa en kompakt konstruktion med låg vikt.



Figur 4-3 En av de 50mm asfäriska linser som används till signallampan

Den typ av lins som visas i *figur 4-3* visade sig fungera mycket bra tillsammans med valda lysdioder och med rätt avstånd så ger dem en tydlig projektion av lysdioden där de ledningar och mönster som syns i *figur 4-1* även syns i projektionen.

¹ BFL (Back Focal Length) = Måttet från baksidan av linsen till fokuspunkten(lysdioden i detta fall).

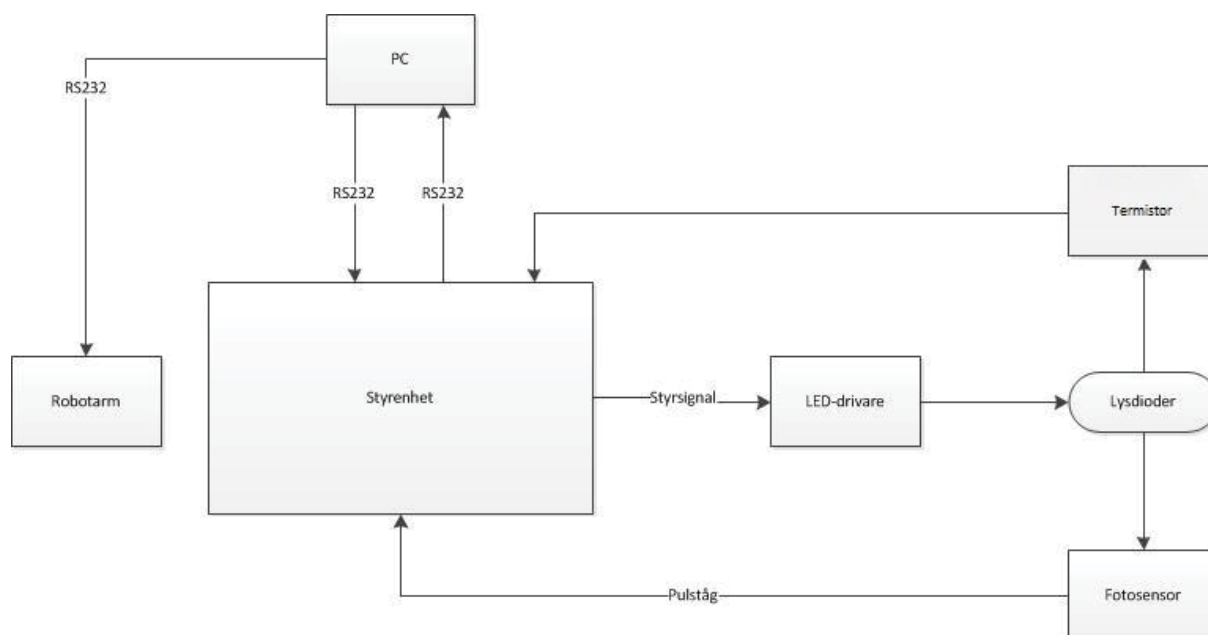


Figur 4-4 Projektion av röd resp. grön lysdiod på vägg med asfärisk lins.

Själva chippet på den lysdiod som används (figur 4-1) är endast 1x1 mm stor medan projektionens (figur 4-4) storlek, på ett avstånd av 4,5 m, är 16x16 cm vilket motsvarar en strålvinkel på ca 2°.

4.3 Testplattform

En testplattform togs fram för att kunna jämföra de två olika optikerna mot varandra. Denna plattform består av en platta med monterade lysdioder och optik, en robot samt en PC för styrning. Plattformen är tänkt att användas som ett hjälpmedel till de experiment som ska genomföras och testplattformens ingående delar visas schematiskt nedan i figur 4-5.



Figur 4-5 Blockschema för testplattformen

På PC:n körs ett HMI (Human Machine Interface, beskrivs i kap. 4.6) som använts för att styra robotarmen samt skicka och ta emot kommandon från styrenheten (kap. 4.4). Robotarmen är tillverkad av RoboScan av typen RL96 som kan ta emot styrkomandon för positionering via en serie-kommunikation på 9600 baud. Från styrenheten skickas en PWM-signal som vid aktiv låg signal tänder lysdioderna. Lysdiodd drivarna är av typen *buck-drivare* [15] (kap. 2.2) och kommer från företaget Led-tech. Drivarna se till att det går en konstant ström på 1 A genom lysdioderna vid aktivering. Max inspänning för drivarna är 30 V och de behöver ligga ett par volt över framspänningsfallet för lysdioderna för att kunna reglera strömmen väl. Med 8 st seriekopplade lysdioder på ca 3,5 V vardera ger det att total spänningsfallet över lysdioderna blir 28 V, vilket är något under maximal inspänning på 30 V.

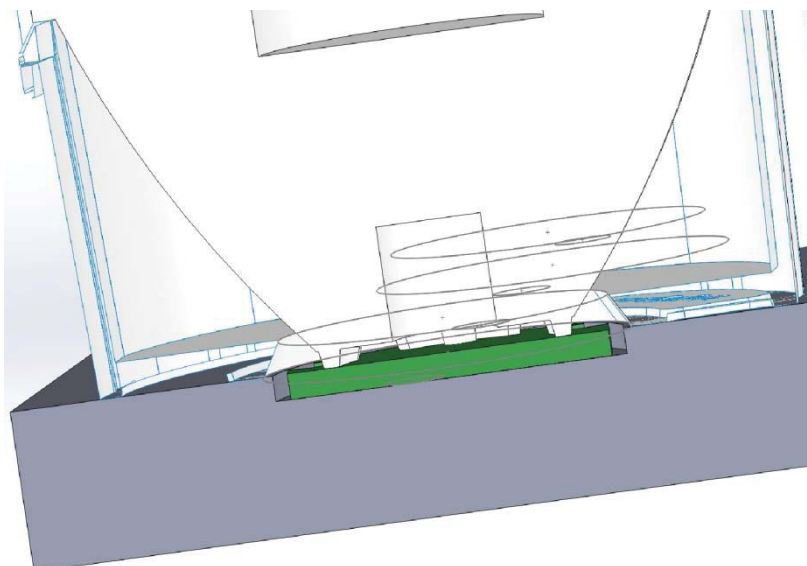
Termistorn är kopplat i serie via ett mätmotstånd på ungefär 15 k Ω . Då termistorns resistans varierar med temperaturen den utsätts för kommer även spänningen över mätmotståndet att variera med temperaturen, vilken i sin tur kopplas till en analogingång på styrenheten som omvandlar spänning till temperatur via ett antal beräkningssteg.

Fotosensorn (funktion förklaras i kap. 4.5) som använts är en No-Name-sensor med en liten avkänningsvinkel. Detta gör den relativ störningssäker men samtidigt krävs det att den är välriktad mot lysdioden. Återkopplingen till styrenheten går via ett internt pull-up motstånd till en digital-ingång.

Fästplatta

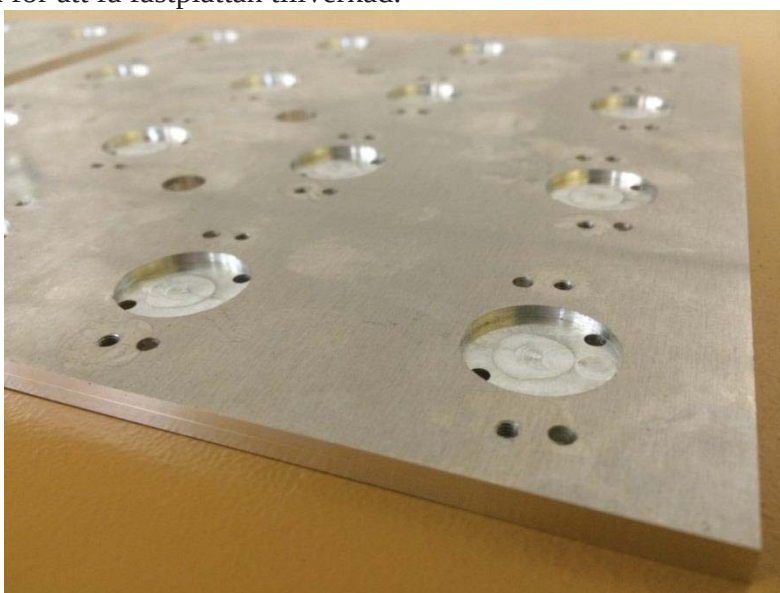
En fästplatta behövdes för att ha möjlighet att på ett bra sätt montera lysdioderna med rätt mått, kunna kyla lysdioderna och samtidigt hålla en låg vikt. Valet blev att konstruera en platta av aluminium där signallampan monteras på. Denna platta har måtten 220x225x5 mm med ett antal frästa fickor där lysdioderna monteras.

De frästa fickorna har till uppgift att centrera lysdioderna under optiken. Då kretskorten som lysdioderna sitter förmonterade på är 1,6 mm höga frästes även fickorna ned till detta djup. Detta gör att lysdioden kommer upp till ytan på fästplattan. Orsaken till detta är att hållarna för TIR-linserna och lysdioden måste sitta monterade i samma plan för att hålla rätt fokusavstånd för optiken.



Figur 4-6 Genomsnitt av CAD-modell för fästplattan tillsammans med TIR-optik

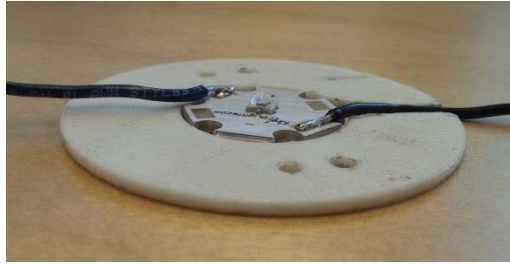
Figur 4-6 visar den CAD-modell som gjordes. Utifrån denna togs en ritning (*Bilaga D*) fram och skickades in för att få fästplattan tillverkad.



Figur 4-7 Fräst fästplatta för signallampa.

De två hål som är borrade i de frästa fickorna är till för kabeldragning, detta gör att man kan få till en snygg och dold kabeldragning på baksidan av signallampan.

Ett alternativ till fästplattan togs fram där tanken var att lysdioderna skulle monteras mot en aluminiumplatta och höja upp ytan runt om lysdioden med hjälp av en distans (*figur 4-8*). Distansen är lika hög som kretskortet som lysdioden sitter monterad på, 1,6 mm. Detta gör att hållarna för TIR-linserna skulle kunna monteras i korrekt höjd i samma nivå som lysdioden.

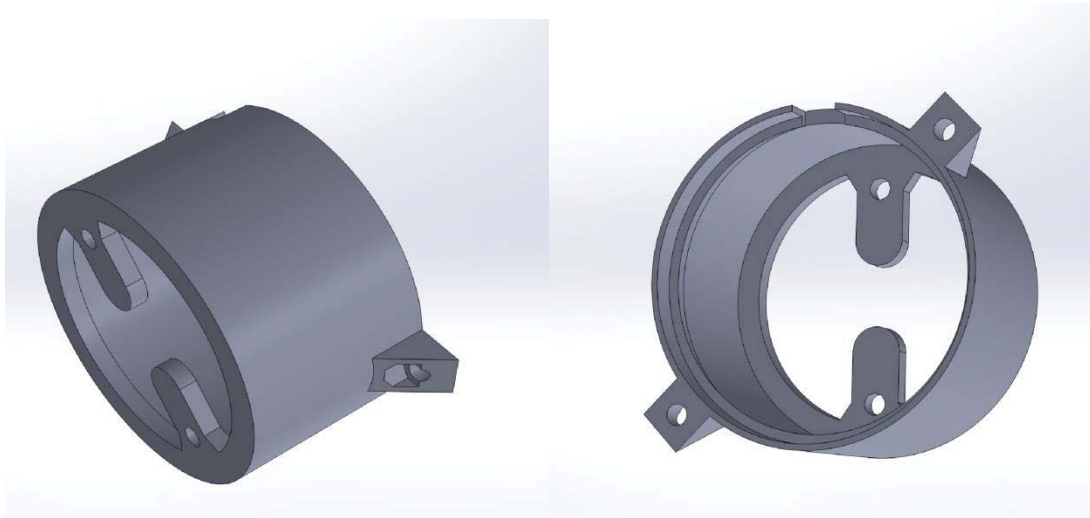


Figur 4-8 Distans för lysdiod med hål för fastskruvning och styripinnar.

Nackdelen med denna lösning är att det krävs fler delar och att kabeldragningen skulle hamna på samma sida som linserna. Denna lösning kräver även, precis som den valda lösningen att ett flertal hål borras och gängas i plattan för fastskruvning av linshållarna.

Linshållare

Hållarna för de asfäriska linserna konstruerades så att linsen hamnade på det av linstillverkaren förbestämda avståndet BFL ovanför lysdioden. De två fötterna som går in mot mitten har som uppgift att trycka ned lysdioden mot aluminiumplattan för optimal kylning. Även en låsring ingår i konstruktionen för att säkerhetsställa att linsen inte lossnar från hållaren. En version med ett hål riktat mot hållarens centrum finns också där en ljussensor placeras.



Figur 4-9 Hållare för asfärisk lins, utan låsring

Hållarna för de asfäriska linserna designades och tillverkades med 3D-skrivare. Med denna tillverkningsmetod har flera olika linshållare kunna testats och tillverkats inom en kort tidsperiod, samtidigt som det ger en lägre kostnad jämfört med att hållarna skulle injektionsgutas eller fräsas ut.

Montering

Monteringen påbörjades med att alla lysdioder placerades i var sin försänkning på fästplattan med lite kylpasta för god värmeledningsförmåga. Lysdioderna placerades i ett rutmönster med varannan grön och varannan röd för att få en jämn spridning av ljuset.

Ovanpå lysdioderna monterades sedan de olika linstyperna i var sin hållare. Hållarna för TIR-optiken köptes in färdiga och hållarna för de asfäriska linserna tillverkades på plats. Även en termistor monterades fast på baksidan av signallampan med asfäriska linser för temperaturmätning.

Plattorna med de olika optikerna monterades fast på en robotarm som på ett precist sätt kunde rikta lamporna genom tilt och panorering med en upplösning på $0,01^\circ$.



Figur 4-10 Robotarm med monterad asfärisk signallampa. Färgen på linshållarna har ingen betydelse.



Figur 4-11 Robotarm med monterad TIR signallampa

Ett sikte bestående av ett 10 mm kolfiberrör monterades också på signallampan. I ena änden av röret sitter det en väldigt liten öppning som gör det enkelt att rikta in signallampan mot ett mål.

4.4 Styrenhet

För att styra signallampans funktion behöver programkod tas fram. Detta program körs på en styrenhet, en Arduino Nano som lämpar sig väl för prototyparbete. Styrenheten har som uppgift att från användaren ta emot data som bestämmer vilket program som ska köras och sedan styra lysdioderna på önskat sätt samt ge användaren status på lampan.

Programmet ska först och främst via seriekommunikation ta emot ett av fem olika program som ska köras och starta detta men även ytterligare möjligheter att styra signallampan implementerades i styrenheten.

De fem grundprogrammen som finns är:

- Avstängd
- Fast grönt ljus
- Blinkande grönt ljus
- Fast rött ljus
- Blinkande rött ljus
- Blinkande vitt ljus

Sedan finns dessa ytterligare möjligheter att styra lampan för testning:

- Fast vitt ljus
- Styrning av mängden grönt respektive rött ljus i 255 steg vardera
- Val av vilken lampa som ska användas, TIR eller Asfärisk

Styrenheten kör även en del uppgifter i bakgrunden som inte är möjliga att direkt påverka som användare. Den verifierar att signallampan fungerar som den ska (hur förklaras i kapitel 4.5), ger aktuell status på lampan och berättar vilket program som körs via seriekommunikation. Med hjälp av en termistor beräknar också styrenheten aktuell temperatur varannan sekund och skickar även denna via serieporten som används.

Koden som styr signallampan är beskriven i *Bilaga F*.

4.5 Verifiering av funktion

I utvecklingen var en viktig aspekt att ta hänsyn till felkontroll av signallampan. Man måste veta om lampan lyser eller inte när man försöker tända den. Lösningen måste också fungera i flera olika miljöer och vid olika omgivningstemperaturer.

Framtagningen av felkontroll började med att flera olika koncept på lösningar togs fram och diskuterades för att komma fram till ett fåtal koncept att gå vidare med. Två koncept valdes ut för vidareutveckling. Antingen att mäta ljuset med en sensor eller att mäta spänningen och strömmen genom lysdioden för att avgöra om den lyser.

Då speciella LED-drivare användes för att styra strömmen genom lysdioden så fungerar det tyvärr ej att tillsammans med dessa mäta strömmen för att avgöra om en kortslutning har skett. Detta då drivkretsen som valts alltid ser till att det går 1 A genom kretsen. Dessutom finns att hitta i databladet för lysdioden [10] att spänningsfallet över en lysdiod varierar beroende på omgivningstemperaturen vilket gjorde att denna lösning för felkontroll fick läggas ner.

Den lösning som valdes för vidareutveckling blev att med hjälp av en ljussensor mäta ljuset som dioden avger och på så sätt verifiera att den fungerar. Men då sensorn endast ska reagera på lysdiodens ljus och inte på yttre störningar såsom solljus eller andra lampor måste även någon typ av filtrering utvecklas.



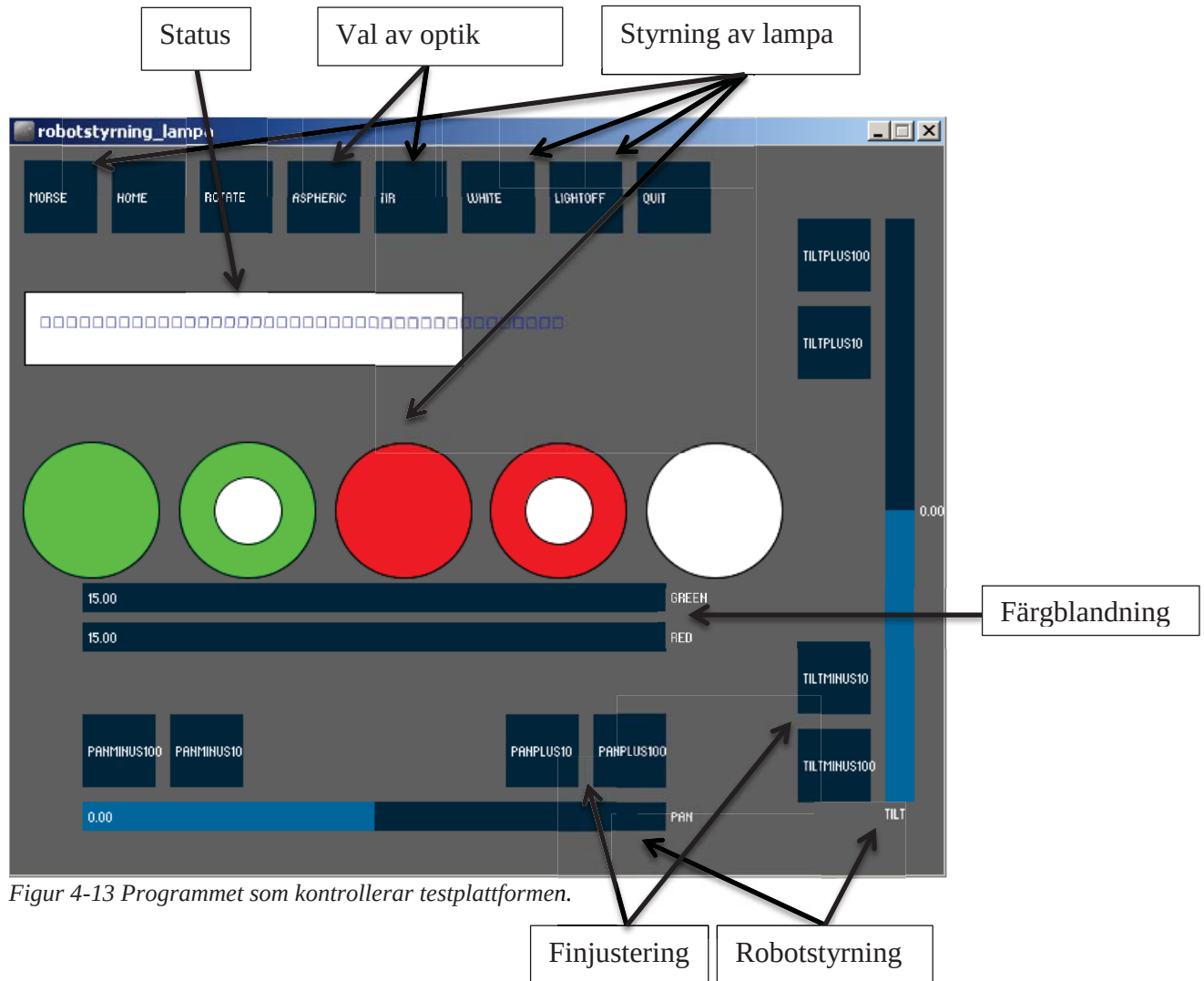
Figur 4-12 Exempelbild på fotodiod. [9]

Försök gjordes att med PWM-styrning av lysdioderna och med hjälp av ett RC-högpasfilter filtrera bort alla signaler med för låg frekvens och sedan detektera denna signal med mikrokontrollern. Dock fungerade inte denna lösning då filtreringen sänkte spänningen för mycket, vilket gjorde att mikrokontrollern fick problem med att avgöra sensorns status. De typer av ljussensorer som var aktuella för ändamålet var att antingen använda en LDR (Light Dependent Resistor), fototransistor eller fotodiod. Då snabbhet krävs för att hinna detektera och skicka ut pulståget valdes en fotodiod (*figur 4-12*) som är mycket snabbare på att reagera och har en kortare stigtid mot vad en LDR eller fototransistor har. Fotodioden riktas direkt mot ljuskällan för att mäta ljuset som avges, var den monteras visas i *figur 6-1*.

Funktionen av lysdioden verifieras genom att den under ett begränsat tidsintervall styrs med en fyrkantsvåg på 1 kHz vilken detekteras av sensorn och återkopplas till mikrokontrollern som beräknar frekvensen på det inkommande pulståget. Därefter varnar mikrokontrollern i det fall den detekterade frekvensen skiljer sig från den frekvens som styr dioden. Problem kan dock uppstå om fotodiod bottnas av omgivande ljus vilket i så fall förhindrar detektering av pulståget. Efter att försök gjorts att störa ut sensorn men misslyckats så anses inte detta vara ett problem, detta beror på att sensorn kräver en snäv infallsvinkel på ca 5° av inkommande ljus för att reagera. I *figur 4-5* visas schematiskt funktionen för hur felkontrollen är uppbyggd.

4.6 HMI

För att ge en operatör möjligheten att styra signallampan tillsammans med roboten och utläsa status som skickas från mikrokontrollern så behövs ett HMI. Detta HMI skapades med hjälp av *Processing* och utformades så att användaren har tillgång till att styra signallampan, roboten samt kan utläsa status från lampan. *Figur 4-13* nedan visar det program som togs fram till att styra testplattformen med. Komplet programkod finns i *bilaga H*.



Figur 4-13 Programmet som kontrollerar testplattformen.

Programmet initierar med att öppna upp två stycken serieportar på 9600 baud vardera där den ena porten styr robotarmen och den andra kommunicerar med styrenheten. Vilka portar som ska öppnas väljs genom att skriva in deras namn i en textfil som finns i samma mapp som huvudprogrammet. När kommunikationen har initierats börjar programmet ta emot data från mikrokontrollern som visas i textrutan markerad *status*. Den info som visas i statusrutan är aktuell temperatur på signallampan, vilken typ av optik som är aktiv samt vilket program som körs.

De fem huvudprogrammen väljs med de fem färgade cirkelarna. När användaren trycker ner musknappen beräknar programmet var muspekaren befinner sig och om den är över en cirkel så skickas en förbestämd kod som aktiverar rätt program i styrenheten.

De extra program som implementerats styrs via den övre raden i programmet på samma sätt som huvudprogrammen och användaren har via dessa knappar möjlighet att:

- Välja vilken optik som används
- Aktivera fast vit färg
- Köra vit färg i morse-läge
- Köra roboten till hemläge
- Roterar roboten för att enkelt rikta in den andra typen av optik
- Stänga av allt ljus
- Avsluta programmet och skapa en temperaturlogg

Via de två reglagen benämnda *färgblandning* finns möjlighet att styra mängden grönt respektive rött ljus vilket är användbart när försök utförs att skapa vit färg.

Dessa extra program styrs på samma sätt som huvudprogrammen men med andra styrkoder. Robotarmen styrs via de två skjutreglagen *robotstyrning* för att grovt ställa in önskad vrid- och tilt-vinkel. Även möjlighet för justering med 1° och $0,1^\circ$ finns via två tryckknappar som benämns *finjustering*.

Programmet loggar också undan all temperaturdata tillsammans med styrenhetens körtid i en textfil som används för plottning av de temperaturgrafer som finns i *kapitel 5.1.2*.

5 RESULTAT

I detta kapitel redovisas de tester som gjordes, de resultat som framkom av dessa samt analys av resultaten.

5.1 Temperaturtest

För att avgöra om signallampan kommer att överleva i de temperaturer som krävs så genomfördes en simulering av värmespridningen genom signallampan samt ett verkligt test där signallampans temperatur loggades under samma tid som simuleringen körde. Det valdes att köra signallampan i 20 minuter vid temperaturtesterna då detta är mycket längre tid mot en signallampas normala drifttid på under 1 minut.

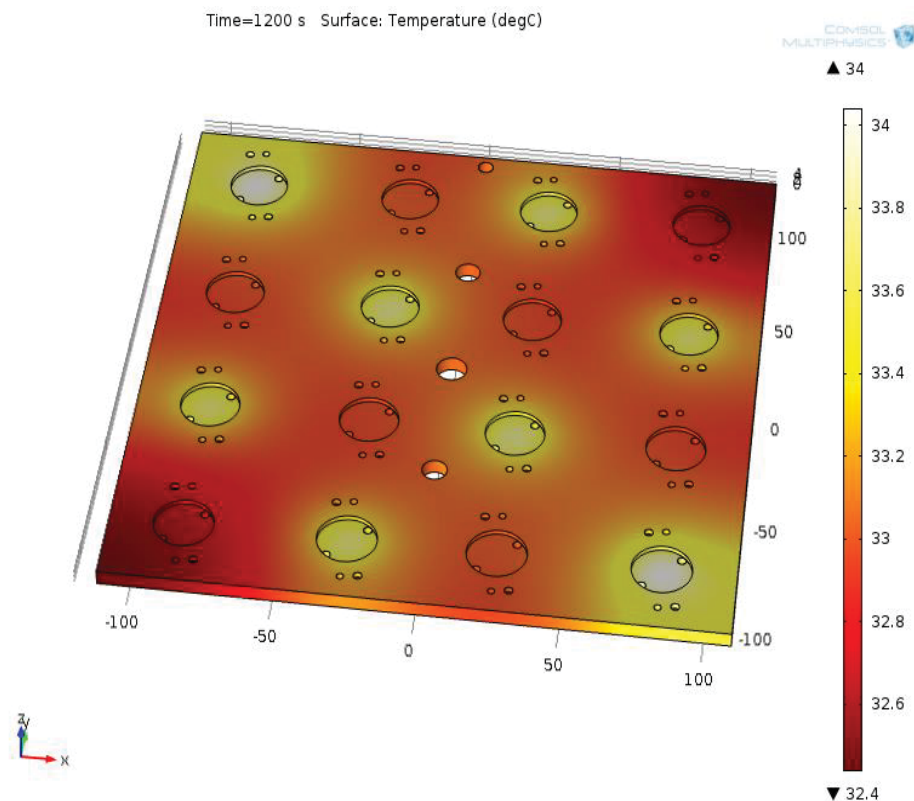
5.1.1 Simulering av temperaturhöjning

För att se hur temperaturen sprider sig över plattan gjordes en simulering i programmet COMSOL multiphysics.

Som *figur 5-1* visar så kan både temperaturskillnader på fästplattan samt sluttemperatur efter 1200 s (20 min) utläsas.

Parametrar till programmet var 20 W värmeeffekt fördelat över varannan försänkning som lysdioderna sitter i. Detta motsvarar ur effektsynpunkt att alla gröna lysdioder är aktiva där de enbart genererar värme och inget ljus. Simuleringen genomfördes med en omgivningstemperatur på 20 °C.

Då fästplattan endast kommer att använda sig av passiv kylning för att undvika rörliga delar såsom fläktar eller motorer i konstruktionen så valdes i programmet avkylningen till enbart naturlig konvektion med värmeövergångstalet $15 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ och begränsades till alla ytor utom försänkningarna för lysdioderna. Materialet som fästplattan är gjord av i simuleringen är aluminium 6063. [14]



Figur 5-1 Temperatursimulering som visar hur pålagd värmeeffekt sprids genom fästplattan.

Som synes i figur 5-1 håller sig temperaturen relativt jämn över hela ytan och sluttemperaturen stämmer väl mot de mätningar som visas i nästa del vilket tyder på att denna typ av lösning för passiv kylning lämpar sig väl för att kyla bort den värme som lysdioderna genererar.

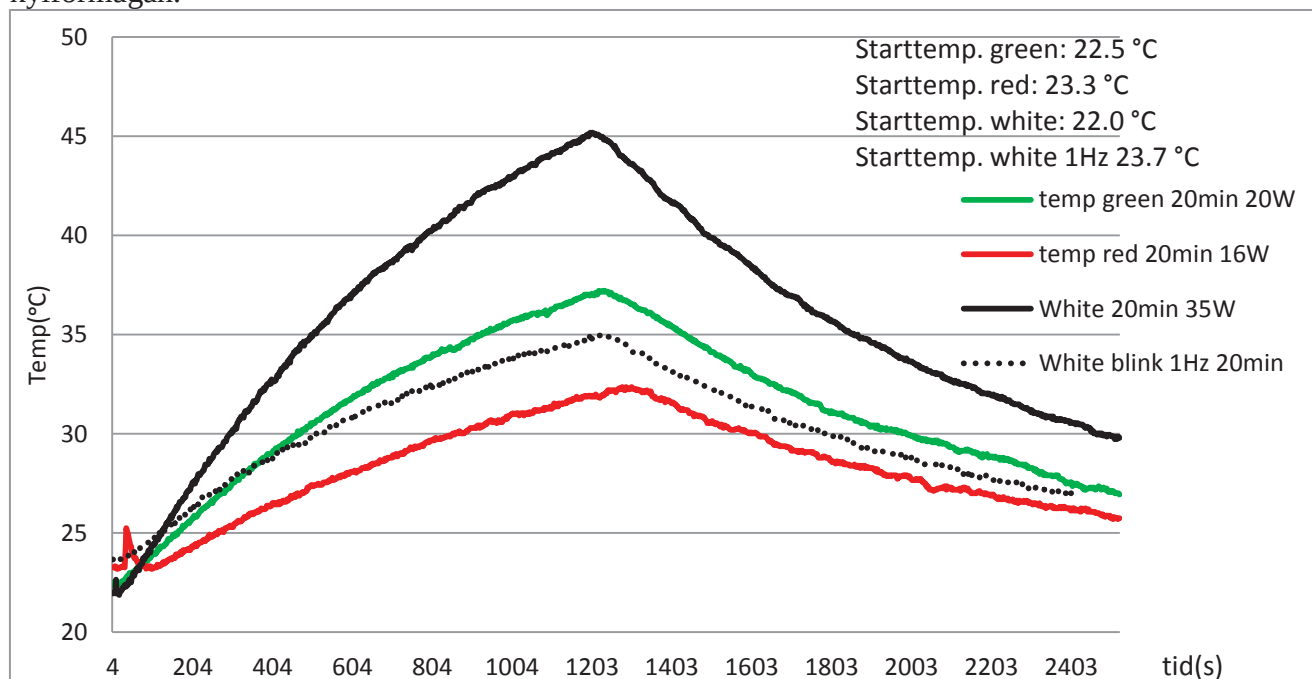
5.1.2 Mätning av temperaturhöjning

Ett test som visar temperaturstegringen av signallampans olika färgprogram genomfördes genom att låta signallampan stå på en viss tid där temperaturen loggades med intervallet 2 sekunder.

Färgen vit genomfördes med grön och röd på högsta ljusstyrka. Vid verkliga test med signallampan visades att ungefär 50-75 % rött ljus gav bäst vit färg, detta test är alltså ett extremfall av pålagd effekt som inte kommer uppnås vid normal användning av signallampan.

Testutrustningen i detta experiment bestod av en termistor kopplat till en av mikrokontrollerns AD-omvandlare. Med AD-omvandlarens upplösning på 10-bitar ger detta 1024 diskreta steg vilket är mer än tillräckligt för detta experiment. Termistorns funktions jämfördes mot en kalibrerad temperaturmätare och visade sig vara tillräckligt noggrann för detta experiment. Även om den absoluta temperaturen som termistorn visar skiljer sig med 1-2 °C så är den relativa temperaturmätningen mycket exakt. För detta experiment är inte den absoluta temperaturen särskilt intressant utan det som söks är den temperaturhöjning som uppkommer.

Detta test genomfördes inomhus med stillastående luft runt signallampan för att ge den lägsta kylförmågan.



Figur 5-2 Temperaturen på fästplattan vid olika färger och program som körs

Figuren visar som väntat att den vita färgen där alla lysdioder är på med max effekt ger den högsta temperaturhöjningen med ca 23 °C.

Som synes så visar testet också att med de gröna lysdioderna fås en temperaturhöjning på ca 15 °C vilket väl överensstämmer med simuleringens resultat vilket även det gav en höjning med 15 °C.

Då lysdioderna som används har en arbetstemperatur på upp till 150 °C så kommer denna temperaturökning inte att innebära något problem för lysdioderna, även vid den maximala omgivningstemperaturen på 60 °C. Lysdioderna som används ska enligt tillverkaren ha genomgått ett test där den kör med maxström under 1008 timmar vid en temperatur av -40 °C och +85 °C. Dessa lysdioder ska därför även klara av både den undre gränsen på -40 °C och den övre gränsen på 60 °C utan problem. [10][12]

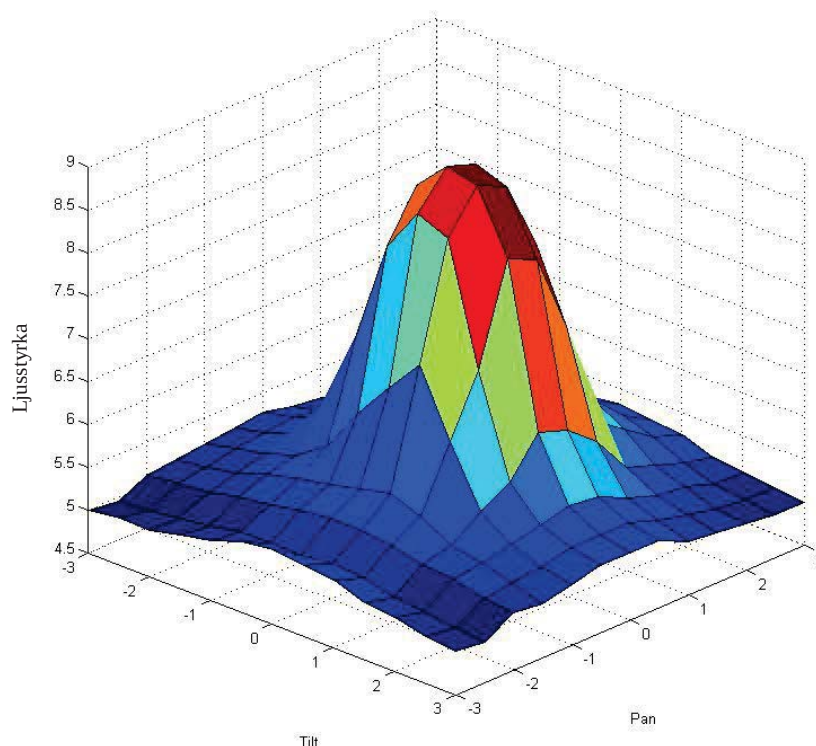
Även all annan elektronik som används är specificerad för att klara av det temperaturintervall som krävs. Den temperaturkänsligaste komponenten som används i konstruktionen är elektroniken och det blir då den som sätter gränsen för vilken omgivningstemperatur som signallampan klarar av. All den elektronik som används är klassad för att klara av en omgivningstemperatur på -40 °C till +85 °C och uppfyller därför kravspecifikationen. [5]

5.2 Utvärdering av strålvinkel & ljusstyrka

För att kunna mäta upp strålvinkeln och ljusstyrkan på signallampan designades ett experiment med förhoppningen att kunna utläsa ur en 3D-graf hur ljusintensiteten beror på vinkeln som signallampan är riktad med mot målet.

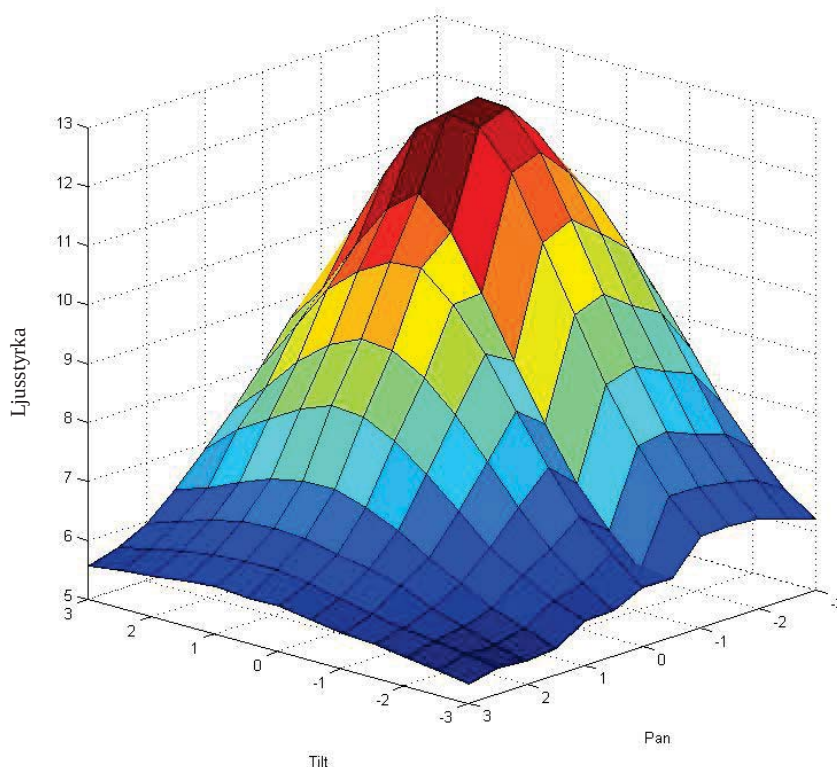
Genom detta test som utfördes med båda typerna av optik borde det ur graferna gå att avgöra dels hur väl signallampan håller sig inom målområdet på 3° samt vilken optik som håller minst strålvinkel och har högst ljusintensitet.

Detta test genomfördes genom att en luxmeter monterades fast i en fix punkt på ett bestämt avstånd på 43 m från roboten. Roboten fick sedan stega igenom ett rutnät mellan $+3^\circ$ till -3° med intervall om $0,5^\circ$ i både panorering och lutning vilket blir ett rutnät på 13×13 punkter där ljusintensiteten loggades i varje punkt. Denna logg (*Bilaga A + B*) togs därefter in i ett MATLAB-script som använde insamlad data för att skapa en 3D-yta för respektive typ av optik. Dessa redovisas nedan.



Figur 5-3 Ljusintensitet för Asfärisk optik från olika vinklar. Multiplicera Z med 25 för uppmätt ljusstyrka.

Ur *figur 5-3* syns att den asfäriska optiken är mycket bra på att rikta ljuset till ett smal, brant kon av ljus. Den klarar av att hålla sig inom den önskade strålvinkeln med endast en liten mängd ljus som läcker ut på sidorna.



Figur 5-4 Ljusintensitet för TIR-optik från olika vinklar. Multiplicera Z med 25 för uppmätt ljusstyrka.

Ljuskonen för TIR-optiken ovan visar även här en urskiljbar topp på ljusintensiteten. Men det syns också att ljuskonen inte alls är lika väldefinierad som för den asfäriska lampan. Denna optik har mycket ljus som läcker ut utanför de 3° som sattes upp som mål vilket inte är önskvärt. För denna optik har ljuset en full strålvinkel på 8° jämfört mot den asfäriska signallampans fulla strålvinkel på under 3°.

För att beräkna lysdiodernas maximala ljusstyrka används följande formel:

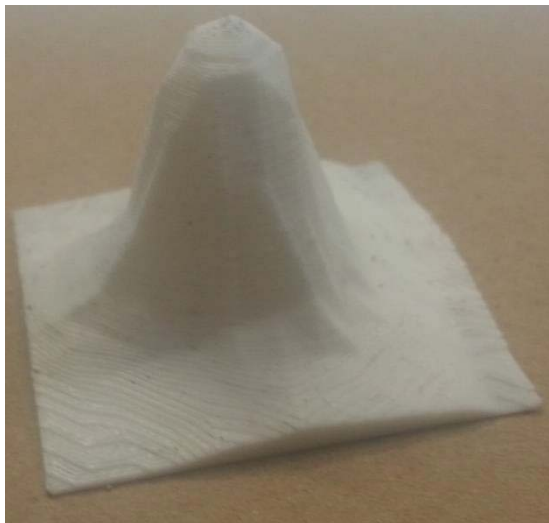
$$ljusstyrka = avstånd^2 * illuminans \quad (ekv. 5.1)$$

där illuminansen är maximal uppmätt ljusstyrka utan bakgrundsljus och avståndet mäts till ljuskällan vilket här är 43 m, illuminansen för TIR-optiken är 196 lx och för den asfäriska optiken är den 111 lx.

Ekvation 5.1 ger här att ljusstyrkan för asfäriska signallampan är 205 kcd, och för TIR-optiken ger ekvationen att ljusstyrkan är 362 kcd vilket betyder att TIR-optiken är ungefär 75 % ljusstarkare än den asfäriska.

Möjliga lösningar för att höja ljusstyrkan på den asfäriska optiken diskuteras i *kapitel 6*.

En 3D-utskrift av den asfäriska lampans graf gjordes också (mest för skoj skull) där det tydligt syns hur ljusintensiteten beror av strålvinkeln och bildar en topp.



Figur 5-5 3D-utskriven version av Figur 5-3

5.3 Distanstest

Testning av signallampan genomfördes 2014-04-29 i klart väder, mitt på dagen. Då ett av kraven i kravspecifikationen var att signallampan skulle synas på 4-5 km blev det självklart att detta krav måste verifieras att signallampan uppfyller.

För att verifiera kraven valdes ett antal olika avstånd ut att testa signallampan på. Tre olika avstånd valdes ut och testades; 800 m, 2800 m och 4600 m. Testet var utformat så att signallampan stod fast monterad på ett tak med en operatör, samtidigt som signallampan fotograferades från de olika uppmätta avstånden med en kamera med vilken det togs en likadan bildserie vid alla avstånd.

Vid avståndet 4600 m testades det även att minska antalet dioder genom att helt enkelt täcka över dem en och en. Detta gjordes då det var intressant att undersöka om signallampan skulle kunna klara kraven även med färre lysdioder. Detta test utfördes enbart på det längsta avståndet eftersom om det syntes på det längsta avståndet ska signallampan också synas på kortare avstånd.

Några ytterligare bilder finns i *Bilaga G* där lampan visas från olika avstånd

Följande testscenario fotograferades från de olika avstånden med de två olika optikerna.

- Grönt ljus
- Rött ljus
- Vitt med 100 % grönt, 100 % rött
- Vitt med 100 % grönt, 25 % rött
- Vitt med 100 % grönt, 50 % rött
- Vitt med 100 % grönt, 75 % rött
- Grönt 0° vridning
- Grönt 1° vridning
- Grönt 2° vridning
- Grönt 3° vridning
- Grönt 4° vridning
- Grönt 5° vridning

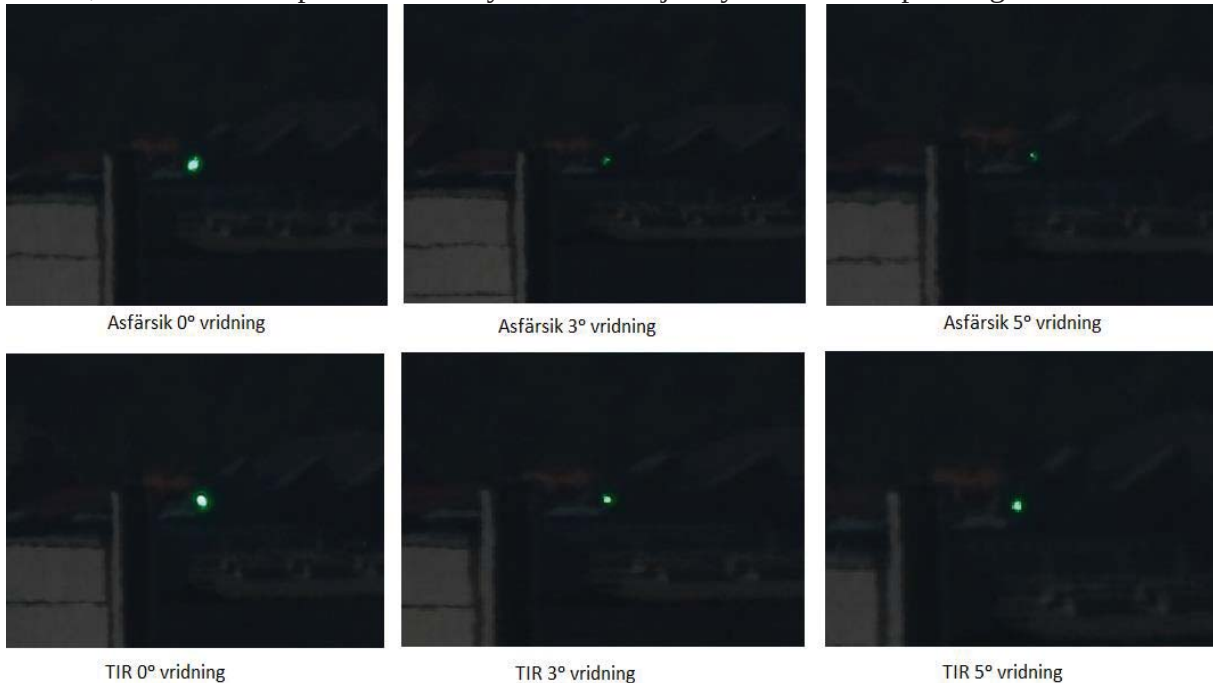
Nedan följer ett urval bilder för att jämföra de olika typerna av optik mot varandra.

Komplett bildserie kan tillhandahållas vid önskemål.

Vinkeltest

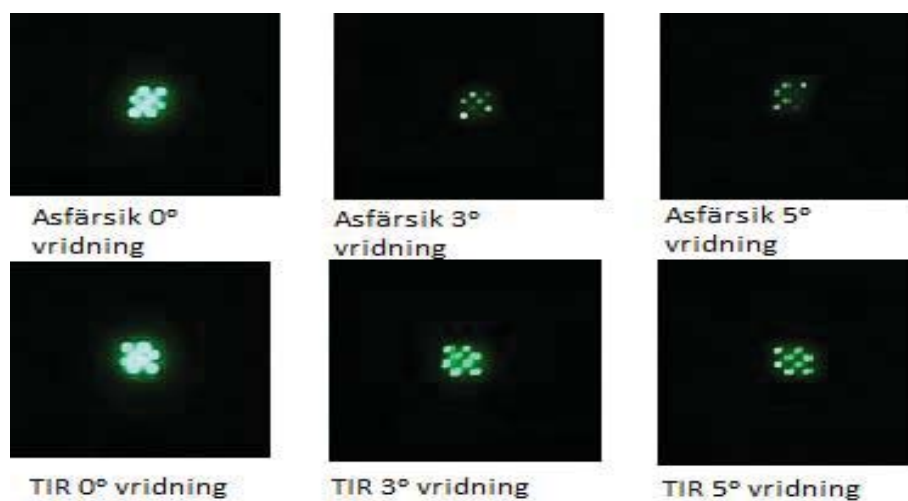
Denna bildserie är tagen från 4600 m och är i efterhand förstorade 200 %.

Detta test bekräftar resultaten från strålvinkeltestet att den asfärska optiken har mindre strålvinkel. Man ser tydlig skillnad mellan de två optikerna om man jämför bilderna vid 0° och 3°, den asfärska optiken faller mycket mera i ljusstyrka än TIR-optiken gör.



Figur 5-6 Signallamporna vid olika vinklar från 4600m

I figur 5-7 nedan visas samma fotoserie som ovan i figur 5-6 fast från 800 m avstånd. Även här kan man se tydliga skillnader mellan den asfärska optiken och TIR-optiken. Bilderna är förstorade då det i praktiken inte går att urskilja de enskilda lysdioderna ses med blotta ögat, utan bilderna visar enbart hur ljusstyrkan faller om signallampan ej är riktad rakt mot observatören.



Figur 5-7 Signallamporna vid olika vinklar från 800 m

Färgblandning

Genom att kombinera röd och grön färg på lysdioderna så ska en gul färg kunna uppfattas. Detta genom att styra mängden grönt respektive rött ljus, vilket genererar olika nyanser av gul färg, från röd till grön. Om detta är möjligt att göra så kan mängden lysdioder hållas nere då separata vita lysdioder ej behövs.

Ett antal olika blandningsförhållanden mellan rött och grönt ljus testades för att se vilken kombination som gav det bästa ljuset med målet att efterlikna vitt ljus så mycket som möjligt.

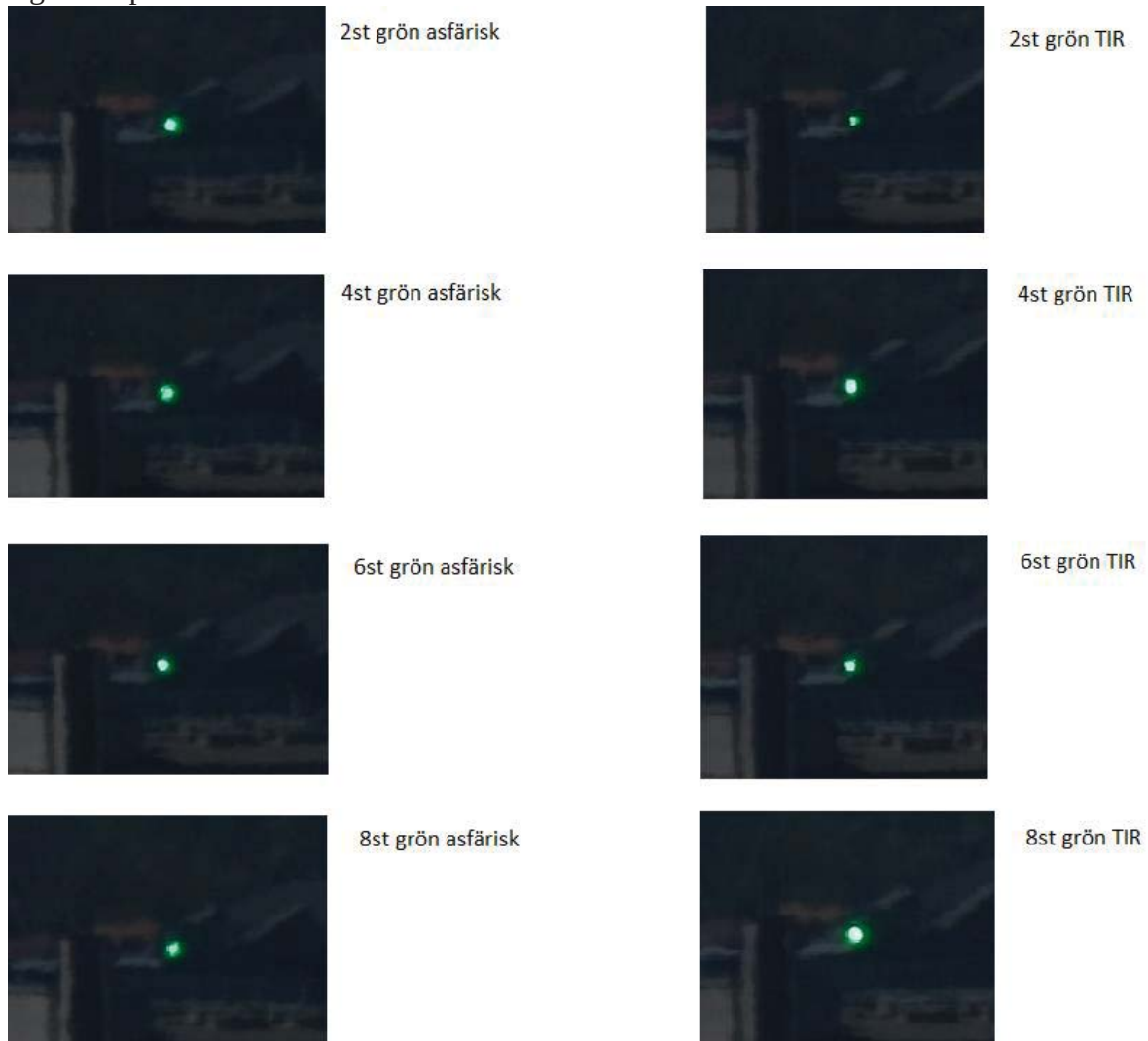


Figur 5-8 Test av färgblandning

Som bilderna visar så ger en färgblandning på 100 % grönt och 50 – 75 % rött ljus en färg som efterliknar en vit eller ljus gul lampa. Detta är ett positivt resultat då det innebär att det direkt kan sparas in på mängden lysdioder som behövs eftersom det inte behöver användas vita dioder över huvud taget.

Olika antal dioder

Bildserien nedan visar hur det ser ut när olika antal lysdioder används för respektive signallampa.



Figur 5-9 Signallamporna med olika antal aktiva lysdioder

För TIR-optiken blir det en tydlig ökning i ljusintensitet när antalet lysdioder ökar, medan den asfäriska lampan ser ut att vara ungefär lika ljusstark oavsett hur många lampor som används. Dock så upplevdes inte ljuset att vara lika starkt såsom bilderna för den asfäriska lampan visar, möjligtvis beror detta på kameran som användes vid testet. Ett personligt utlåtande om hur signallampan upplevdes kan hittas i *Kapitel 6 - Diskussion*.

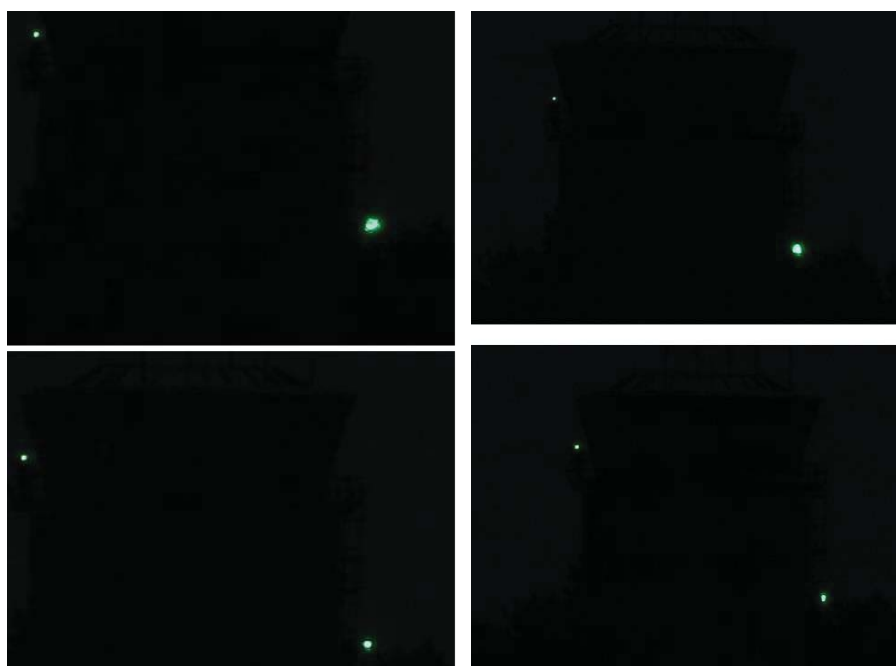
5.4 Jämförelse mot kommersiell signallampa

Ett jämförande test utfördes på Säve flygplats mot en kommersiell signallampa av typen *SLG901 (Model 901 Signal Light Gun)*. SLG901 är en handhållen signallampa som används på samma sätt som egenkonstruerad SLG och ska kunna visa samma färger och klara samma krav. Denna signallampa använder dock en glödlampa och mekaniska färgfilter för att visa röd och grön färg.

Testerna som utfördes jämförde de två signallamporna vad gällde ljusstyrka, färger och deras strålvinklar. Vinkeltestet är dock något missvisande då SLG901 var mycket svår att hålla helt still vilket gör det svårt att utvärdera testet.

I alla bilder är den handhållna SLG901 den signallampa som är längst upp, till vänster.

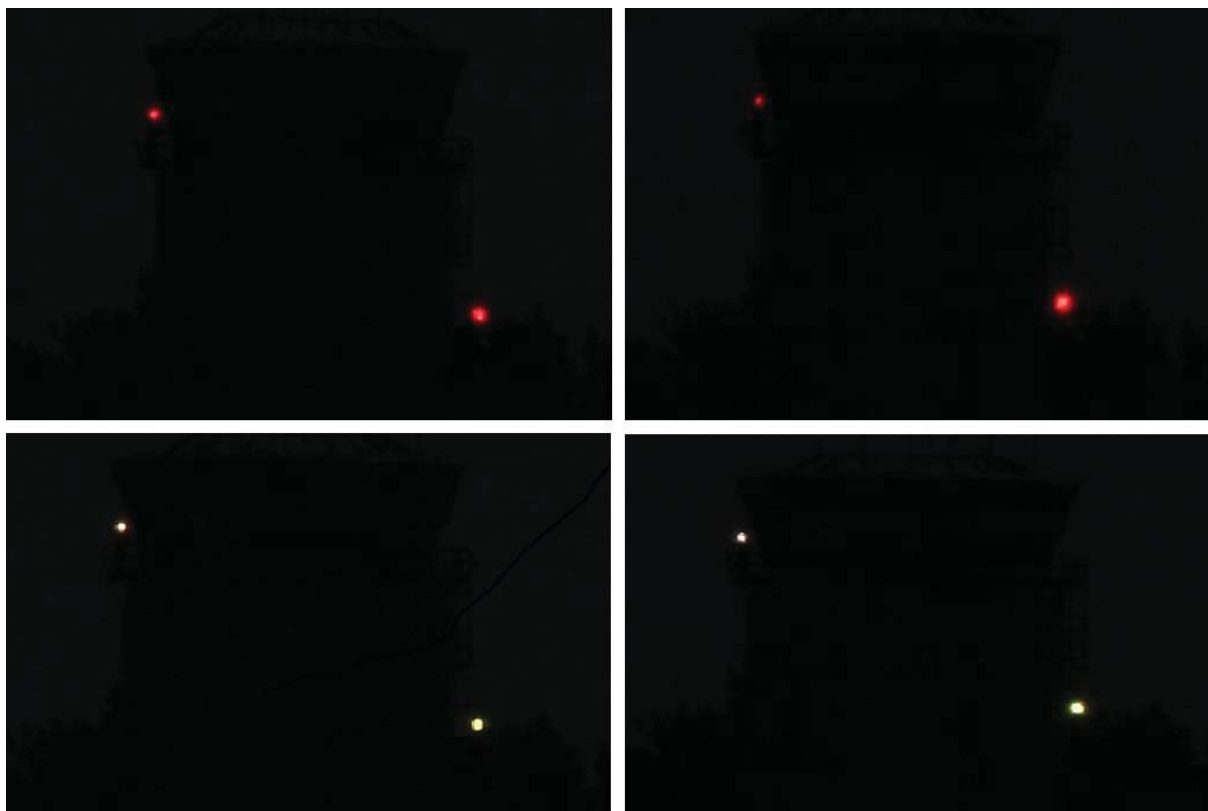
Första testet som utfördes var att undersöka ljusstyrkan på signallamporna och hur många lysdioder som behövde användas på SLG för att hålla samma ljusstyrka som SLG901.



Figur 5-10 Jämförelse vid grön färg, asfärisk SLG till vänster och TIR SLG till höger. I de översta bilderna används 8 lysdioder och i de undre används 2.

Som synes håller SLG en mycket högre ljusstyrka mot SGL901 när alla lysdioder är aktiva, oavsett typ av optik. Först när antalet lysdioder minskats ned till endast två så var de likavärdiga i ljusstyrka. Dock så är SLG901 något ljusstarkare vid vitt ljus då inga färgfilter används.

Därefter undersöktes hur väl färgerna stämmer överrens mellan signallamporna. Grön färg visas i *figur 5-10*, röd och vit färg visas nedan.



Figur 5-11 Jämförelse med röd och vit färg, asfärisk SLG t.v. och TIR t.h.

I *figur 5-11* ovan syns att färgerna stämmer mycket bra med varandra även om den vita färgen i bilden ser ut att ha en något gul färgton. Även med dessa färger är SLG den ljusstarkaste oavsett optiktyp som används.

6 DISKUSSION

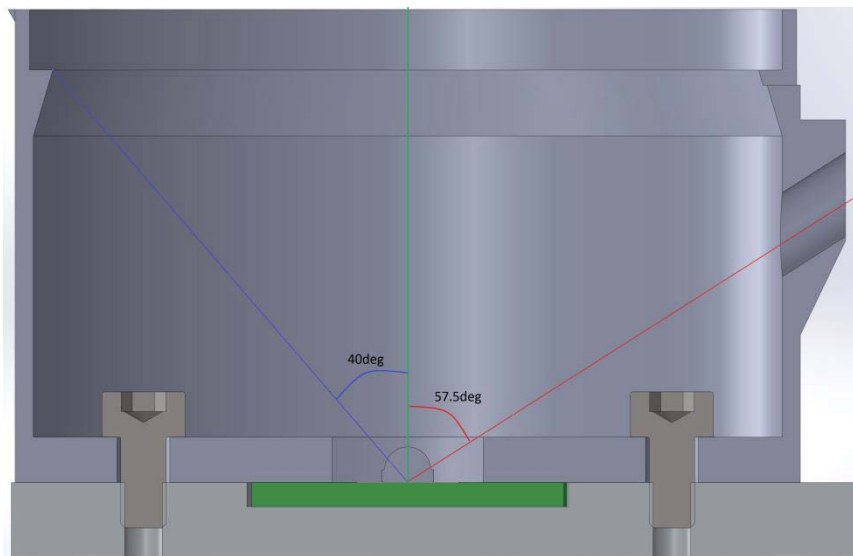
Här diskuteras exempel på vidareutveckling av den asfäriska signallampan med möjliga andra förbättringar.

Signallampan med TIR-optik är dock inte möjlig att optimera särskilt mycket då optiken levereras som en färdig produkt och därmed har ytterst lite justeringsmöjligheter. Därför fokuseras här på den asfäriska signallampan som har fler möjligheter att utvecklas då delarna till den konstrueras från grunden.

Optimering av asfäriska linser

På grund av att den asfäriska linsen har specifika mått som inte kan ändras på (diameter och BFL) tillsammans med lysdiodens fasta strålvinkel (115°) gör det att en del av ljuset från lysdioden aldrig träffar undersidan av linsen. Detta gör att allt ljus inte kan stråla ut från linsen utan det går del ljus till spillo. Detta är troligtvis anledningen till att TIR-optiken får högre ljusstyrka än den asfäriska signallampan trots att den asfäriska har en smalare strålvinkel.

Med nuvarande konstruktion av linshållare och linser tas endast det ljus tillvara som ligger inom 40° av lysdiodens totala strålvinkel. Detta tillsammans med datablad för lysdioderna ger att ca 60 % av ljuset kommer in i linserna och resten går till spillo. [10]

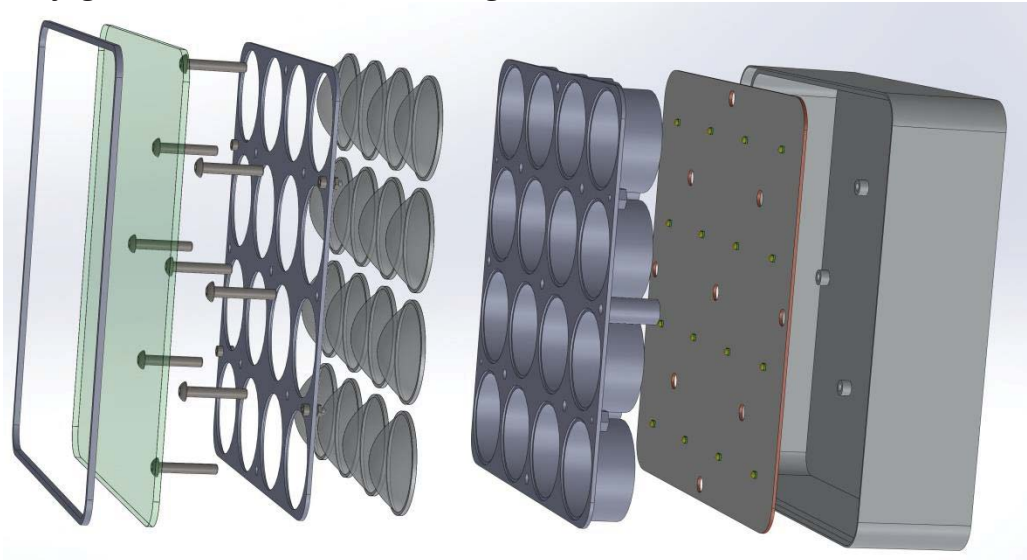


Figur 6-1 Illustration över använd mängd ljus. Röd linje visar lysdiodens strålvinkel, blå linje visar använd strålvinkel. Hålet på höger sida är för montering av fotosensor.

För att utnyttja så mycket som möjligt av ljuset från lysdioden behöver den asfäriska linsen vara tillverkad med rätt specifikationer och anpassad mot lysdioden som valts. En optimal lins skulle kunna ta tillvara på lysdiodens fulla strålvinkel och därmed få maximalt ljusflöde.

Vidareutveckling av asfärisk signallampa

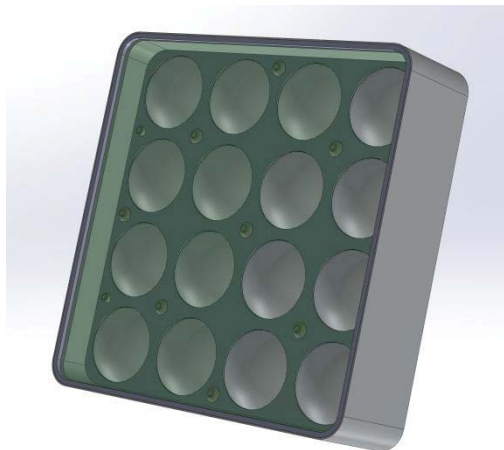
För att kunna börja använda signallampan i verkliga förhållanden krävs det givetvis att konstruktionen av signallampan förbättras jämfört med signallampan som använts i ovanstående tester. Väderskydd är en viktig aspekt då signallampan sitter hårt utsatt för väder och vind året om. Andra saker att tänka på är t.ex. att hålla vikt och storlek nere. Signallampan ska även vara lätt att montera och demontera för eventuella reparationer. Istället för att använda individuella linshållare för alla linser används här en konstruktion som gör det möjligt att montera alla linser samtidigt.



Figur 6-2 Sprängskiss på asfärisk konceptlampa

För att minska antalet skruvar används samma skruvar både för att låsa fast och montera linserna samt för att hålla fast kretskortet med lysdioderna mot lampchassit. För optimal värmeledning har ett kretskort med kopparkärna valts, detta gör att lysdiodernas tillförlitlighet kan ökas samtidigt som en lång livstid säkerhetsställs. Flera lysdioder kan seriekopplas för att kunna optimera spänningsmatningen och då krävs det skyddskretsar som säkerhetsställer fortsatt funktion även om mot förmodan en lysdiod går sönder och orsakar avbrott i slingan. Dessa skyddskretsar kopplas parallellt med varje lysdiod och agerar som shuntar och leder strömmen runt den trasiga lysdioden vid eventuellt avbrott. Fototransistorer skulle monteras till varje lysdiod för felövervakning. Och som styrenhet för signallampan räcker det troligtvis med en 8-bitars processor som kan kommunicera med en extern styrdator.

Det rekommenderas även att antalet drivkretsar ökas för att få ökad redundans i systemet.



Figur 6-3 Konceptbild för monterad asfärisk signallampa

Alternativ felövervakning

Istället för detektering av ljuset med hjälp av en fototransistor så finns det separata kretsar att köpa. Dessa kretsar klarar av att både driva och övervaka lysdioden. Exempel på en av dessa drivkretsar är LT3761 från Linear Technologies. Detta är en leddrivare som klarar av allt som kan tänkas behövas för styrning av lysdioden. Den har PWM-styrning, felövervakning, konstant ström, konstant spänning, analog dimmer, stora inspänningsområden osv. Dock är denna lösning något dyrare mot det alternativ som används för närvarande. Om en sådan krets används till att driva varje lysdiod så har man ett mycket redundantert system med hög tillförlitlighet. Man slipper då att använda ljussensorer som måste riktas in och läsas av. [13]

Personligt utlåtande från distanstest

I stadsmiljö var signallampan möjlig att lokalisera oavsett färg och program på alla de avstånd som testades. Dock så var statiskt grönt ljus något svårare att upptäcka på längre avstånd. När lampan blinkade så var det däremot inga som helst problem att lokalisera den oavsett färg. Signallampan upplevdes att vara ungefär lika ljusstark med båda optikerna, även om TIR-optiken enligt de mätningar som gjorts var den med högst ljusstyrka. Men då båda lamporna inte kan köras samtidigt sida vid sida så är det mycket svårt att i efterhand säga vilken av lamporna som upplevs vara den starkaste.

Vid vinkeltest märktes det dock tydligt att de asfäriska linserna var de bättre då de nästan försvann helt redan efter 1° vridning jämfört mot TIR-optiken som försvann vid 3°.

Den röda och gröna färgen var enkel att se skillnad på medan den vita färgen upplevdes som orange när båda färgerna var på full styrka. Den vita färgen såg bäst ut vid 50 % - 75 % av maximal mängd rött ljus och upplevdes då inte längre som orange utan istället som ljust gul.

7 SLUTSATS

Både TIR och asfärisk signallampa klarar av alla de krav som ska klaras. Lamporna klarar av att visa alla de färger som ska finnas utan att använda sig av några rörliga delar. De kan i nuvarande form drivas med spänningar på upp till 35 V DC och möjlighet finns att köra signallampan på plats. En felkontroll finns som upptäcker ifall någon lysdiod går sönder, dock så är inte denna felkontroll implementerad på alla lysdioder i nuläget utan endast på ett fåtal. Signallamporna klarar även att arbeta i det temperaturintervall som kravspecifikationen anger på -40 - +60 °C. De håller båda två en ljusstyrka som vida överstiger kravet på 6 kcd med 200 kcd för den asfäriska lampan respektive 360 kcd för TIR-optiken. Båda signallamporna klarar därmed av att synas på 5 km i klart väder utan problem.

Den asfäriska signallampan som togs fram håller sig inom de 3° som kravspecifikationen anger som önskemål, detta klarar dock inte den lampa som byggdes med TIR-optik. Lösningen att blanda röd och grön färg för att generera vit färg fungerar väl med båda lamporna och rekommenderas att fortsätta med.

Syftet har uppnåtts då två underlag för olika typer av signallampor tagits fram där båda signallamporna uppfyller alla de krav som måste uppfyllas. Den asfäriska signallampan uppfyller även alla krav som bör uppfyllas.

Rekommendation för fortsatt arbete är att vidareutveckla den asfäriska signallampan om kravet på strålvinkel anses vara av betydande vikt. Medan en signallampa med TIR-optik rekommenderas om en billigare och mer ljusstark lampa önskas.

Källförteckning

- [1] Floyd, Thomas L (2002). *Electronic Devices*. 6th ed. USA: Pearson Education. P135-140.
- [2] Brain, Marshall. (2001). *How Microcontrollers Work*. HowStuffWorks.com.
<http://electronics.howstuffworks.com/microcontroller.htm> 06-05-2014
- [3] Physics Classroom. *Total Internal Reflection*.
Available: <http://www.physicsclassroom.com/class/refrn/Lesson-3/Total-Internal-Reflection>. Last accessed 06-05-2014.
- [4] Edmund optics. *All About Aspheric Lenses*. Available: <http://www.edmundoptics.com/technical-resources-center/optics/all-about-aspheric-lenses/>. Last accessed 05-05-2014
- [5] Atmel. *ATmega328P*. Available: <http://www.atmel.com/devices/atmega328p.aspx>. Last accessed 06-05-2014.
- [6] *Temperature Sensor - The Thermistor*. Available:
<http://www.facstaff.bucknell.edu/mastascu/elessonshtml/Sensors/TempR.html>. Last accessed: 06-05-2014.
- [7] ArtMechanic. <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pfeilh%C3%B6he.svg>
- [8] Jfmelero. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ReflexionTotal.svg>
- [9] Micru. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/13/Photodiode.jpg>
- [10] Cree Inc, (2014). *XLampXPE2*. [pdf] Cree Inc. Available at:
<http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/Data%20and%20Binning/XLampXPE2.pdf>
- [11] GAGGIONE S.A.S, 2012. *lednlight_en_CREE_XP_E2*. [pdf]. GAGGIONE S.A.S. Available
at: http://www.lednlight.fr/downloads_lnl/lednlight_en_CREE_XP_E2.pdf
- [12] Cree Inc, (2012). *XLamp_Reliability*. [pdf] Cree Inc. Available
at: http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20Application%20Notes/XLamp_Reliability
- [13] Linear Technologies. (2012). *LT3761*. [pdf] Linear Technologies. Available at :
<http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/3761f.pdf>
- [14] The Engineering Toolbox. *Convective Heat Transfer*. Available: http://www.engineeringtoolbox.com/convective-heat-transfer-d_430.html
- [15] LED-tech.de, *Buck-drivare*. Available at: http://www.led-tech.de/en/LED-Controlling/Constant-Current-Power-Supply/BUCK-Constant-Current-Power-Supply-1000mA,-30V--LT-1553_118_119.html

Bilaga A

TIR mätdata från test av Strålvinkel & Ljusstyrka. De olika vinklarna benäms Pan resp. Tilt och mätvärdena är den uppmätta ljusstyrkan 43 m från signallampan med 128 lux i bakgrundsljus.

Pan [deg]	-3	-2,5	-2	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Tilt [deg]													
-3	155	164	178	194	213	232	246	255	255	249	237	221	215
-2,5	159	172	188	210	232	255	272	282	282	272	255	236	215
-2	163	175	192	215	239	266	288	302	305	295	274	250	227
-1,5	164	177	197	221	248	276	301	316	317	304	280	255	233
-1	164	177	195	217	243	270	296	312	314	304	281	255	230
-0,5	150	150	163	179	201	224	249	271	284	274	255	233	217
0	150	161	173	190	210	231	248	260	259	251	240	220	201
0,5	144	152	163	177	193	209	221	229	230	224	213	199	186
1	144	149	156	164	176	188	198	205	206	201	193	185	173
1,5	136	141	146	153	160	168	174	178	178	175	170	164	160
2	135	138	142	146	152	156	158	161	162	161	158	154	149
2,5	136	138	140	142	144	147	150	152	152	151	149	146	143
3	133	135	137	139	140	142	144	144	145	144	142	141	139
Ljusstyrka [lux]													

Bilaga B

Asfärisk mätdata från test av Strålvinkel & Ljusstyrka. De olika vinklarna benäms Pan resp. Tilt och mätvärdena är den uppmätta ljusstyrkan 43 m från signallampan med 113 lux i bakgrundsljus.

Pan [deg]	-3	-2,5	-2	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Tilt [deg]													
-3	125	126	126	128	130	133	134	133	132	129	128	126	125
-2,5	124	125	126	127	129	129	129	130	129	127	126	125	124
-2	128	129	130	132	133	135	136	136	135	133	132	130	129
-1,5	129	130	132	135	137	139	141	143	140	135	133	131	128
-1	130	132	134	137	143	156	167	177	158	141	135	132	130
-0,5	131	133	136	149	172	201	214	210	175	146	137	134	132
0	132	134	137	145	183	215	224	222	204	157	139	134	132
0,5	130	132	136	143	184	213	221	218	200	154	138	134	132
1	129	131	133	137	160	197	208	198	177	147	134	131	128
1,5	126	128	131	135	148	166	164	157	146	136	131	129	127
2	125	126	128	131	137	146	147	145	140	133	130	127	126
2,5	125	126	127	129	134	138	138	137	134	130	127	126	125
3	124	125	126	127	129	132	133	132	131	128	127	126	125
Ljusstyrka [lux]													

Bilaga C

Bilaga C Elimineringssmatris för utvärdering av lysdioder där de lysdioder som valts ut jämförs mot ett antal krav och eliminerar dessa.

		Krav 1	krav 2	Krav 3	Krav 4	Krav 5	Resultat
Cree	XP-G	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Förkasta
Cree	XP-G2	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Förkasta
Cree	XM-L	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Förkasta
Cree	XP-E	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Behåll
Seoul	P4	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Behåll
Cree	XR-E	Ja	Ja	Nej			Förkasta
Cree	XP-E2	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Behåll
Cree	XR-C	Ja	Nej				Förkasta
Cree	XP-C	Ja	Nej				Förkasta
Luminus	SST-90	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Behåll
Luminus	SBT-70	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Behåll
Krav 1	Strålvinkel mindre än 150°						
Krav 2	Minst 150 lumen vid maxström						
Krav 3	Minst 70lumen/W						
Krav 4	Klara -40°C-+60°C						
Krav 5	Finns i färg						

Ritning på den fästplatta som togs fram för montering och kylning av lysdioder.



Bilaga E

Pugh-matris där de lysdioder som finns kvar efter elimineringsmatrisen jämförs mot varandra och lämnar den lysdiod som bäst lämpar sig för aktuell applikation.

Kriterier	Alternativ					Ref	XP-E2
	Ref	A	B	C	D	A	XP-E
Strålvinkel		0	-	-	+	B	P4
Effektivitet		-	-	-	-	C	SST-90
Storlek		0	-	-	-	D	SBT-70
Kostnad		0	-	-	-		
Antal +		0	0	0	1		
Antal 0		3	0	0	0		
Antal -		1	4	4	3		
Nettovärde		-1	-4	-4	-2		
Rangordning	1	2	4	4	3		
Vidareutveckling	Ja	Nej	Nej	Nej	Nej		

Bilaga F

Här redovisas den programkod som körs på Arduinon och styr signallamporna.

```
/*
    Program för att styra en signallampa
    Stefan Englund
    Eric Gard
*/
#define SAMPLES 2
#define TEST_FREQ 1000
#define FREQ_MAX 1100
#define FREQ_MIN 900
#define NR_OF_MODES 6
#define TEST_TIMEOUT 5000
#define LED_BLINK_TIME 500
#define LCD_UPDATE 2000
#define TEMP_SAMPLE 4

int led = 13;
int green = 5;
int red = 6;
int red2 = 9;
int green2 = 3;
float termistor = A4;
float temp;

int input1 = 7;
int photo_pin = 4;

int freq;
int led_status;
int presses=0;

char greenPWM=0, redPWM=0;
boolean toggleLed=0;
boolean green_on = 0;
boolean red_on = 0;

unsigned int time, old_time=0, blink_time=0, lcd_time=0;

void lcd_goto(int x, int y);
int check_led(int puls_in, int led_pin);

// the setup routine runs once when you press reset:
void setup()
{
    // Sätter utgångar
    pinMode(green, OUTPUT);
    pinMode(red, OUTPUT);

    pinMode(green2, OUTPUT);
    pinMode(red2, OUTPUT);

    pinMode(photo_pin, INPUT_PULLUP);
    pinMode(input1, INPUT_PULLUP);
}
```

```

// Startar kommunikation med LCD + BT på 9600 baud
Serial.begin(9600);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop()
{
    time = millis();

    // Hämtar data från BT
    if(Serial.available() > 0)
    {
        char tmp = Serial.read();
        delay(50);

        if(tmp=='r')
            redPWM = Serial.read();
        else if(tmp=='g')
            greenPWM = Serial.read();

        else if(tmp >= '0' && tmp <= '9')
            presses = tmp - '0';
    }

    if(time-old_time > TEST_TIMEOUT && presses != 0 && green_on)
    {
        old_time=time;

        // Testar LED
        freq = check_led(photo_pin, green);
    }

    // toggleLed byter värde när LED ska togglas
    if(time-blink_time > LED_BLINK_TIME)
    {
        blink_time = time;
        toggleLed^=1;
    }

    // Uppdaterar LCD
    if(time-lcd_time > LCD_UPDATE)
    {
        lcd_time = time;
        update_lcd();
    }

    // Läser knapptryck
    if(!digitalRead(input1))
    {
        while(!digitalRead(input1));
        presses++;
        presses=presses % NR_OF_MODES;
    }

    switch(presses)
    {

```



```

    case 0: program0(); break;
    case 1: program1(); break;
    case 2: program2(); break;
    case 3: program3(); break;
    case 4: program4(); break;
    case 5: program5(); break;
    case 6: program6(); break;
    case 7: program7(); break;

    case 8: green = green2;
           red = red2; break;

    case 9: green = 5;
           red = 6; break;
    default: program0(); break;
}
}

// Testar LED
int check_led(int puls_in, int led_pin)
{
    int low_time, high_time;
    long int tmp=0;
    int cnt;

    // Startar pulsgenerator
    tone(led_pin, TEST_FREQ);

    for(cnt=0; cnt<SAMPLES; cnt++)
    {
        // Räknar tiden under en period med en timeout på 10 000 us
        high_time=pulseIn(puls_in, HIGH,10000);
        low_time = pulseIn(puls_in, LOW,10000);

        // Om ingen puls detekteras hoppar ut och ger -1
        if(high_time==0 || low_time==0)
        {
            // Stänger av pulsgenerator
            noTone(led_pin);
            return -1;
        }
        tmp = tmp + 1000000/(high_time+low_time);
    }
    // Stänger av pulsgenerator
    noTone(led_pin);
    return tmp/SAMPLES;
}

// Allt av
void program0(void)
{
    digitalWrite(green, HIGH);
    digitalWrite(red, HIGH);
    digitalWrite(green2, HIGH);
    digitalWrite(red2, HIGH);
    green_on = 0;

```

```

}

// Grön på
void program1(void)
{
    digitalWrite(green, LOW);
    digitalWrite(red, HIGH);
    green_on = 1;
}

// Grön blinkar
void program2(void)
{
    digitalWrite(green, toggleLed);
    digitalWrite(red, HIGH);
    green_on = !toggleLed;
}

// Röd på
void program3(void)
{
    digitalWrite(green, HIGH);
    digitalWrite(red, LOW);
    green_on = 0;
}

// Röd blinkar
void program4(void)
{
    digitalWrite(green, HIGH);
    digitalWrite(red, toggleLed);
    green_on = 0;
}

// Vit blinkar
void program5(void)
{
    if(toggleLed==0)
    {
        analogWrite(green, 255-greenPWM);
        analogWrite(red, 255-redPWM);
    }
    else
    {
        digitalWrite(green,HIGH);
        digitalWrite(red,HIGH);
    }
    green_on = !toggleLed;
}

// Vit fade
void program6(void)
{
    int tmp;
    for(tmp=15; tmp<255; tmp++)

```

```

{
  analogWrite(red, 255-tmp);
  analogWrite(green, 255-tmp);
  delay(2);
}

for(tmp=15; tmp<255; tmp++)
{
  analogWrite(red, tmp);
  analogWrite(green, tmp);
  delay(2);
}
}
// Vit på
void program7(void)
{
  analogWrite(red, 255-redPWM);
  analogWrite(green, 255-greenPWM);
}

void update_lcd(void)
{
  int tmp;
  float reading = 0, resistance = 0;

  for(tmp = 0; tmp< TEMP_SAMPLE; tmp++)
  {
    reading+=analogRead(A4);
    delay(10);
  }

  reading/=TEMP_SAMPLE;
  resistance = (1023/reading)-1;
  resistance = 15000/resistance;
  temp = resistance / 100000;
  temp = log(temp);
  temp /= 3950;
  temp += 1.0/(25+273.15);
  temp = 1.0/temp;
  temp -= 273.15;

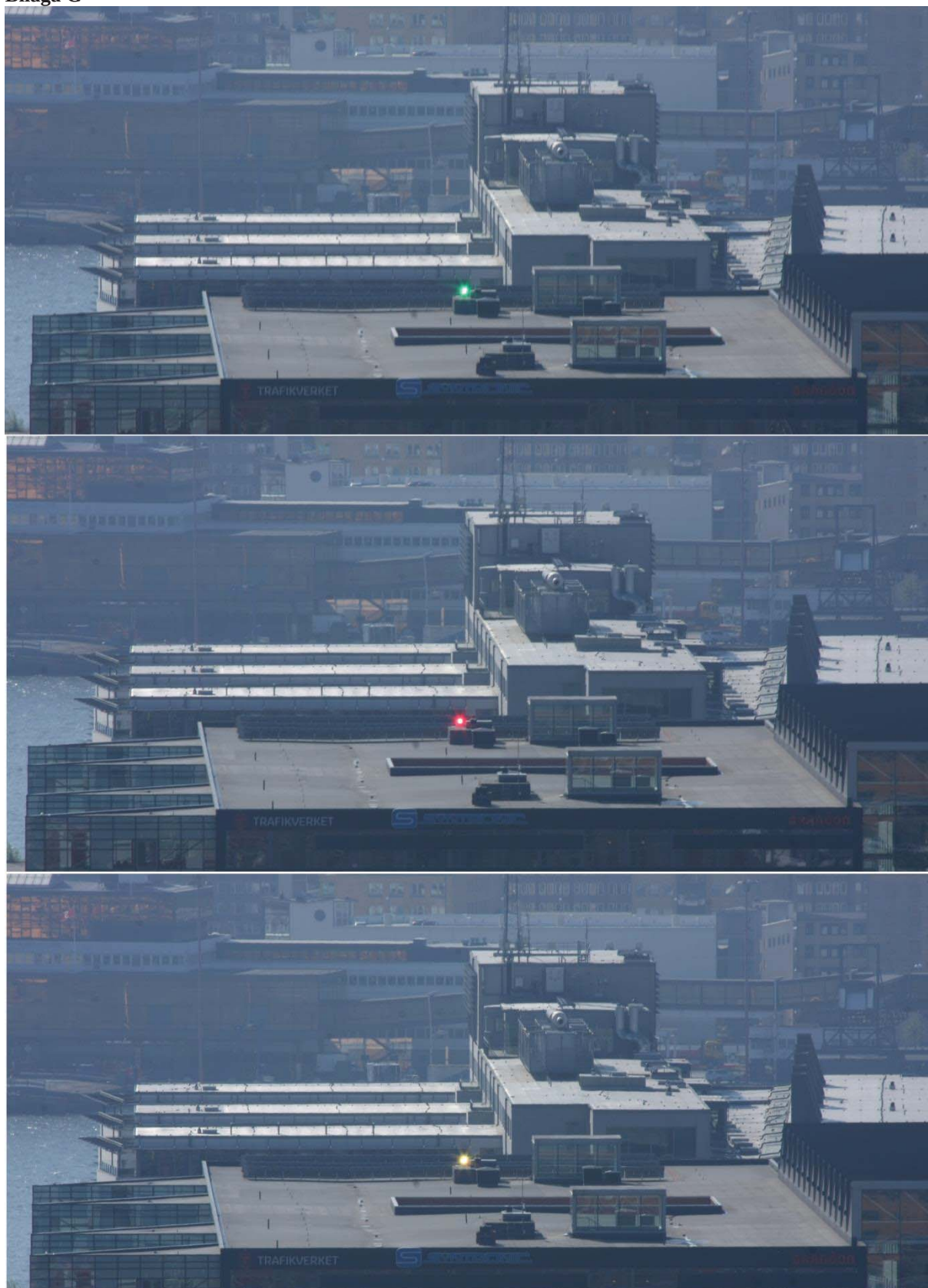
  // Skriver ut frekvens och sånt
  if(green==green2)
    Serial.write("Aspheric: ");
  else
    Serial.print("TIR: ");

  Serial.write("Prog: ");
  Serial.print(presses);

  // Visar LED-status
  Serial.write("  TEMP: ");
  Serial.print(temp);
  Serial.print("*C");
  Serial.print('\0');
}

```

Bilaga G



Bildserie tagen från Ramberget för att visa olika färgers utseende, ca 800 m



Bildserie tagen från Älvsborgsbron för att visa olika färgers utseende, ca 2800 m



Bildserie tagen från Storhöjdsgatan för att visa olika färgers utseende, ca 4600 m

Bilaga H

Här presenteras den kod som skapar det HMI som styr roboten tillsammans med SLG.

```
import processing.serial.*;

/*
    controlP5 is a library written by Andreas Schlegel for the programming
    environment processing. Last update, 12/23/2012.

    by Andreas Schlegel, 2012. www.sojamo.de
*/

import controlP5.*;

int circleX, circleY; // Position of circle button
int x0,y0,x1,y1,x2,y2,x3,y3,x4,y4,x5,y5;

int circleSize = 93; // Diameter of circle
color circleColor, baseColor;
color circleHighlight;
color currentColor;

color color1 = color(0,255,0);
color color2 = color(255,0,0);

boolean circle0Over = false;
boolean circle1Over = false;
boolean circle2Over = false;
boolean circle3Over = false;
boolean circle4Over = false;
boolean circle5Over = false;

Serial myPort;
Serial roboscan;

ControlP5 cp5;

BufferedReader reader;
PrintWriter output;
String line;

Slider sl;
Slider sl2;
Slider slr;
Slider slg;
```

```

float pan, tilt, red, green;
int pan_old, tilt_old;
int panAngle, tiltAngle, greenInt, redInt, redOld, greenOld;

char checksum;
char robotSetPos[]={0x5B,0x80,0x00,0x0D,0X07, 0XD0, 0X07, 0XD0, 0XAA, 0XAA,
0X00, 0X00, checksum};

int activeLight;
char indata[] = new char[40];
int cnt=0;
String indataStr;

void setup()
{
    size(640, 500);

    circleColor = color(255);
    circleHighlight = color(204);
    baseColor = color(102);
    currentColor = baseColor;

    y1 = y2 = y3 = y4 = y5 = height/2;

    x1 = width/6 -50 ;
    x2 = 2*width/6 -50;
    x3 = 3*width/6 -50;
    x4 = 4*width/6 -50;
    x5 = 5*width/6 -50;

    // Öppnar serieport
    println(Serial.list());

    // Textfil för temeraturloggning
    output = createWriter("templog.txt");

    // Textfil för portar som ska öppnas. Robot först, lampa efter.
    reader=createReader("ports.txt");

    try
    {
        line = reader.readLine();
    }
    catch(IOException e)
    {
        e.printStackTrace();
        line = null;
    }
}

```



```

}

roboscan = new Serial(this, line, 9600);

try
{
line = reader.readLine();
}
catch(IOException e)
{
e.printStackTrace();
line = null;
}

myPort = new Serial(this, line, 9600);

// Skapar en slider
cp5 = new ControlP5(this);
sl2 = cp5.addSlider("tilt",9000,-9000,600,50,20,400);
sl2.setAutoUpdate(true);

// Skapar en slider
cp5 = new ControlP5(this);
sl = cp5.addSlider("pan",-18000,18000,50,450,400,20);
sl.setAutoUpdate(true);

// Skapar en slider
cp5 = new ControlP5(this);
slg = cp5.addSlider("green",15,255,50,300,400,20);
slg.setAutoUpdate(true);

// Skapar en slider
cp5 = new ControlP5(this);
slr = cp5.addSlider("red",15,255,50,327,400,20);
slr.setAutoUpdate(true);

// create a new button
cp5.addButton("PanMinus100")
.setPosition(50,390)
.setSize(50,50)
;

// create a new button
cp5.addButton("PanPlus100")
.setPosition(400,390)
.setSize(50,50)

```

```

;

    // create a new button
cp5.addButton("TiltPlus100")
    .setPosition(540,50)
    .setSize(50,50)
;

    // create a new button
cp5.addButton("TiltMinus100")
    .setPosition(540,400)
    .setSize(50,50)
;

// create a new button
cp5.addButton("TiltMinus10")
    .setPosition(540,340)
    .setSize(50,50)
;

// create a new button
cp5.addButton("TiltPlus10")
    .setPosition(540,110)
    .setSize(50,50)
;

// create a new button
cp5.addButton("PanMinus10")
    .setPosition(110,390)
    .setSize(50,50)
;

// create a new button
cp5.addButton("PanPlus10")
    .setPosition(340,390)
    .setSize(50,50)
;

// create a new button
cp5.addButton("Morse")
    .setValue(0)
    .setPosition(10,10)
    .setSize(50,50)
;

// create a new button
cp5.addButton("Home")
    .setPosition(70,10)

```

```

        .setSize(50,50)
        ;

// create a new button
cp5.addButton("Rotate")
    .setPosition(130,10)
    .setSize(50,50)
    ;

// create a new button
cp5.addButton("Aspheric")
    .setPosition(190,10)
    .setSize(50,50)
    ;

// create a new button
cp5.addButton("TIR")
    .setPosition(250,10)
    .setSize(50,50)
    ;

// create a new button
cp5.addButton("White")
    .setPosition(310,10)
    .setSize(50,50)
    ;

// create a new button
cp5.addButton("LightOff")
    .setPosition(370,10)
    .setSize(50,50)
    ;

// create a new button
cp5.addButton("Quit")
    .setPosition(430,10)
    .setSize(50,50)
    ;

```

```

CallbackListener adjustLabel = new CallbackListener()
{
    public void controlEvent(CallbackEvent c)
    {
        if(c.getAction() == ControlP5.ACTION_BROADCAST)
        {
            sl.getValueLabel().setText(String.format("%.0f",sl.getValue()));

```

```

        sl2.getValueLabel().setText(String.format("%.0f",sl2.getValue()));
        slg.getValueLabel().setText(String.format("%.0f",slg.getValue()));
        slr.getValueLabel().setText(String.format("%.0f",slr.getValue()));
    }
}
};

sl.addCallback(adjustLabel);
sl2.addCallback(adjustLabel);
slr.addCallback(adjustLabel);
slg.addCallback(adjustLabel);

pan=0;
tilt=0;
}

void draw() {
    update(mouseX, mouseY);
    background(currentColor);

    if (circle1Over)
        fill(circleHighlight);
    else
        fill(0,255,0);
    ellipse(x1, y1, circleSize, circleSize);

    if (circle2Over)
    {
        fill(circleHighlight);
        ellipse(x2, y2, circleSize, circleSize);
    }
    else
    {
        fill(0,255,0);
        ellipse(x2, y2, circleSize, circleSize);
        fill(255,255,255);
        ellipse(x2, y2, circleSize/2, circleSize/2);
    }

    if (circle3Over)
        fill(circleHighlight);
    else
        fill(255,0,0);
    ellipse(x3, y3, circleSize, circleSize);

    if (circle4Over)
    {

```

```

    fill(circleHighlight);
    ellipse(x4, y4, circleSize, circleSize);
}
else
{
    fill(255,0,0);
    ellipse(x4, y4, circleSize, circleSize);
    fill(255,255,255);
    ellipse(x4, y4, circleSize/2, circleSize/2);
}

if (circle5Over)
    fill(circleHighlight);
else
    fill(255,255,255);
ellipse(x5, y5, circleSize, circleSize);


panAngle = round(pan);
tiltAngle = round(tilt);
greenInt = round(green);
redInt = round(red);

if(pan_old - panAngle!= 0 || tilt_old - tiltAngle != 0)
{
    int hej;
    pan_old=panAngle;
    tilt_old = tiltAngle;

    robotSetPos[5] = char(panAngle & 0xff);
    robotSetPos[4] = char((panAngle>>8)&0xff);

    robotSetPos[7] = char(tiltAngle&0xff);
    robotSetPos[6] = char((tiltAngle>>8)&0xff);

    robotSetPos[12] = calculateChecksum(12, robotSetPos);

    for(hej=0; hej<=12; hej++)
        roboscan.write(robotSetPos[hej]);
}

if(redOld - redInt!= 0)
{
    redOld = redInt;
    myPort.write('r');
    myPort.write(redInt);
    print("Red PWM: ");
    println(redInt);
}

```

```

}
if(greenOld - greenInt != 0)
{
    greenOld = greenInt;
    myPort.write('g');
    myPort.write(greenInt);
    print("Green PWM: ");
    println(greenInt);
}
fill(255,255,255);
rect(10,100,300,50);

//
if ( myPort.available() > 0)
{
    char ch=myPort.readChar();
    indata[cnt++] = ch;

    // Termineringstecken mottaget
    if(ch=="\0")
    {
        // Sparar antal sekunder som programmet kört
        output.print(millis()/1000);

        // Separera data med ;
        output.print(";");

        output.print(indata[25]); // Total
        output.print(indata[26]); // Ental
        output.print(',');
        output.print(indata[28]); // Tiondel
        output.println(indata[29]); // Hundradel

        // Fyll resten av raden med blanksteg
        for(cnt=cnt-1; cnt<40; cnt++)
            indata[cnt]=' ';
        cnt=0;
    }
}

indataStr = new String(indata);
fill(0,0,255);
text(indataStr, 20, 125);
}

```

```

void update(int x, int y)
{
    circle0Over = circle1Over = circle2Over = circle3Over = circle4Over = circle5Over = false;

    if ( overCircle(x0, y0, circleSize) )
        circle0Over = true;

    if ( overCircle(x1, y1, circleSize) )
        circle1Over = true;

    if( overCircle(x2, y2, circleSize) )
        circle2Over = true;

    if( overCircle(x3, y3, circleSize) )
        circle3Over = true;

    if( overCircle(x4, y4, circleSize) )
        circle4Over = true;

    if( overCircle(x5, y5, circleSize) )
        circle5Over = true;
}

void mousePressed()
{
    if(circle0Over)
        myPort.write('0');

    else if (circle1Over)
        myPort.write('1');

    else if(circle2Over)
        myPort.write('2');

    else if(circle3Over)
        myPort.write('3');

    else if(circle4Over)
        myPort.write('4');

    else if(circle5Over)
        myPort.write('5');

    if(cp5.isMouseOver(cp5.getController("Morse")))
        myPort.write('7');
}

```

```

}

void mouseReleased()
{
    if(cp5.isMouseOver(cp5.getController("Morse")))
        myPort.write('0');
}

void keyPressed() { // Press a key to save the data

}

boolean overCircle(int x, int y, int diameter) {
    float disX = x - mouseX;
    float disY = y - mouseY;
    if (sqrt(sq(disX) + sq(disY)) < diameter/2 ) {
        return true;
    } else {
        return false;
    }
}

char calculateChecksum(int antal, char data[])
{
    char checksum=0;
    int i;
    for(i=1; i<antal; i++)
    {
        checksum+=data[i];
    }
    return checksum;
}

// function colorA will receive changes from
// controller with name Home
public void Home(int theValue) {
    println("Homing robot");
    pan =0;
    tilt = 0;
}

// function colorA will receive changes from
// controller with name PanPlus100
public void PanPlus100(int theValue) {
    println("Pan + 1 deg");
    pan +=100;
}

// function colorA will receive changes from

```



```

// controller with name PanMinus100
public void PanMinus100(int theValue) {
    println("Pan - 1 deg");
    pan -=100;
}
// function colorA will receive changes from
// controller with name TiltPlus100
public void TiltPlus100(int theValue) {
    println("Tilt + 1 deg");
    tilt -=100;
}
// function colorA will receive changes from
// controller with name colorA
public void TiltMinus100(int theValue) {
    println("Tilt - 1 deg");
    tilt +=100;
}

// function colorA will receive changes from
// controller with name colorA
public void TiltMinus10(int theValue) {
    println("Tilt - 0.1 deg");
    tilt +=10;
}
// function colorA will receive changes from
// controller with name colorA
public void TiltPlus10(int theValue) {
    println("Tilt + 0.1 deg");
    tilt -=10;
}
// function colorA will receive changes from
// controller with name colorA
public void PanMinus10(int theValue) {
    println("Pan - 0.1 deg");
    pan -=10;
}
// function colorA will receive changes from
// controller with name colorA
public void PanPlus10(int theValue) {
    println("Pan + 0.1 deg");
    pan +=10;
}
// function colorA will receive changes from
// controller with name colorA
public void LightOff(int theValue) {
    println("Lights off");
    myPort.write('0');
}

```

```

// function colorA will receive changes from
// controller with name colorA
public void White(int theValue) {
    println("White on");
    myPort.write('7');
}
// function colorA will receive changes from
// controller with name colorA
public void Aspheric(int theValue) {
    println("Aspheric SLG");
    myPort.write('8');
    activeLight = 1;
}

// function colorA will receive changes from
// controller with name colorA
public void TIR(int theValue) {
    println("TIR SLG");
    myPort.write('9');
    activeLight = 0;
}
// function colorA will receive changes from
// controller with name colorA
public void Quit(int theValue) {
    output.flush(); // Write the remaining data
    output.close(); // Finish the file
    exit(); // Stop the program
}
// function colorA will receive changes from
// controller with name colorA
public void Rotate(int theValue) {
    //println("Switch optics");
    myPort.write('0');
    pan += 18000;
    if(pan > 18000)
        pan -= 36000;
    tilt *= -1;
    if(activeLight == 1)
    {
        activeLight = 0;
        myPort.write('9');
    }
    else
    {
        activeLight = 1;
        myPort.write('8');
    }
}

```