

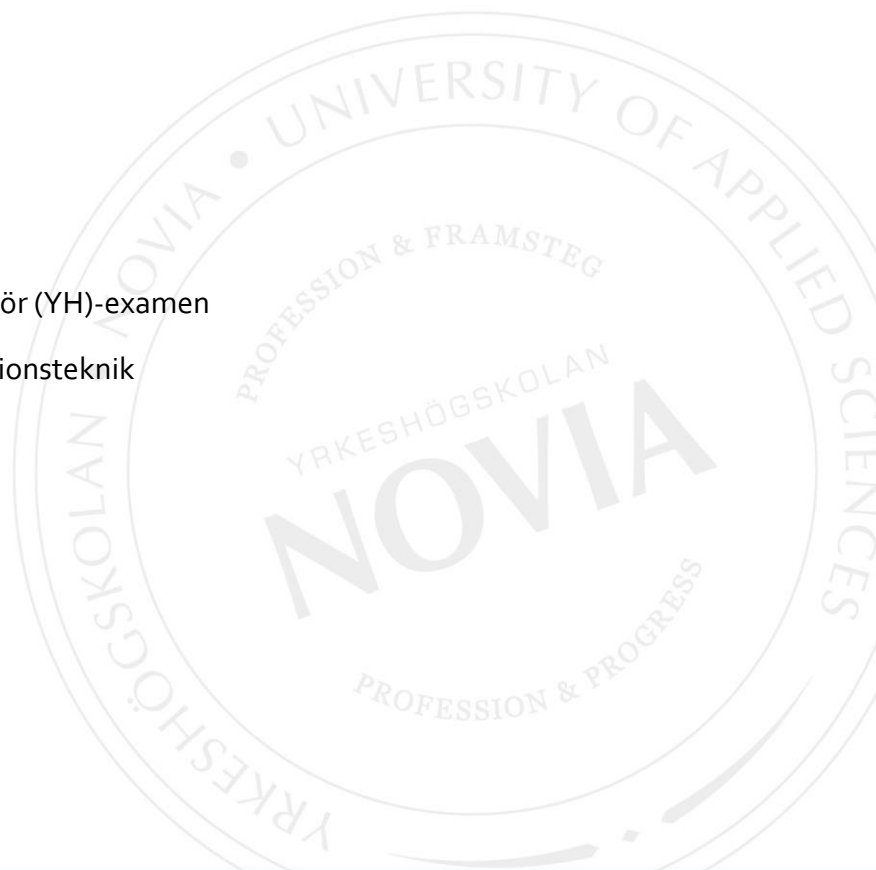
# Utveckling och realisering av belysningsstyrningssystem för segelbåtar

Mathias Björkström

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningen för automationsteknik

Vasa 2017



## EXAMENSARBETE

Författare: Mathias Björkström

Utbildning och ort: Elektroteknik, Vasa

Inriktningsalternativ: Automation

Handledare: Lars Enström och Mikael Johansson

Titel: Utveckling och realisering av belysningsstyrningssystem för segelbåtar

---

28.04.2017

Sidantal 40

Bilagor 2

---

### Abstrakt

Som uppdragsgivare för detta examensarbete fungerar Flink Engineering Ab. Arbetet har utförts som underleverantörstjänst åt Baltic Yachts Ab, som är en världsledande leverantör av skraddarsydd kolfiberyachter. Huvudsyftet med detta arbete var att tillgodose de behov som uppstod vid varvet i takt med att kundernas krav på belysningen och dess styrning ökade.

Examensarbetet består av två delmoment. Båtarna vid varvet hade tidigare inte haft belysningsstyrningssystem alls, eller så var dessa begränsade och oändamålsenliga. När kundernas krav ökade uppstod ett behov av att utveckla ett ändamålsenligt system. För att erhålla ett fungerande system, behövdes först klargöras med vilken teknik detta sker, vilken leverantör som väljs samt vilka komponenter som behövs. Besvarandet av dessa frågor utgör arbetets första moment. När arbetet skulle påbörjas hade en skraddarsydd segelbåt i storleksklassen 150–200 fot, vars köpare också hade speciella önskningar beträffande belysningsstyrningen, börjat ta form. Därför ansågs det lämpligt att systemet realiserades i denna båt och detta utgör arbetets andra moment.

Resultatet blev ett ändamålsenligt belysningsstyrningssystem, med tillhörande kopplingsritningar och användargränssnitt, ombord på ovannämnd segelbåt. Systemet bygger på DALI-teknik och styrs från en PLC. Systemet är ekonomiskt och prestandamässigt fördelaktigt jämfört med tidigare system och kan, tack vare sin flexibilitet, användas på flera båtar i framtiden samt utvecklas vid behov.

---

Språk: svenska

Nyckelord: belysning, DALI, styrsystem

---

## BACHELOR'S THESIS

Author: Mathias Björkström

Degree Programme: Electrical Engineering, Vaasa

Specialization: Automation

Supervisor(s): Lars Enström and Mikael Johansson

Title: Development and Realization of Lighting Control System for Sailing Yachts

---

April 28, 2017

Number of pages 40

Appendices 2

---

### Abstract

This thesis was commissioned by Flink Engineering Ab. The work has been done as subcontractor service for Baltic Yachts Ltd, which is the world's leading supplier of custom-built carbon fiber yachts. The main purpose of this thesis was to meet the needs that emerged at the yard as the customers' requirements regarding the lighting and its control increased.

The thesis consists of two parts. The boats at the yard had earlier not been equipped with lighting control systems at all, or these were limited and inappropriate. When the customers' requirements increased, a need for developing an appropriate system emerged. To obtain a suitable system, one had to start with clarifying what technology to use, what supplier to choose and what components are needed. Answering these questions forms the first part of the thesis. When the work was to start, a custom-built sailing yacht in the size range of 150–200 feet, whose buyer also had special wishes regarding the lighting control, had begun to take shape. Consequently, it was considered convenient to realize the system in this yacht and this process forms the second part of the thesis.

The result of the thesis is an appropriate lighting control system, together with wiring diagrams and user interface, on board the abovementioned sailing yacht. The system is based on the DALI interface and controlled from a PLC. The system is economically and functionally advantageous compared with the earlier used system and can, thanks to its flexibility, be used in other yachts in the future and be further developed as needed.

---

Language: Swedish

Key words: lighting, DALI, control system

---

# Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Problembeskrivning.....	1
1.2	Syfte och mål .....	2
1.3	Avgränsningar .....	2
2	Uppdragsgivare.....	2
3	Teori .....	3
3.1	Belysning .....	3
3.1.1	Ljusets karaktäristik.....	4
3.1.2	LED .....	6
3.1.3	Dimring.....	7
3.1.4	Flimmar .....	9
3.2	DALI.....	10
3.3	DMX-512.....	12
4	Planering av belysningsstyrningssystem.....	13
4.1	Val av teknik.....	13
4.2	Val av leverantör.....	15
4.3	Val av komponenter .....	15
5	Realisering av belysningsstyrningssystem .....	17
5.1	Specifikation.....	17
5.2	Belysningsöversikt.....	18
5.3	Val av dimrar .....	21
5.4	Uppbyggnad av system .....	22
5.5	Planering av scenariojusteringar .....	25
5.6	Beställning av komponenter .....	27
5.7	Ritningstillverkning.....	29
5.8	Programmering.....	30
5.8.1	Programmering av styrprogram.....	31
5.8.2	Utformning av GUI.....	32
5.8.3	Konfiguration av DALI-nätverk.....	32
6	Resultat .....	33
6.1	Utveckling av system .....	33
6.2	Realisering av system .....	34
7	Diskussion.....	37
8	Källförteckning.....	39

## Figurförteckning

Tabell 1. Jämförelse mellan tekniker för belysningsstyrning i båtarna.....	14
Tabell 2. Prisjämförelse mellan nuvarande och tidigare system. ....	34
Figur 1. Plancks kurva samt linjer för CCT visad i CIE:s kromaticitetsdiagram. ....	5
Figur 2. Övergång mellan p- och n-område i opåverkat och påverkat tillstånd. ....	6
Figur 3. Dimring med PWM-teknik. ....	8
Figur 4. Analog dimring. ....	8
Figur 5. Mod% på 100 % respektive mod% på 0,5 %. ....	9
Figur 6. Strukturer i DALI-nätverk: Stjärn-, serie-, träd- eller blandform. ....	11
Figur 7. Downlights som användes i båten. ....	19
Figur 8. Golvbelysning som i huvudsak användes. ....	19
Figur 9. Strömställare från Berker används för att rotera mellan scenarier. ....	20
Figur 10. Lista innehållande DALI-adresser för dimrar och tillhörande armaturer. ...	23
Figur 11. Modell av scenariojusteringspaneler. ....	26
Figur 12. Olika ljuskällor beställdes för olika ändamål. ....	29
Figur 13. Funktionsblock som skapades för att rotera mellan ljusscenarierna. ....	31
Figur 14. Styrboxen för om salongen installerad i båten. ....	35
Figur 15. Startsidan i det GUI som kan köras från webbläsare på båtens datorer. ....	36

## Bilageförteckning

Bilaga 1: Skärmdokument av lista innehållande all interiörbelysning

Bilaga 2: Bilder av dimmerskiva och scenariojusteringspanel installerade i båten.

# 1 Inledning

System för belysningsstyrning blir allt vanligare i takt med att kraven på belysning ökar med såväl ekonomiska, estetiska som hälsomässiga faktorer. Baltic Yachts Ab, som är en världsledande leverantör av skräddarsydda kolfiberyachter, strävar ständigt till att tillgodose kundernas behov och önskemål och på så sätt förbli i sin ledande position. När kunderna således har särskilda önskemål beträffande belysningen och dess styrning, är det i båtvarvets intresse att leverera ett styrsystem som uppfyller dessa önskemål. Detta examensarbete har utförts för att tillgodose de behov som uppstod när kundernas krav på belysningen ökade.

## 1.1 Problembeskrivning

Segelbåtarna som tillverkades vid varvet hade tidigare inte haft belysningsstyrningssystem alls, eftersom kraven som fanns på belysningen inte gav upphov till ett sådant behov. När kundernas önskemål beträffande belysningen ökade, behövdes ett system för styrning av belysningen. Som följd av detta hade man installerat ett system i två segelbåtar, vilket senare hade visat sig vara begränsat och oändamålsenligt. Systemet var inte i första hand utformat för belysning, och man hade upplevt problem med de funktioner som fanns för belysningsreglering. Dessutom hade systemet många funktioner som inte behövdes, varför priset låg på en nivå som ansågs vara onödigt hög. Sålunda uppstod ett behov av att ta fram ett nytt system som är kostnadseffektivt samt anpassat för de styrningar som efterfrågades. Denna situation ligger som grund för mitt examensarbete.

För att förbättra situationen ställdes följande frågor:

- Med vilken teknik fås ett ändamålsenligt system?
- Vilken leverantör väljs?
- Vilka komponenter behövs?

Dessa frågor utgör första momentet i mitt examensarbete. När arbetet skulle påbörjas hade en skräddarsydd segelbåt i storleksklassen 150–200 fot, vars köpare också hade speciella önskingar gällande belysningsstyrningen, börjat ta form. Därför ansågs det lämpligt att systemet realiserades i denna båt och detta utgör arbetets andra moment.

## 1.2 Syfte och mål

Som mål för arbetet var dels att besvara de tre frågor som formulerats i kapitel 1.1, och dels att ha ett fungerande belysningsstyrningssystem med tillhörande kopplingsritningar ombord på ovannämnd segelbåt. Belysningen, vilken huvudsakligen bygger på LED-teknik, bör vara reglerbar, utan flimmer eller brus. Systemet bör vara flexibelt, så att det i framtiden kan användas på flera båtar, och utvidgas vid behov.

Syftet med denna rapport var att redogöra för problemet, beskriva hur detta lösts samt visa på resultatet av arbetet. Teorin bakom arbetet presenteras för att motivera tagna beslut samt underlätta förståelsen för samtliga arbetsmoment.

## 1.3 Avgränsningar

Examensarbetet omfattar, med tanke på realiseringen av belysningsstyrningssystemet i segelbåten, enbart interiörbelysning i boendetrymmena. Sålunda behandlas inte exteriörbelysningen eller belysningen i tekniska utrymmen såsom motorrum, aktergarage, segelstuvningsutrymme och utrymmen under durkarna. Dessa avgränsningar görs eftersom all elplanering, förutom belysningsstyrningen i de interna boendetrymmena, utförs av annan underleverantör. Vidare avgränsas arbetet till att behandla enbart de utrymmen där båtens ägare och gäster normalt vistas, och behandlar således inte belysningen i besättningsutrymmena. Denna avgränsning görs eftersom belysningen i besättningsutrymmen inte ingår i belysningsstyrningssystemet, och orsaken till detta beskrivs i kapitel 5.1. Arbetet omfattar ej heller ibruktagning och testning av systemet eftersom båten i skrivande stund inte är klar till den grad som krävs för detta.

## 2 Uppdragsgivare

Som uppdragsgivare för examensarbetet fungerar Flink Engineering Ab, och arbetet utförs som underleverantörstjänst åt Baltic Yachts Ab. Flink Engineering Ab är ett litet privatägt företag verksamt i Jakobstad, och grundades år 1984 av Christian Flink. Företaget sysslar med planering av el-, automations- och instrumentationssystem, och har specialiserat sig inom båtbranschen. Elplaneringen innefattar kabeldimensioneringar, kretsscheman, effekt- och kortslutningsberäkningar, belysningsplanering samt planering av elcentraler och kopplingskåp. Planering utförs för såväl system med växelspanning som system med likspänning. Automationsplanering som utförs är exempelvis PLC-styrningar, kretsscheman för styrsystem samt design av HMI. Instrumentationsplaneringen innefattar navigationssystem,

audio- och videosystem samt kommunikationslösningar. (Flink Engineering, 2016). När det huvudsakliga arbetet utfördes hade företaget åtta anställda, men i skrivande stund har antalet sjunkit till fyra. Företaget jobbar i huvudsak som underleverantör för Baltic Yachts, i vilkas utrymmen arbetet också utförs. Jag har jobbat för Flink Engineering sedan hösten 2012, vid sidan av studierna samt under somrarna.

Baltic Yachts Ab är ett österbottniskt båtvarv som tillverkar skräddarsydda segel- och motorbåtar i olika storleksklasser. Företaget grundades år 1973 i Bosund när fem unga män lämnade ett finländskt båtvarv för att starta ett eget. Deras mål var att bygga de finaste segelbåtarna i världen, i toppkvalitet och med potential för racing. Den första båten var en Baltic 46, vilken visades för världen på Hamburg Boat Show i oktober 1974. Båten erhöll en väldigt positiv reaktion från potentiella kunder och från pressen. Sedan dess har många båtar levererats, allt från 30-fotsklassen till den största på 197 fot, och företaget har även expanderat till Alholmen i Jakobstad. Varvet har specialiserat sig på båtar i kolfiber, för att uppnå en såväl lätt som stark konstruktion. Båtarna anses kvalitativa på världsmarknaden och går nästan uteslutande på export. Baltic Yachts är således en viktig del i bilden av Österbotten som en plats med värdefull båtindustri. Företaget erbjuder även service, ombyggnad och renovering av båtar vid varven i Bosund och Jakobstad samt på Service & Refit Department i Palma de Mallorca. (Baltic Yachts, 2017).

## **3 Teori**

I detta kapitel behandlas den teori som använts vid utförandet av examensarbetet. Till att börja med förklaras begreppet belysning, varefter dess karaktäristik och färgegenskaper diskuteras. Därpå följer ett avsnitt om lysdioden med dess uppbyggnad och funktion. Dimring definieras och två olika tekniker för dimring presenteras, varefter problem som kan uppstå vid dimring, nämligen flimmer, behandlas. Slutligen presenteras två tekniker, DALI och DMX, vilka kan användas för belysningsstyrning. Beträffande dessa behandlas bakomliggande standarder, funktionsprincip samt nätverkens struktur och uppbyggnad.

### **3.1 Belysning**

För fysikern är ljus helt enkelt en del av det elektromagnetiska spektret, vilket spänner sig från kosmiska vågor med en våglängd i storleksordningen femtometer, till radiovågor med en våglängd upp till flera kilometer. Vad som skiljer intervallet mellan 380 och 780 nm från resten av spektret, är responsen från det mänskliga synsinnet. Fotoreceptorer i det



mänskliga ögat absorberar energi i detta intervall, vilket människan upplever som att se. (Boyce, 2014, 3).

I detta kapitel behandlas några ofta förekommande mått, vilka används inom belysningsindustrin för att karkatärisera ljuset från ljuskällorna. Därpå följer ett avsnitt om lysdioden, vilken med snabb fart håller på att erövra belysningsmarknaden. Här presenteras lysdiodens uppbyggnad, egenskaper och funktion. Slutligen behandlas dimring av lysdioder, samt det problem som detta i vissa fall medför, nämligen flimmer.

### 3.1.1 Ljusets karaktäristik

Det mest grundläggande måttet på elektromagnetisk strålning från en källa är strålningsflöde. Detta är ett mått på energiflödet som avges och mäts i watt. Det mest grundläggande måttet för att mäta ljus är ljusflöde. Ljusflöde är strålningsflödet multiplicerat, våglängd för våglängd, med den relativa spektrala känsligheten hos det mänskliga ögat, över intervallet 380–780 nm<sup>1</sup>. Ljusflödet anger alltså det totala ljuset som avges från en källa i alla riktningar. Ljusflöde mäts i lumen. (Boyce, 2014, 6–7).

Boyce (Boyce, 2014, 21) lyfter fram att belysningsindustrin även härlett två mått för att beteckna färegenskaperna hos en ljuskälla: korrelerad färgtemperatur, från engelskans *correlated colour temperature* (CCT), samt CIE:s färgåtergivningsindex, från engelskans *colour rendering index* (CRI)<sup>2</sup>. Dessa två mått anges i de flesta lamptillverkarens kataloger. Färgen på ljuset som avges från en ljuskälla kan i teorin karaktäriseras med hjälp av dess kromaticitetskoordinater. Kromaticitetsdiagrammet är ett koordinatsystem som kan användas för att återge alla färger, men p.g.a. dess komplexitet används det sällan i praktiken.

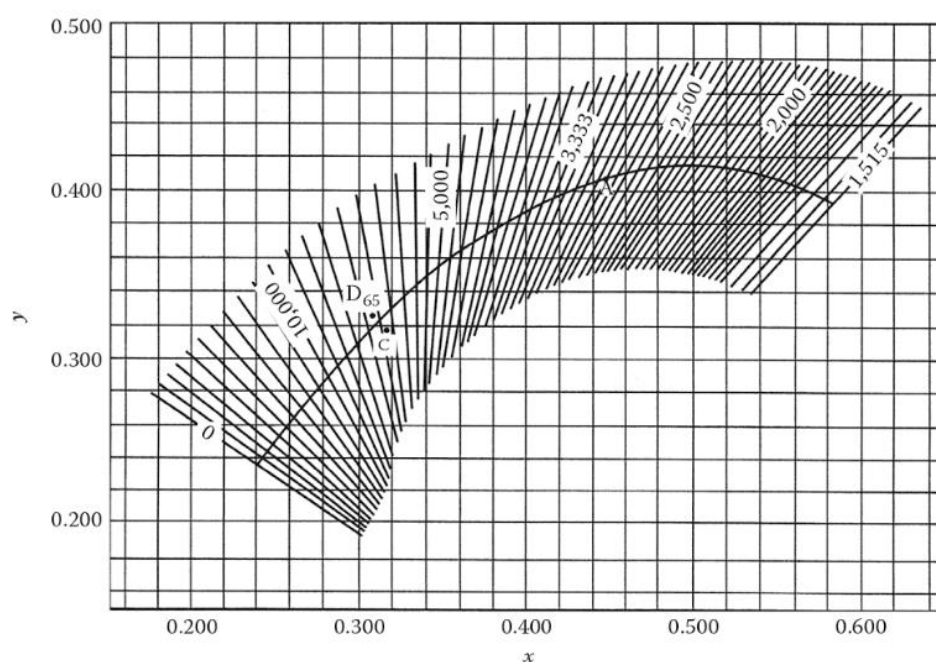
Istället för kromaticitetskoordinater används CCT, vilket är ett mått på hur färgen på ljuset från en ljuskälla upplevs. Grunden för detta mått är det faktum att den spektrala strålningen från en svartkropp definieras av Plancks strålningslag, och därför är beroende endast av temperaturen. I figur 1 nedan syns en del av CIE:s kromaticitetsdiagram, vari Plancks kurva är ritad. Plancks kurva sammanfogar kromaticitetskoordinater för svartkroppar vid olika temperaturer. Linjerna som korsar Plancks kurva är iso-temperaturlinjer. Om kromaticitetskoordinaterna för en viss ljuskälla ligger exakt på Plancks kurva, kan färgupplevel-

---

<sup>1</sup> Ögats känslighet till strålning med en viss styrka varierar starkt över våglängdsintervallet 380–780 nm. Ögats relativa spektrala känslighetskurva anger den relativa styrkan av olika våglängder som behövs för att ljuset skall upplevas lika starkt. Denna kurva varierar dock mellan normal syn och mörkersyn.

<sup>2</sup> CIE är en sammanslutning av belysnings- och ljuse experter, vilken publicerar standarder, rapporter och forskningsöversikter inom detta område.

sen för ljuskällan anges som färgtemperatur, d.v.s. temperaturen hos den svartkropp som har samma kromaticitetskoordinater. För ljuskällor, vars koordinater ligger nära Plancks kurva men inte på den, anges färgupplevelsen i CCT, d.v.s. temperaturen hos den isoterperaturlinje som ligger närmast koordinaterna. Temperaturerna anges vanligen i Kelvin (K). CCT är ett enkelt och lättförståeligt mått på färgupplevelsen hos ljuskällor, och används främst för vita ljuskällor. Sådana ljuskällor befinner sig stort sett i intervallet 2700–17000 K. En ljuskälla på 2700 K, såsom en glödlampa, upplevs som gulaktig och beskrivs som varm, medan en ljuskälla på 17 000 K, såsom vissa typer av lysrör, upplevs som blåaktig och beskrivs som kall. De vanligast förekommande ljuskällorna sträcker sig från 2700 K till 5000 K. (Boyce, 2014, 21–22).



**Figur 1. Plancks kurva samt linjer för CCT visad i CIE:s kromaticitetsdiagram.**

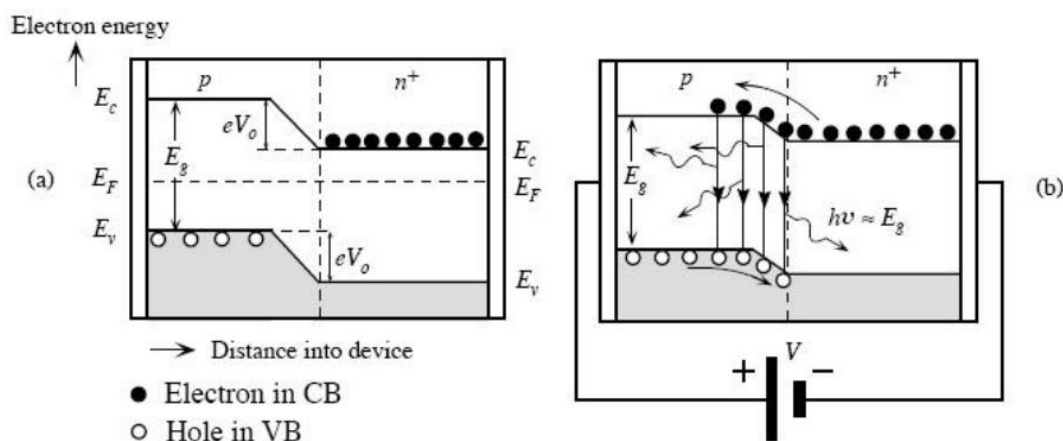
(Boyce, 2014, 22)

Boyce (Boyce, 2014, 23) betonar också att effekten som ljuskällor har på hur färgade ytor upplevs varierar. Här kommer CRI med i bilden. CRI, definierad av CIE, anger hur bra en given ljuskälla återger en uppsättning standardtestfärger, i relation till återgivningen under en referensljuskälla med samma CCT. Referensljuskällan som används är en glödlampa för ljuskällor med CCT under 5000 K, och någon form av dagsljus för ljuskällor med CCT över 5000 K. Skalan spänner från 0 till 100, där 100 motsvarar en perfekt överensstämmelse mellan ljuskällornas färgåtergivning. CIE har 14 standardtestfärger, av vilka de åtta första bildar en uppsättning pastellfärger, medan färgerna 9–14 representerar färger med speciell betydelse, såsom hudtoner och vegetation. Medeltalet av alla dessa färgåtergivningar är det som vanligtvis anges som CRI i katalogerna hos ljuskällornas tillverkare.

### 3.1.2 LED

Belysningsbranschen har blivit väldigt dynamisk idag, främst tack vare den snabba utvecklingen av LED-ljuskällor. LED är en förkortning av engelskans *Light Emitting Diode*, dvs en lysdiod. Den snabba utvecklingen är resultatet av hängivna forskares, ingenjörers och akademikers jobb, vilka ser en möjlighet till betydande energibesparingar i den globala belysningsanvändningen. Halvledarelektronik har förändrat världen p.g.a. dess mångsidighet, effektivitet och möjlighet till storskalig produktion, och denna teknologi håller också på att förändra belysningsindustrin. Det krävs dock full förståelse för design, specifikation och kvantifiering av LED-ljuskällor och -armaturer för att producera halvledarbelysning med såväl energibesparing som estetik i åtanke. (Khan, 2014, xiii).

En LED är en diod som formats genom att kombinera p- och n-dopade material. Materialet dopas genom att tillsätta små mängder av ett annat ämne, eller orenheter, vilket ger upphov till antingen överskott av elektroner eller brist på elektroner, s.k. hål. När lysdioden utsätts för en tillräckligt hög spänning i framriktningen uppstår en ström, dvs. hålen från p-regionen övergår till n-regionen och elektronerna från n-regionen övergår till p-regionen. Detta stör jämviktstillståndet i såväl p- som n-området, vilket gör att elektronerna i ledningsbandet rekombinerar med hålen i valensbandet tills jämvikt uppnåtts. Förloppet illustreras i figur 2. Så länge ström flyter genom dioden, fortsätter övergångarna mellan p- och n-regionerna, och således också rekombineringarna. När elektronerna rekombineras avges fotoner. (Haitz, Craford & Weissman, 1995, 12.2). Denna process kallas elektroluminescens (Khan, 2014, 32).



Figur 2. Övergång mellan p- och n-område i opåverkat och påverkat tillstånd.

(Kasap, 2001, 17)

Haitz et al. (1995, 12.5) påpekar att våglängden för fotonerna, i fall med synligt ljus alltså färgen på ljuset, bestäms av energiskillnaden mellan elektronerna och hålen som rekombineras. För att ändra på ljusets färg måste denna energiskillnad, bandgapet, göras större eller mindre.

Vitt LED-ljus kan i huvudsak åstadkommas på två sätt. En teknik bygger på lysdioder med blått ljus, i vilka en del av ljuset blir till gult ljus med hjälp av fluorescerande fosforer<sup>3</sup>. Det resulterande ljuset uppfattas då som vitt. Beroende av fosforlagrets tjocklek kan ljus med en färgtemperatur mellan 2000 K och 10 000 K uppnås. Ett annat sätt att erhålla vitt ljus är att blanda ljus från röda, gröna och blå lysdioder. Detta möjliggör representation av ljus från nästan alla områden i CIE:s kromaticitetsdiagram. (Aladov, et al., 2010, 21–23).

Som tidigare nämnts behöver lysdioden en tillräckligt hög spänning i framriktningen för att en ström skall uppstå, och denna spänning kallas tröskelspänning. När tröskelspänningen för en lysdiod uppnåtts ökar strömmen genom dioden exponentiellt mot ökad framspänning. Detta betyder att en liten ändring i spänning kan öka strömmen mångfalt och lysdioden kan då förstöras. Med beaktande av att framspänningen är beroende av omgivningstemperaturen, bör lysdioderna förses med en konstant ström istället för med en konstant spänning. (OSRAM Opto Semiconductors, 2013).

Förut hade alla lysdioder en märkström på 20 mA och en framspänning som varierade mellan 2 V och 4 V beroende av färg. Senare har effektlisdioder, s.k. *Power LEDs*, gjorts för märkströmmar på 350 mA, 700 mA och högre. Dessa finns i olika konstruktioner, och genom att kombinera flera lysdioder i olika uppsättningar kan större LED-moduler skapas. För inomhusbelysning har COB LED<sup>4</sup> blivit vanliga eftersom dessa möjliggör stort ljusflöde från en liten yta, och därför kan armaturerna göras mindre. (Winder, 2017, 11; Juntunen, 2014, 33–34).

### 3.1.3 Dimring

Dimring, innebär att ljusflödet från en armatur regleras, och är ett effektivt sätt att optimera belysningen enligt aktuellt behov. Eftersom lysdioden behöver en tillräckligt hög framspänning för att lysa och ökad framspänning ger snabbt ökande ström, vilket behandlades

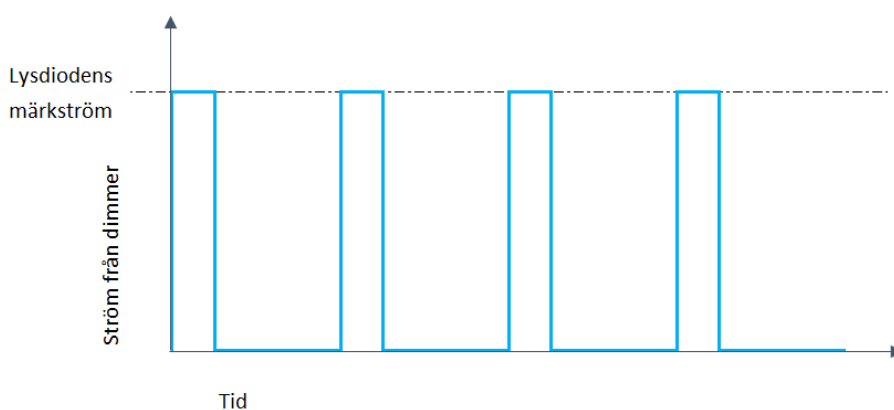
---

<sup>3</sup> Fosforer, eller lysämnen, är ämnen som ger ifrån sig synligt ljus efter att de bestråls med elektroner, ultraviolett ljus eller mer kortvågigt synligt ljus.

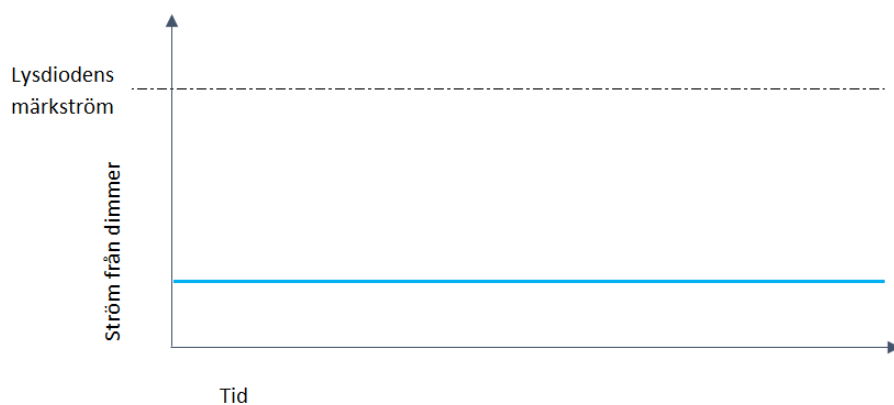
<sup>4</sup> I en COB LED, *Chip-On-Board*, har många lysdioder fästs nära varandra på ett substrat, och täckts över med ett gemensamt fosforlager. Lysdioderna sammankopplas med hjälp av trådbonding, vilket möjliggör olika uppsättningar.

tidigare (kapitel 3.1.2), kan reglering av matningsspänning inte användas för att dimra denna.

Khan (2014, 61–62) behandlar dock två metoder för att dimra lysdioder, nämligen PWM-teknik och analog teknik. PWM, *Pulse Width Modulation*, innebär att ljusflödet regleras genom att tiden som lysdioden förses med ström varierar. Metoden bygger på att lysdioden förses med en ström i form av en rektangulär pulsvåg, enligt figur 3. Strömmen genom lysdioden kan då ha endast två värden. Antingen är strömmen lika stor som märkströmmen, eller så går ingen ström alls. Vid fullt ljusflöde förses lysdioden konstant med märkström. När lysdioden dimras minskas pulsvågens *duty cycle*, d.v.s. den tid som pulsen är hög och således den tid som lysdioden lyser. Pulsvågens frekvens är så hög att det mänskliga ögat inte kan uppfatta att lysdioden tänds och släcks. Istället upplevs ljuset variera i styrka. Analog dimring innebär i sin tur att strömmen genom lysdioden minskas för att minska på ljusflödet, enligt figur 4. Mindre ström leder till att antalet elektroner som rekombineras, och således också antalet fotoner som avges (kapitel 3.1.2), minskar.



**Figur 3. Dimring med PWM-teknik.**



**Figur 4. Analog dimring.**

### 3.1.4 Flimmer

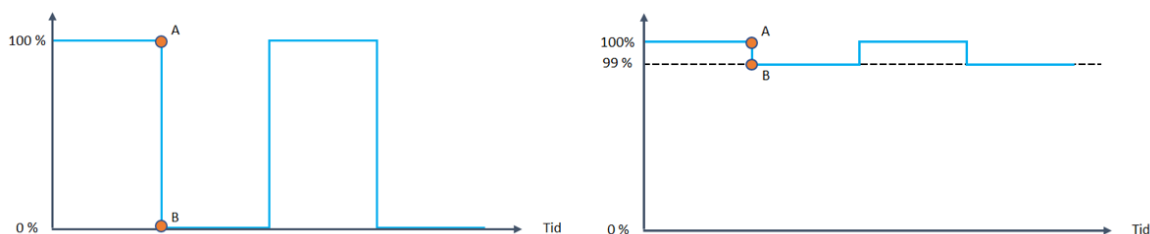
Enligt IEEE (Wilkins, Veitch & Lehman, 2010, 171–172) definieras flimmer som en snabb och periodisk variation av ljusstyrka över tid. Flimmer kan sedan uppdelas i visuellt och icke visuellt flimmer. Visuellt flimmer har vanligtvis en frekvens inom området 3–70 Hz, medan icke visuellt flimmer som påverkar människan negativt har frekvenser högre än detta upp till ca 165 Hz. Såväl visuellt som icke visuellt flimmer kan påverka människans hälsa. Med tanke på visuellt flimmer kan nämnas sådana omedelbara effekter som inträffar efter några sekunders exponering, exempelvis epileptiska anfall. Vid långtidsexponering av icke visuellt flimmer kan istället mindre uppenbara effekter, såsom sjukdomskänsla, huvudvärk och minskad visuell prestanda förekomma. De biologiska effekterna påverkas dock även av moduleringsdjup, ljusstyrka, våglängd, applikation samt flera andra faktorer.

Moduleringsdjup kan uttryckas i %flimmer eller mod%. Termen förklarar hur mycket amplituden på ljusflimret varierar mellan hög och låg nivå. Mod% kan beräknas enligt formeln:

$$\text{Mod\%} = 100 * \frac{A-B}{A+B} \quad (1)$$

där A är det maximala ljusflödet och B det minimala ljusflödet. Som framgår av ekvationen kommer mod% alltid att ligga mellan 0 % och 100 %. (Lehman & Wilkins, 2014, 20).

Moduleringsdjupet illustreras i figur 5. I bilden till vänster är ljusflödet antingen på sitt högsta möjliga värde eller så finns inget ljusflöde alls. Detta leder till att mod% enligt formeln (1) ovan blir 100 %. I bilden till höger varierar ljusflödet endast mellan 100 % och 99 %, vilket ger en mod% på ~0,5 %.



**Figur 5. Mod% på 100 % respektive mod% på 0,5 %.**

Enligt Lehman & Wilkins (2014, 23–24) bör flimmer med en frekvens lägre än 90 Hz, d.v.s. visuellt flimmer, ha en mod% lägre än 5 % för att undvika risker med epileptiska anfall. Det bör dock noteras att denna gräns inte förhindrar känslor av obehag eller besvär,

eftersom en mod% på 5 % kan uppfattas av det mänskliga ögat ifall frekvensen ligger i ett för ögat känsligt frekvensintervall, nämligen 1–35 Hz. Eftersom dimrar sällan konstrueras för frekvenser lägre än 90 Hz, ges istället andra riktvärden för flimmer med frekvenser högre än 90 Hz. Riktvärdena har bestämts utgående från ett flertal oberoende forskningar. Resultatet härleddes för LED-belysning, men kan appliceras på alla vanliga belysningstekniker. Riktvärden ges för två nivåer: *low-risk*, vid vilken distraktioner och biologiska effekter lindras, samt *no-effect*, vid vilken ingen effekt observeras. Vid *low-risk*-nivån bör mod% understiga  $0,08 \cdot \text{flimmerfrekvensen}$ , och vid *no-effect*-nivån bör mod% understiga  $0,0333 \cdot \text{flimmerfrekvensen}$ . Tillämpas detta på dimrar med PWM-teknik, vilka har en mod% på 100 %, fås att frekvenser över 1,25 kHz klassificeras som *low-risk* medan frekvenser över 3 kHz kan betraktas som att inte ha några biologiska effekter alls.

## 3.2 DALI

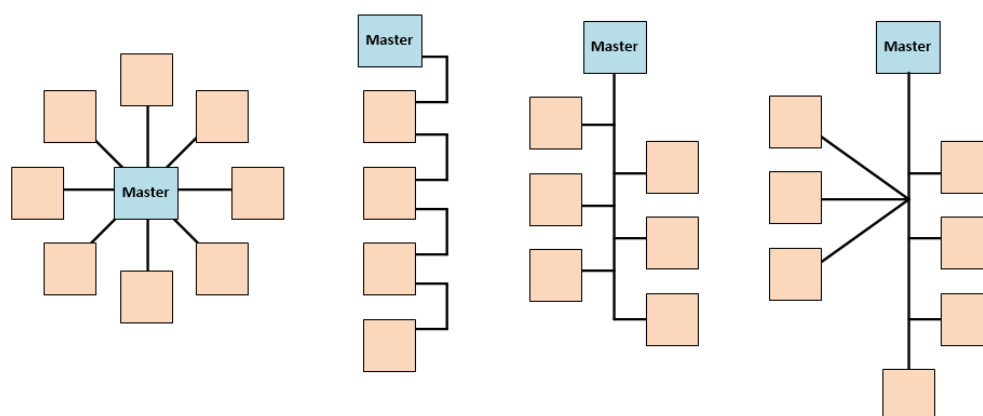
DALI är en akronym från engelskans *Digital Addressable Lighting Interface*, och är således en standard för digital kommunikation mellan olika komponenter i ett belysningsystem. Standarden är internationell och garanterar kompatibilitet mellan komponenter från olika tillverkare. Syftet med standarden var att skapa ett system som har låg kostnad och är lätt att hantera. (ZWEI - German Electrical and Electronic Manufacturers' Association, 2001, 9–10). DALI-standardens fanns definierad i EN 60929 Annex E fram till år 2009, men är nu definierad i IEC 62386 (Tridonic GmbH & Co KG, 2013, 4).

Digital teknik för belysningsstyrning har allt mer ersatt den analoga tekniken, exempelvis 1–10 V, tack vare dess mångsidiga tillämpningsmöjligheter och pålitliga styrning. DALI är inte ett nytt system för byggnadsautomation, utan ett användbart tillägg för den praktiska tillämpningen av belysningsstyrningar. Även små byggnader, i vilka automationssystem inte skulle vara ekonomiska, kan utnyttja bekvämligheten som digital teknik medför. I sådana installationer kan DALI användas som ett fristående belysningsstyrningssystem. (Tridonic GmbH & Co KG, 2013, 7).

DALI möjliggör individuell adressering av varje ljuskälla, och förenklar därför skapandet av olika ljusgrupper och -scenarier. Systemet består av en Master-enhet, vilken ofta också fungerar som spänningsmatning för gränssnittet, och upp till 64 Slave-enheter, d.v.s. driftdon. Varje enskilt driftdon kan tilldelas 16 gruppadresser, vilket betyder att driftdon i ett nätverk, förutom att styras individuellt, även kan styras som 16 olika belysningsgrupper.

Dessutom kan 16 dimringsnivåer sparas i varje enskilt driftdon, vilket motsvarar 16 olika scenarier. (Beckhoff Automation GmbH, 2010, 3).

Standarden ställer inga krav på speciella datakablar för kommunikationen, och inga ändmotstånd behövs på kablarna för att skydda mot reflektioner<sup>5</sup>. För kommunikationen kan ledare med enkel isolering användas, vilket förenklar installationen när såväl kontroll som matning kan använda samma kabel. DALI-gränssnittet är inte polaritetskänsligt, vilket betyder att positiv och negativ ledare inte behöver beaktas vid inkoppling. Nätverksstrukturen kan vara såväl stjärn-, serie- som trädformad, eller en blandning av dessa, enligt figur 6 nedan. (ZWEI - German Electrical and Electronic Manufacturers' Association, 2001, 11–12).



**Figur 6. Strukturer i DALI-nätverk: Stjärn-, serie-, träd- eller blandform.**

Vid utformning av ett DALI-nätverk bör dock spänningsfallet beaktas. Spänningsfallet över DALI-kabeln får inte överstiga 2 V. Detta motsvarar en maximal kabellängd på 300 m ifall ledare med tvärsnittsarea på 1,5 mm<sup>2</sup> används. I denna tumregel har även kontaktresistans i kopplingsplintar beaktats. För ledare med tvärsnittsarea under 1,5 mm<sup>2</sup> reduceras maximal kabellängd. Spänningsfallet i volt kan beräknas enligt formeln:

$$U_V = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\gamma \cdot S} \quad (2)$$

där  $l$  är kabellängd i m,  $I$  är strömmen i A,  $\gamma$  är elektrisk konduktivitet i m/( $\Omega$  mm<sup>2</sup>) och  $S$  är ledarens tvärsnittsarea i mm<sup>2</sup>. I beräkningen bör en ström på 250 mA användas, eftersom Master-enheter förser gränssnittet med en ström på denna nivå eller lägre. Konduktiviteten för kopparkabel är 56 m/( $\Omega$  mm<sup>2</sup>). (Tridonic GmbH & Co KG, 2013, 59–60).

<sup>5</sup> En reflektion i en ledning innebär att en puls som når slutet av en ledning, var impedansen inte är lika med ledningens karakteristiska impedans, ger upphov till en reflex som skickas tillbaka på ledningen. Denna reflex kan uppfattas som ett eko och störa överföringen.



### 3.3 DMX-512

DMX-512 är ett standardiserat protokoll för digital kommunikation, vilken utvecklades för styrning av belysning. Protokollet används ofta för mer komplexa ändamål såsom scenbelysning och teatraliska effekter, och är även vanligt i applikationer med färgskiftande belysning. Den nuvarande standarden DMX512-A, eller ANSI E1.11, upprätthålls av Entertainment Services and Technology Association (ESTA). (Lutron, 2010).

I sin enklaste form består DMX-512 av en uppsättning dataenheter, vilka även kallas kanaler. Dessa kanaler existerar i sin tur i ett paket, eller universum. Varje universum består av 512 unika kanaler. Traditionellt har varje kanal representerat en egen armatur i systemet. På senare tid, i takt med att armaturerna blivit mer komplexa, är dock kanalerna ofta förknippade med specifika parametrar inuti de automatiska armaturerna. Varje kanal kan innehålla ett värde i intervallet 0–255. Ursprungligen skapades protokollet för att kontrollera enkla dimrar, där kanalens värde på 0–255 översattes till 0–100 % av armaturens ljusnivå. Idag använder sig automatiska armaturer och övriga underhållningsprodukter av dessa DMX-kanaler för att kontrollera ett flertal parametrar såsom intensitet, rotation, zoom, lutning m.fl. (Schiller, 2016).

Enligt standarden bör systemet sammankopplas med normal RS485-kabel<sup>6</sup>. Denna består av två par ledare för data, samt en omgivande skärm. Enligt DMX512-A bör kontakterna som används för DMX-kabel vara 5-pinnars XLR-kontakter. Många tillverkare använder dock endast ett par dataledare i DMX-kabeln, eftersom detta är tillräckligt för kommunikationen. P.g.a. detta hittas ofta DMX-utrustning med 3-pinnars XLR-kontakter eller skruvterminaler, tillverkade för att uppnå en mer diskret kabeldragning. (Interactive Technologies, 2016). Nätverksstrukturen bör designas i serieform (Lutron, 2010).

---

<sup>6</sup> RS485 är en standard som definierar karaktäristiken för drivdon och mottagare som används i seriella kommunikationssystem. RS485 används i många dator- och automationssystem.

## 4 Planering av belysningsstyrningssystem

Segelbåtarna vid varvet hade förut, som tidigare nämnts, inte haft belysningsstyrningssystem alls, eller så var dessa begränsade och oändamålsenliga. I takt med att kundernas önskemål gällande belysningen ökade, uppstod därför ett behov av att utveckla ett system för detta ändamål. För att erhålla ett fungerande system, behövde först klargöras med vilken teknik detta sker, vilka komponenter som behövs, samt vilka leverantörer som väljs. I detta kapitel behandlas dessa frågor var för sig.

### 4.1 Val av teknik

Kraven och önskingarna gällande belysningen i båtarna hade när arbetet inleddes börjat bli mer komplicerade och varierande. I några år hade förvisso de flesta båtar haft ett fåtal dimringsbara lampgrupper, och detta åstadkoms med traditionella dimrar, så att varje sådan lampgrupp styrdes lokalt med en eller ett par tryckbrytare. När så en kund hade önskemål om specifika ljusscenarier i vissa utrymmen, behövdes ett mer intelligent system<sup>7</sup>. För att möjliggöra denna styrning hade ett system från Trigentic installerats i två segelbåtar. Systemet i fråga var EmpirBus NXT.

EmpirBus NXT är ett decentraliserat eldistributionssystem som bygger på *Digital Switching*. Systemet består av en master-enhet samt ett flertal slavenheter utspridda i båten, nära till förbrukare och signalgivare. Slavenheterna består av 16 kanaler, och dessa kan i programvaran konfigureras som ingångar eller utgångar. Beroende av modell besitter vissa kanaler dessutom olika specialfunktioner. Kanalerna konfigurerade som utgångar kan användas som dimrar, och använder sig då av PWM-teknik (se kapitel 3.1.3).

EmpirBus-systemet hade visat sig bli relativt dyrt, med tanke på att systemet endast användes för belysningen. I båtarna utnyttjades inte övrig potential som fanns tillhanda i systemet, och belysningsstyrningsegenskaperna i systemet var inte väldigt flexibla. Därför var systemet inte riktigt ändamålsenligt för de behov som fanns i segelbåtarna. Med detta som utgångsläge påbörjades sökning av information beträffande övriga system och tekniker.

Efter en tid av informationsinsamling fanns ett antal alternativ till hands. Önskingar från båtvarvet om att belysningen i mån av möjlighet bör finnas på batteribanken, d.v.s. matas

---

<sup>7</sup> Ett ljusscenario innebär att olika ljuskällor eller lampgrupper i ett utrymme samtidigt ställs till individuellt förvalt läge, när scenariot påkallas. Med ett eller flera förvalda scenarier kan man således med ett knapptryck ställa belysningen i ett utrymme så att denna passar till specifikt ändamål eller önskad stämning.

med 24 VDC, gjorde att system för fastigheter, och således ämnade för 230 VAC, snabbt uteslöts. Kvar fanns i huvudsak tre alternativ:

1. DALI-nätverk kontrollerat från en PLC.
2. DMX-nätverk kontrollerat från en PLC.
3. Ett belysningsstyrningssystem från Lumotics Marine, utvecklat för båtar.

Alla dessa tre system uppfyllde behovet i fråga om funktionalitet, men skiljde sig på övriga punkter. Nedan följer en jämförelse (tabell 1) av systemens skiljande egenskaper, i vilken varje egenskap bedömts på en skala från ett till tre, och där tre innebär högre lämplighet. *Flexibilitet* syftar på systemets mångsidighet, samt hur systemet kan utökas och sammankopplas med övriga system. *Enkelhet* omfattar hur lätt systemet är att planera, installera och konfigurera. *Pris* anger de kostnader som krävs för systemet. *Design* syftar på komponenternas storlek och vikt, eftersom lätta komponenter eftersträvas och utrymmet för komponenter i båtarna ofta är begränsat.

**Tabell 1. Jämförelse mellan tekniker för belysningsstyrning i båtarna.**

	Flexibilitet	Enkelhet	Pris	Design	Total
DALI	3	2	3	3	11
DMX	3	1	2	3	9
Lumotics	2	3	1	2	8

Ur jämförelsen framgick att DALI var den teknik som var mest lämpad för vårt ändamål. Tekniken, vilken förklaras i kapitel 3.2, uppfyller väl de krav som fanns på belysningsstyrningen, utan att lämna stor potential outnyttjad. Med tanke på att DALI-nätverket kontrolleras från en PLC, erhålls väldigt hög flexibilitet då PLC:n kan sammankopplas, och kommunicera, med övriga komponenter och system. Priset på dimrar som bygger på DALI-teknik är relativt billiga, och PLC:n för styrningen behöver inte vara särskilt kraftfull. Styrningsenheterna kan placeras på en plats där utrymmet är större, medan dimrarna kan placeras nära förbrukarna och får plats nästan var som helst. Efter jämförelsen stod det klart att DALI-tekniken används, och fokus vändes till vilken leverantörer som skall användas för PLC-systemet.

## 4.2 Val av leverantör

När tekniken bestämts, blev det aktuellt att välja leverantör. PLC:n som styr systemet bör ha ett gränssnitt för DALI. Eftersom en av de anställda i företaget hade träffat på en försäljare från Beckhoff Automation Oy, vilken presenterat sina möjligheter att styra DALI-nätverk, inbjöds försäljaren till företaget för att presentera sina produkter samt för att hålla en kort skolning om hur ett belysningsstyrningssystem med DALI-teknik byggs upp med dessa produkter.

I alla båtar som producerades vid båtvarvet fanns ett övergripande kontroll- och övervakningssystem, vilket också utgörs av en PLC med tillbehör, dock inte från Beckhoff Automation. För tillfället fanns funderingar på att byta leverantör, eftersom det befintliga systemet ansågs ha sina brister. Funderingarna gällde då att byta leverantör till Beckhoff Automation, och då sågs belysningsstyrningssystemet utgöra en god möjlighet att testa denna nya leverantör. På så vis skedde valet av leverantör för PLC till belysningsstyrningssystemet ganska snabbt och smidigt. Dimrar som bygger på DALI-teknik fanns av många olika varumärken, och därför ansågs dessa bäst väljas specifikt för varje projekt, beroende av vilka belysningsarmaturer som används.

## 4.3 Val av komponenter

När leverantören för PLC-systemet valts till Beckhoff Automation, blev det aktuellt att specificera vilka komponenter som behövs. Leverantören erbjöd en offert innehållande de komponenter som skulle behövas för att erhålla ett fungerande system på en båt i storleksklassen 120 fot. Följande komponenter innefattades i offerten:

- PLC: CX9020 industriell PC.
- Licens för körning av mjukvara i PLC.
- DALI-terminal, vilken fungerar som Master i DALI-nätverket.
- Digitala ingångsterminaler: 8-channel samt 16-channel.
- Digitala utgångsterminaler: 8-channel samt 16-channel.
- Distribueringsterminal 0 VDC: 8-channel samt 16-channel.
- Distribueringsterminal: 8 x 24 VDC + 8 x 0 VDC.
- Ändmodul.
- Busskopplare för att möjliggöra uppdelning av systemet.
- Licens och kabel för konfigurationsverktyg till busskopplare.

PLC:n som specificerats var en kompakt industriell PC, ämnad för mindre installationer. Ingångs- och utgångsterminalerna gavs av såväl modeller med åtta kanaler som med 16 kanaler. Dessa var likvärdiga i storlek, och den med 16 kanaler hade kanalerna mer tättsittande för att spara utrymme. Denna kan således vara lite mer otymplig att jobba med, samtidigt som dubbelt fler kanaler fås på en terminal av samma bredd. Distribueringsterminalerna används tillsammans med ingångs- och utgångsterminalerna för att tillhandahålla inkopplingspunkter för den potential, antingen 0 VDC eller 24 VDC, som behövs för givare, knappar och styrdon. Busskopplaren kan användas om systemet vill uppdelas till flera platser i båten, d.v.s. i flera boxar. På så sätt behövs kortare kabeldragningar från ingångs- och utgångsterminalerna till givarna, knapparna och styrdonen. Busskopplaren kommunicerar med PLC:n över Ethernet TCP/IP. Ändmodulen används i varje box som sista terminal i raden.

De komponenter som specificerats granskades för att säkerställa att de uppfyllde behoven som fanns. PLC:n som specificerats var mycket väl tillräcklig för det användningsändamål vi hade i båtarna. I större båtar behöver DALI-nätverken vara flera, eftersom det maximala antalet adresser som är tillgängligt i ett nätverk är 64. Detta behandlas mer utförligt i kapitel 3.2. För att erhålla mer än 64 adresser kan således fler master-enheter användas, vilket samtidigt ger fler DALI-nätverk. Som ingångsterminal valdes den med 16 kanaler. Med tanke på att ingångsterminalerna i detta system endast används för tryckknappar, och således med tunna ledare, ansågs den med 16 kanaler vara att föredra för att spara utrymme. För vårt ändamål behövdes inga digitala utgångar, och dessa terminaler ignorerades. Av distribueringsterminalerna behövdes endast inkopplingspunkter med potentialen 24 VDC, eftersom ingångsterminalerna för knapparna reagerar på positiv spänning. En modell innehållande endast inkopplingspunkter för 24 VDC hade inte specificerats. Från leverantörens produktutbud hittades dock terminaler med såväl åtta som 16 inkopplingspunkter för 24 VDC, och den med 16 kanaler valdes av samma orsak som med ingångsterminalerna. Av busskopplarna fanns fler modeller. För uppdelning av systemet till två platser behövs endast en busskopplare med en nätverksport, medan uppdelning till flera platser kräver ytterligare busskopplare med två nätverksportar. I sådana fall dras nätverkskabeln från huvudenheten till busskopplaren med två nätverksportar, vid behov vidare till flera sådana, och slutligen till den med en nätverksport.

När komponenterna bestämts hade vi således ett komplett system, vilket kan användas för belysningsstyrning samt justeras i enlighet med de krav som finns på den båt i vilken det skall installeras. Detta utgjorde första momentet av mitt examensarbete. När detta delmål

nått blev det aktuellt att realisera systemet i den segelbåt som börjat ta form. Denna process beskrivs i följande kapitel.

## **5 Realisering av belysningsstyrningssystem**

När systemet hade specificerats flyttades fokus till den segelbåt som börjat ta form i varvet. Båten låg i storleksklassen 150–200 fot, och var således en av de större båtarna som tillverkats i varvet. Båten benämns inte mer specifikt, eftersom kunden för båten i fråga inte önskar att mycket information delas innan båten levererats. I detta kapitel behandlas tillvägagångssättet när belysningsstyrningssystemet skulle realiseras i båtens gästområden. Belysningen i besättningsutrymmena behandlas, som tidigare nämnts, inte i examensarbetet, och orsaken till detta beskrivs i nedanstående avsnitt.

### **5.1 Specifikation**

Realiseringen av belysningsystemet i båten påbörjades genom att läsa specifikationen. Denna innehåller de krav och förväntningar som finns på båtens samtliga delar och system. Vad gäller utformningen av belysningsstyrningssystemet förväntades denna av erfarenhet inte innehålla väldigt mycket användbar information. Specifikationen fungerar som en grund för inredningsdesignern, vilken i sin tur specificerar de armaturer och strömställare som används. Utgående från designers presentationer planeras sedan styrningen. Ur specifikationen framgick dock ett par punkter som var relevanta för detta arbete; All belysning bör vara LED och belysningen bör styras från ett belysningsstyrningssystem med kapacitet att dimra belysningen.

Från början var således utgångsläget att all interiörsbelysning i boendetrymmena ingår i belysningsstyrningssystemet. Under möten med inredningsdesignern och köparens representant beslöts dock att belysningsstyrningssystemet endast används för belysning i utrymmen där ägaren och gäster normalt vistas, d.v.s. gästkabiner, ägarens kabin, salong, pentry samt korridorer som sammanbinder dessa. I besättningens områden krävdes ingen avancerad belysningsstyrning och i stället önskades ett traditionellt upplägg där brytarna kopplas direkt till belysningsarmaturerna, eller direkt till dimmern i sådana fall där belysningen bör kunna dimras. Detta upplägg efterfrågades för att säkerställa belysning i besättningsutrymmena vid eventuella störningar i belysningsstyrningssystemet.

I gästutrymmena var önskemålet att belysningen styrs som scenarier. Varje kabin eller utrymme har tryckknappar placerade på ändamålsenliga platser. Varje utrymme består av ett antal ljusscenarier beroende av utrymmets storlek och användningsändamål. När en tryckknapp aktiveras växlas scenariot i utrymmet i fråga. Vid ytterligare aktiveringar växlas åter scenario, och således erhålls en rotation mellan tillgängliga scenarier. Släckning av belysningen sker genom att ytterligare ett scenario läggs till, i vilket all belysning är släckt. Vid ett senare möte beslöts att ljusscenerierna är tre eller fyra till antalet per kabin eller utrymmer, samt att scenerierna bör kunna justeras kabinvist av besättningen i efterhand.

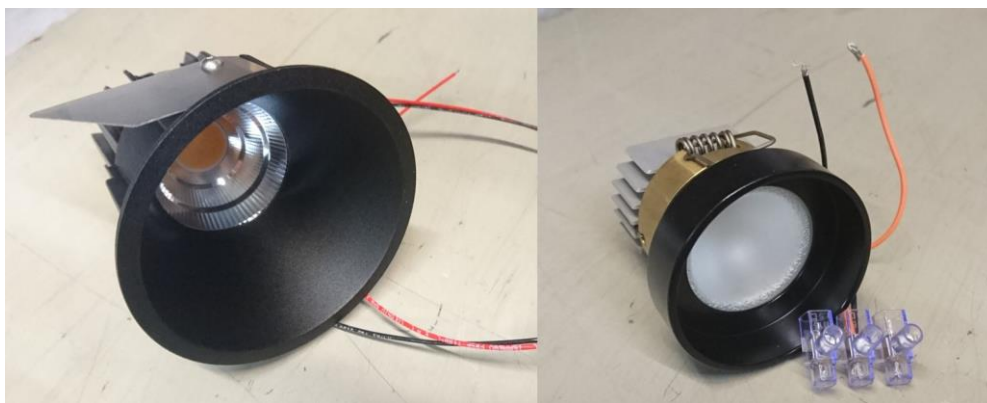
## 5.2 Belysningsöversikt

Från båtens inredningsdesigner erhöles kabinvisa planer innehållande all interiörbelysning ombord. Från planerna framgick belysningsarmaturernas modeller, kvantitet och placering. Planerna erhöles för en kabin åt gången i takt med att kabinerna och inredningen designades. Från tidigare erfarenheter fanns den uppfattningen att inredningsdesigners ofta beaktar endast den estetiska aspekten och lämnar den tekniska aspekten mindre berörd. Utgående från de modeller som uppgetts, söktes därför detaljerad information och elektriska egenskaper från internet. Informationen granskades för att säkerställa styrningens genomförbarhet och överensstämmelse med varvets preferenser gällande matningsspänning.

Belysningen bestod av downlights<sup>8</sup>, spotlights, takkronor, vägglampor, bordslampor samt golvbelysning. Downlights ger kabinerna och utrymmena en god allmänbelysning, och av dessa hade två modeller specificerats. Modellen som i huvudsak används är Deltalight Deep Ringo LED, till vänster i figur 7 på följande sida. Denna består av en LED med en märkström angiven som 350–500 mA, och förbrukar i detta intervall en effekt mellan 7 W och 10 W. I inredningsdesignerns plan är armaturernas antal och placeringar angivna med effekten 7 W i åtanke. P.g.a. detta användes denna effekt, och motsvarande ström på 350 mA, även i planeringen av belysningsstyrningssystemet. Ljuset som avges från armaturerna har en färgupplevelse på 2700 K, d.v.s. ett varmvitt sken, och ett färgåtergivningsindex på ca 80. Teorin kring detta behandlas i kapitel 3.1.1. En mindre modell som används är BCM Jack 1, till höger i figur 7. Denna har klassificeringen IP65 och används i duschutrymmena. Lysdioden i armaturen har en märkström på 350 mA och förbrukar då en effekt på 4 W. Även denna modell har en färgupplevelse på 2700 K.

---

<sup>8</sup> Downlights är belysningsarmaturer som är infällda i taket och lyser neråt. De är en av de vanligast förekommande belysningsarmaturerna i kontor, hotell och butiker, och blir även allt vanligare i hemmen. Downlights ger ett rent intryck eftersom armaturerna ligger slätt med taket.



**Figur 7. Downlights som användes i båten.**

Golvbelysningen används för att ge ett dämpat stämningsfullt ljus. Modellen som i huvudsak använts i gästutrymmena är BCM LED Line Three, vilken syns i figur 8. Modellen finns i ett flertal längder, och den som i detta fall valts var 30 cm lång. Armaturen döljs under uthäng vid golvet eller i nedsänkta golvkanaler övertäckta med trögaller, och ger på detta sätt ett diskret och mysigt ljus. Armaturen innehåller ett flertal lysdioder, och bör förses med 24 VDC. Armaturen begränsar själv strömmen genom lysdioderna med hjälp av resistorer. I salongen, med trappor på ett flertal platser, användes dock en annan modell, nämligen Savage Lighting Nano Atlantic. Denna är en mycket liten armatur, vilken monterar i väggen nära golvet, och således lyser upp ett litet område av golvet eller trappsteget. Armaturen har en märkström på 350 mA och förbrukar då 1,4 W. Båda ovannämnda armaturer hade också ett varmvitt sken.



**Figur 8. Golvbelysning som i huvudsak användes.**

Övrig belysning var ett fåtal spotlights, även dessa med LED, samt ett flertal armaturer med sockel för extern ljuskälla. De sistnämnda utgjordes av takkronor, vägglampor, bordslampor och garderobbelysning, med socklar av olika typer. Garderobbelysningen skulle vara sådan att belysningen tänds när dörren öppnas och släcks när dörren stängs.



För att underlätta planeringen av systemet, med tanke på placeringar och effektbehov, skapades en lista innehållande all interiörbelysning, uppdelad kabinvis eller utrymmesvis. Ett skärmsklipp av listan finns för illustration i bilaga 1. För varje kabin eller utrymme angavs typer av belysningsarmaturer samt deras antal eller längd. Utgående från detta framräknades det totala antalet eller total längd av varje armatur, det kabinvisa effektbehovet och den totala effekten. För kabinerna angavs även brytarnas modell och antal, och från detta framräknades behovet av ingångar till PLC-systemet.

Strömställarna som specificerats var Berker serie 1930, i retrostil, enligt figur 9. Strömställaren aktiveras genom att vrida ett vred. Dessa strömställare fanns av ett antal olika modeller, med olika brytningskaraktäristik. För vårt ändamål behövdes en tryckknappsmodell, d.v.s. en strömställare med återfjädrande vred, så att kontakten är sluten endast när strömställaren påverkas av användaren. Vid sökning hittades en återfjädrande modell som går att vrida åt båda hållen, och där olika kontakter sluts beroende av om vredet vrids till höger eller till vänster. Denna modell ansågs lämplig, och erbjöd även en möjlighet till förbättring beträffande scenarioväxlingarna. Med denna strömställare kan scenarioväxlingarna ske när vredet vrids exempelvis till höger, och all belysning i utrymmet släckas när vredet vrids åt motsatt håll. Sålunda möjliggörs en snabbare och smidigare släckning av belysningen i ett utrymme, samtidigt som rotationen mellan scenarierna också sker snabbare och inte behöver störas av att all belysning släcks. Detta förslag presenterades för projektledaren och godkändes.



**Figur 9. Strömställare från Berker används för att rotera mellan scenarier.**

### 5.3 Val av dimrar

När all belysning var genomgången, och modellerna granskade, blev det aktuellt att bestämma vilka dimrar som används för att reglera belysningen. Frågorna var då om armaturerna skall förses med konstant spänning eller konstant ström, om de skall dimras med PWM-teknik eller analog teknik, och slutligen vilka modeller av dimrar som används.

Deep Ringo-armaturerna levererades, enligt uppgifter från Internet, utan integrerad strömbegränsningsenhet. Detta var också det som av tidigare erfarenheter föredrogs i varvet, eftersom det möjliggör kompatibilitet med alla möjliga styrningar. I enlighet med teorin i kapitel 3.1.2 bör således denna armatur förses med en konstant ström i stället för en konstant spänning. För att undvika eventuellt flimmar eller symptom av detta, beslöts att alla downlights dimras med analog teknik. Från Deltalight kunde levereras ett antal rekommenderade dimrar för armaturen i fråga, beroende av vilken teknik som används för belysningsstyrningen. I vårt fall användes DALI för styrningen, och en modell med denna teknik valdes.

Modellen i fråga var LEDsGO DIN DIM-ALL. Dimmern består av tre separata kanaler, och varje kanal levererar 350 mA, upp till 15 W. Således stämde egenskaperna överens med armaturens egenskaper. Från internet hittades inte mycket information gällande ovan nämnd dimmer, så tillverkaren kontaktades med önskan om ytterligare information, och ett datablad erhöles. Ur databladet framgick att dimmern kan leverera en utspänning i intervallet 6–45 V, trots att matningsspänningen endast är 24 V. Ju högre utspänning en konstantströmsdimmer kan leverera, desto fler armaturer kan inkopplas i serie efter dimmern. Sålunda uppstod tanken på att vi, beroende av armaturens framspänning, kanske kunde ha fler armaturer i serie och på så sätt spara dimrar och pengar. Därför beslöts att denna dimmer således också används till de mindre takarmaturerna Jack 1, och även till de små golvbelysningsarmaturerna Nano Atlantic, eftersom alla dessa har en märkström på 350 mA.

För resterande golvbelysning, d.v.s. LED Line Three, och armaturerna med extern ljuskälla, kunde dimmern från LEDsGO inte användas. Detta eftersom LED Line Three, som tidigare nämnts, bör förses med en konstant spänning på 24 V, och externa ljuskällor med sockel oftast också är av denna typ. För dessa armaturer behövdes således en konstantspänningsdimmer. Dessa förses armaturen med en konstant spänning eller en spänning som varierar med matningsspänningen, och dimringen sker med PWM-teknik, vilken behandlas i kapitel 3.1.3.

Efter en hel del informationssökning hittades en modell som verkade intressant. Modellen i fråga var eldoLED LINEARdrive 220D. Denna är en konstantspänningsdimmer och kontrolleras med DALI. Dimmern består av två kanaler, vilka har egna adresser och således kan styras individuellt. Matningsspänningen angavs som 12–28 VDC, vilket överensstämde med kraven som fanns. Dimmern uppgavs kunna dimra i intervallet 100–0 %. Det lägre gränsvärdet bör beaktas eftersom en del dimrar har en relativt hög minimigräns för dimringen och ljuset då, i vissa applikationer, kan upplevas för starkt även om dimmern ger ut lägsta möjliga värde. Denna dimmer kunde alltså dimra ner till 0 %, vilket är optimalt.

Ur databladet hittades ingen information beträffande dimmerns PWM-frekvens. För att undvika flimmar bör denna vara tillräckligt hög. Tillverkaren kontaktades för att reda ut frågan. Företaget visade sig använda en speciell metod för dimringen, där frekvensen är väldigt hög och varierar med dimringsnivå. Frekvensen varierade mellan 12 kHz och 400 kHz, för att åstadkomma hälsosamt och flimmerfritt ljus. Granskas dessa frekvenser mot teorin om flimmar i kapitel 3.1.4, kan konstateras att dimringen, oberoende av vilken modulationsprocent som används, inte borde ha några biologiska effekter alls. Dimmern ansågs med beaktande av ovannämnd information som ett lämpligt alternativ. En dimmer beställdes för att kunna testa tillsammans med armaturerna och säkerställa tillfredsställande resultat. Dimmern testades när den anlät, och resultatet ansågs vara väldigt bra, varför det bestämdes att denna modell används för konstantspänningsarmaturerna. De externa ljuskällorna med sockel skulle dock, när tillhörande armaturer godkänts för installation, testas för att granska att de är kompatibla med dimmerns höga PWM-frekvens.

## **5.4 Uppbyggnad av system**

Med största delen av belysningen specificerad från designern, dimmermodellerna bestämda, och en uppfattning om hur styrningen skulle ske, blev det aktuellt att ta sig an uppbyggnaden av styrningssystemet. Arbetet påbörjades med att reda ut, utgående från inredningsdesignerns planer, vilka belysningsgrupperna är, d.v.s. vilka armaturer som kan styras tillsammans. De armaturer som skall styras tillsammans kan, förutsatt att dimmerns egenskaper och kapacitet tillåter detta, inkopplas till samma dimmer för att spara utrymme och pengar. Inredningsdesignern kontaktades beträffande oklara grupperingar, och efter en tid var det klart vilka armaturer kan styras tillsammans.

Dimrarna från LEDsGO levererades, tillsammans med armaturerna, av inredningsdesignern till det antal som vid detta tillfälle var specificerat. När armaturerna och dimrarna hade anlänt, kunde dessa testas tillsammans för att säkerställa funktionen. För att kontrollera ifall flera armaturer kunde inkopplas i serie till konstantströmsdimrarna, uppmättes spänningen över Deep Ringo-armaturen när denna lyste med full styrka. Mätaren visade ca 20 V. Med tanke på att dimmern kunde leverera upp till 45 V, kunde således två armaturer inkopplas i serie efter dimmern. Under testningen uppmärksammades att dimmern endast har en DALI-adress, vilket innebär att alla tre kanaler styrs tillsammans. Med tanke på att belysningen i båten till stor del bestod av grupper, med ett flertal armaturer i sig, ansågs detta inte vara ett problem.

Följande steg var att designa DALI-nätverken. Som behandlades i kapitel 3.2 finns 64 adresser tillgängliga i ett nätverk. För att underlätta och tydliggöra nätverkets uppbyggnad skapades en lista där såväl konstantströms- som konstantspänningsdimrarna, med tillhörande armaturer, tilldelades adresser. Ett skärmsklipp av listan presenteras i figur 10 nedan. I listan innehar konstantströmsdimrarna en adress, eftersom alla tre kanaler styrs tillsammans, medan konstantspänningsdimrarna innehar skilda adresser för båda kanalerna. I mån av möjlighet placerades två Deep Ringo-armaturer på samma kanal för att spara kanaler. I duschutrymmena används, som tidigare nämnts, den mindre armaturen Jack 1. Denna har samma märkström som Deep Ringo-armaturerna, medan effekten som förbrukar endast är drygt hälften, varför man kan dra slutsatsen att framspänningen över Jack 1 är lägre än den över Deep Ringo. P.g.a. detta kan åtminstone två Jack 1-armaturer också inkopplas i serie efter konstantströmsdimmern.

FWD BOX (DALI_1)					FWD BOX (DALI_2)						
Short Address	Dimmer Nr	Location	Description	Group	Short Address	Dimmer Nr	Location	Description	Group	Short Address	Dimmer Nr
0	C1	Master cabin	Ceiling lights port (2 pcs) Ceiling lights port + stbd (2 pcs) Ceiling lights stbd (2 pcs) Ceiling lights mid (2 pcs)		0	C7	Stbd pullman cabin	Ceiling light fwd Ceiling light aft Ceiling light entrance		0	C17
1	C2		Ceiling lights bed port (1 pc) Ceiling lights bed stbd (1 pc)		1	C8	head	Ceiling light port Ceiling light stbd Ceiling light shower		1	C18
2	V1		Wall lamp port	0	2	V7		Wall lamp		2	C19
3			Wall lamp stbd	0	3		cabin	Courtesy light			
4	V2		Courtesy light		4	V8		Wall lamp fwd	0		
5			SPARE		5			Wall lamp aft	0		
6					6					3	C20
7					7						
8					8						
9					9					4	C21
10	C3	Master head	Ceiling lights head (2 pcs) Ceiling lights toilet (2 pcs) Ceiling lights shower (2 pcs)		10	C9	Port pullman cabin	Ceiling light port fwd Ceiling light port aft Ceiling light entrance		5	V16
11	V3		Wall lamps port (2 pcs)	1	11	C10	head	Ceiling light port Ceiling light stbd Ceiling light shower		6	
12			Wall lamps stbd (2 pcs)	1				Wall lamp		7	
13	V4		Courtesy light					Wall lamp shower		8	
14			SPARE		12	V9		Wall lamp		9	C22
15					13		cabin	Courtesy light			
16					14	V10		Wall lamp fwd	1		
17					15			Wall lamp aft	1	10	C23
18					16						
19					17						
20	C4	Master study	Ceiling lights port (2 pcs) Ceiling lights mid (2 pcs)	2	18					11	C24
					19						

Figur 10. Lista innehållande DALI-adresser för dimrar och tillhörande armaturer.

För varje kabin reserverades ett antal fler kanaler än de som behövdes, för att behålla en tydlig struktur även vid eventuella nya installationer i framtiden. Belysningen i den främsta delen av båten, i huvudsak ägarens områden, placerades på ett nätverk. Ett nytt nätverk utformades för följande sektion med gästkabiner, medan ett tredje skapades för båtens mittsektion, d.v.s. salongen, en mer exklusiv gästkabin samt pentryt med tillhörande matplats för besättningen. Sålunda uppdelades belysningen på tre olika DALI-nätverk. Samtliga nätverk är sammankopplade med belysningsstyrningssystemet, varför övergripande styrningar trots uppdelningen ändå kan uppnås. Belysningen uppdelades på dimrarna så att ett antal lediga kanaler, av såväl konstantströms- som konstansspänningstyp, finns tillgängliga för eventuella tillägg innan båten levereras, vilket av erfarenhet ansågs vara ganska sannolikt. Totalt 14 kanaler lämnades oanvända. Vid ytterligare behov kan flera dimrar installeras och tilldelas reserverade adresser.

Tillsammans med elarbetsledaren undersöktes var systemet skulle placeras. Med tanke på båtens storlek beslöts att systemet bör uppdelas till åtminstone två, eventuellt tre, platser för att förkorta kabeldragningarna. Eftersom besättningens områden upptog bakre delen av båten och dessa inte ingick i systemet ansågs två platser vara det mest ekonomiska alternativet. De två främre DALI-nätverken skulle då inkopplas till samma styrbox, medan det bakre nätverket skulle inkopplas till en styrbox akter om salongen. I salongen, vilken är upphöjd och placerad ovanpå motorrummet, är kabeldragningar svårare att utföra än i övriga utrymmen, varför så mycket material som möjligt bör placeras för eller akter om denna. Huvudboxen, innehållande PLC:n, ritades in ovanför taks kivorna vid besättningens matplats. Denna plats är lättillgänglig och bekväm för inkoppling till extern dator vid konfiguration och eventuell felsökning, samtidigt som taks kivor inte behöver tas ner i gästområdena. Den främre boxen, innehållande busskopplare, placerades under durkarna i en av gästkabinerna. P.g.a. båtens storlek är djupet under durkarna relativt stort, varför placering under durkarna inte sågs som ett problem. Även denna plats är lättillgänglig vid eventuell felsökning.

PLC:n i den bakre boxen kommunicerar med busskopplaren i den främre boxen. Kommunikationen sker över Ethernet-kabel via ett ADS-gränssnitt<sup>9</sup>. Busskopplaren identifierar inkopplade terminaler och översätter dessa in- och utgångar till det språk som används för den övergripande processbilden. Sålunda kan dessa terminaler hittas i mjukvaran när systemet programmeras. Den bakre boxen förses med en DALI-master, medan den främre

---

<sup>9</sup> ADS, *Automation Device Specification*, beskriver ett enhets- och fältbussberoende gränssnitt. Gränssnittet hanterar åtkomsten till olika ADS-försedda enheter, exempelvis PLC:n och busskopplare, som finns i nätverket.

boxen förses med två, eftersom två DALI-nätverk skulle inkopplas till den främre boxen. I boxarna placeras sedan det antal ingångs- och distribueringsterminaler som behövs för strömställarna. Båda boxarna avslutas med en ändterminal. I ett senare skede beslöts att systemet även förses med ett grafiskt användargränssnitt, med vars hjälp systemet kan konfigureras, testas och diagnostiseras från en webbläsare. För att möjliggöra användning av gränssnittet från båtens datorer, behöver belysningsstyrningssystemet befinna sig i samma nätverk som båtens datorer. Därför används en av PLC:ns två Ethernet-portar för att sammankoppla PLC:n med båtens nätverk. Orsaken till användning av ett grafiskt användargränssnitt samt processen vid utformning av detta beskrivs mer utförligt i kapitel 5.8.2.

Dimrarna placeras kabinvist ovanför takskevorna. Detta upplägg görs för att minimera kabeldragningarna. När alla dimrar för en kabin eller ett utrymme placeras tillsammans i detta utrymme, behövs endast en matande kabel från centralen och DALI-kabeln från styrboxen till utrymmet i fråga. På så sätt blir kablarna från dimrarna till armaturerna kortare än om alla dimrar skulle placeras vid styrboxarna. Detta minskar risken för flimmer eller nedsatt ljusstyrka när belysningen dimras, samt för störningar till båtens övriga utrustning. Matningen till de dimrar som är belägna för om salongen tas från en elcentral som är placerad där, medan matningen till dimrarna i salongen och akter om salongen tas från en central precis akter om salongen, vid nedgången till motorrummet. Dimrarna installeras tillsammans med kopplingsplintar på en lätt skiva och skruvas fast i taket, ovanför de löstagbara takskevorna.

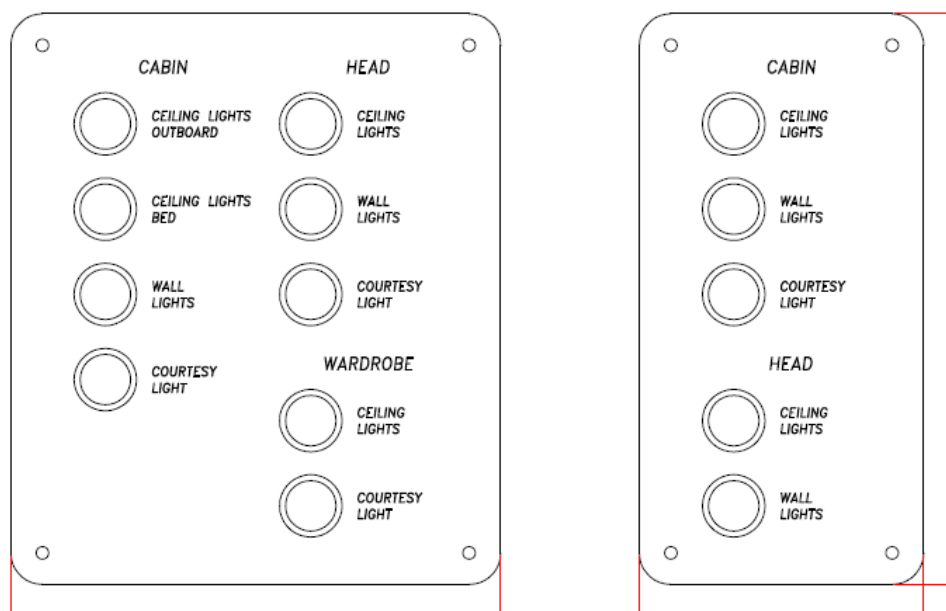
## **5.5 Planering av scenariojusteringar**

Utgående från tidigare mötesprotokoll efterfrågades möjligheten att kunna justera scenarierna kabinvist i efterhand. Hur detta skulle ske fanns dock inte specificerat. Tillsammans med projektledaren beslöts att justeringarna bör ske lokalt, d.v.s. i det utrymme för vilket justeringen gäller, eftersom detta underlättar justeringen då förändringarna är synliga och önskade nivåer lättare erhålls. Vidare beslöts att de lokala justeringsmöjligheterna åstadkoms med hjälp av tryckknappspaneler i varje utrymme. Panelerna placeras undandömda på lämpliga ställen, exempelvis i garderober.

Beträffande den tekniska aspekten, d.v.s. hur justeringarna utförs rent systemtekniskt, fanns ganska fria händer. Belysningen var, som tidigare nämnts, uppdelad på olika grupper. De armaturer som styrs tillsammans kunde således också vad gäller scenarierna justeras tillsammans. För att göra justeringarna så lätta och snabba som möjligt beslöts att pane-

len innehåller en tryckknapp för varje belysningsgrupp. När en tryckknapp hålls påverkad dimras belysningsgruppen i fråga upp eller ner, beroende av i vilken riktning dimringen senast skedde. När tryckknappen släpps sparas gruppens aktuella dimringsnivå till det scenario som för tillfället är aktiverat i utrymmet. Om tryckknappen påverkas med ett snabbt tryck tänds eller släcks belysningsgruppen, och även denna information sparas till scenariot. Sålunda kan scenarierna justeras snabbt och enkelt på de ställen där förändring önskas.

När funktionen hade klargjorts blev det aktuellt att designa dessa tryckknappspaneler. Med tanke på båtens övriga inredning, kunde panelerna tillverkas i tunn metall, med tryckknappar endera i metall eller svart plast. För att underlätta justeringarna kunde en graverad beskrivning, gällande vilken belysningsgrupp som justeras, placeras vid sidan om varje knapp. Lämpliga tryckknappar i plast letades upp på internet. Modellpaneler ritades i AutoCAD för två olika utrymmen, enligt figur 11 nedan. Skissen skickades till besättningen för kommentar. Skissen godkändes med den korrigeringen att tryckknapparna bör vara i metall och inneha samma färg som panelen. För att säkert kunna bedöma panelerna efterfrågades ett provexemplar. En av modellerna måttsattes och skickades för tillverkning och gravering till lokala företag. Panelen beställdes i rostfritt stål och i två olika exemplar, ett med borstad yta och ett med polerad yta.



**Figur 11. Modell av scenariojusteringspaneler.**

När exemplaren anlönt granskades dessa av besättningen. Panelerna upplevdes som aningen stora och tunga med tanke på att vikten är av hög prioritet på varvets segelbåtar. Därför beslöts att panelerna tillverkas av svart plast i stället för metall, och att panelerna bör komprimeras för att upplevas mer diskreta. Knapparna behålls trots denna förändring i metall. När detta klargjorts justerades skissen enligt önskemål och utökades med övriga kabiners och utrymmens paneler. Panelerna måttsattes och därefter var de klara för beställning.

## 5.6 Beställning av komponenter

När systemet var utformat och övriga komponenter specificerade blev det aktuellt att beställa materialet. Allt material som skall beställas till ett projekt specificeras och skickas till projektledaren, vilken i sin tur sänder beställningen till inköpet. PLC-systemets komponenter listades ner och sändes till projektledaren. Den främre boxen behövde 83 digitala ingångar och den bakre 57. För att erhålla ett visst antal lediga ingångar för framtida bruk beställdes sex ingångsterminaler till den främre boxen och fem till den bakre. Den bakre boxen försågs med ett lite större antal lediga ingångar eftersom antalet belysningsgrupper och strömställare i salongen inte var helt specificerad när denna beställning gjordes. Totalt behövdes alltså 140 digitala ingångar och de beställda ingångsterminalerna innehade totalt 176 ingångar, vilket möjliggör eventuella tillägg i framtiden.

Dimrar för downlights hade, som tidigare nämnts, levererats till ett visst antal tillsammans med belysningsarmaturerna. I takt med att belysningsplanerna framskridit, och med tanke på dimrarnas uppdelning mellan olika utrymmen, behövdes dock flera av dessa. Dimrarna, vilka även stöder inkoppling direkt till tryckknappar, beställdes samtidigt till besättningens områden. Behovet kontrollerades och totalt behövdes 47 konstantsströmsdimrar. De redan levererade dimrarnas antal kompletterades med en ny beställning. Samtidigt beställdes också konstantspänningsdimrarna. Modellen från eldoLED stöder inte inkoppling av tryckknappar, vilket betyder att denna modell endast användes för belysningsstyrningssystemet. För systemet behövdes totalt 25 konstantspänningsdimrar. Eftersom det var osäkert ifall ljuskällorna med sockel var kompatibla med denna dimmer, beställdes endast 20 dimrar till i detta skede. Till en del av armaturerna med sockel kunde LED-ljuskällor användas, och dessa kan variera ganska kraftigt vad gäller prestandan vid dimring. Därför beslöts att de externa ljuskällorna, när dessa specificerats och levererats, bör testas med dimmern för att säkerställa god funktionalitet.



Behovet av strömställare från Berker räknades och listades ner. Samtidigt skulle också uttag för såväl 230 V som för ljud och USB beställas. Av strömställarna, med besättningsområdena och övriga styrningar medräknade, behövdes totalt 133 stycken. Av dessa var 42 ämnade för att rotera mellan scenarierna i belysningsstyrningssystemet. Offerten som erhöles återvände för granskning, och när artiklarna kontrollerats och bekräftats skickades beställningen iväg.

Vad gäller ljuskällorna med sockel, fanns ingen specifikation från inredningsdesignern att tillgå. Sålunda skulle även dessa specificeras. Armaturerna för dessa var med socklarna E27, E14 samt BA15d. Utgångsläget var att all belysning skulle vara av LED-typ. Ljuskällorna skulle vara utformade för 24 VDC, bestående av LED och dimringsbara, och med dessa tre krav var utbudet inte väldigt stort. Efter en grundlig informationssökning på internet, beställdes ett flertal ljuskällor med olika sockeltyp från ett par leverantörer för testning. Ljuskällorna anlände och testades. Man kunde konstatera att flera av dessa inte fungerade bra tillsammans med dimmern från eldoLED. När armaturerna för dessa ljuskällor anlände till varvet, några åt gången, uppmärksammades dock att flera av armaturerna hade sockeln, och således även ljuskällan, blottad. Med tanke på detta är vikten av en lyckad dimring ännu högre. Samtidigt uppstod tanken att de LED-ljuskällor som hittats och testats kanske inte var så lämpliga, när dessa inte var estetiskt tilltalande och passade in med övrig inredning.

Tillsammans med projektledaren och elarbetsledaren beslöts så att de armaturer som har ljuskällan blottad och främst används som inredningsdetalj förses med glödlampor i stället för LED. På så sätt uppnås en mer enhetlig upplevelse med tanke på båtens övriga inredning. För att hålla koll på vilka lampor som behövdes skapades en lista för detta ändamål. Här ifylldes kabinvist de armaturer som kräver extern ljuskälla, vilken sockel dessa har, om ljuskällan bör vara dimringsbar, om ljuskällan är synlig samt lämplig effekt för ljuskällan. Utifrån detta söktes upp ett antal olika ljuskällor, såväl med glödljus som med LED. Vissa armaturer krävde även speciella glödlampor, exempelvis med oval form eller spegelförsedd topp. Antalet olika ljuskällor försökte hållas så få som möjligt, för att underlätta hanteringen av reservdelar. I listan kunde till slut antalet olika ljuskällor begränsas till sju stycken, varav fyra var med glödljus och tre med LED. Av LED-ljuskällorna användes de som under testningen med dimmer hade ansetts fungera till belåtenhet. En del av dessa användes även i garderober eller i läslampor, där ljuset inte skulle dimras, och således var dimringsprestanda inget krav här. Glödlamporna består endast av en glödtråd, och kan således dimras utan problem med PWM-teknik, varför dessa kunde beställas utan att testas

innan. I figur 12 nedan syns de olika ljuskällorna som beställdes, dock fattas en från bilden eftersom denna inte för tillfället fanns på lager och skulle levereras i efterhand.



Figur 12. Olika ljuskällor beställdes för olika ändamål.

## 5.7 Ritningstillverkning

Ritningarna påbörjades när idén om hur systemet skulle uppbyggas var klargjord, och fortgick under hela planeringsprocessen i form av tillägg och justeringar. Ritningarna tillverkades i Zuken E<sup>3</sup>.series, eftersom detta program nyligen tagits i bruk i företaget. Zuken E<sup>3</sup>.series är ett program för design av elsystem, kontrollsystem, pneumatik samt hydraulik. Programvaran utgörs av moduler, och i detta projekt användes E<sup>3</sup>.schematic och E<sup>3</sup>.panel. Den förstnämnda fungerar som grund för alla övriga moduler och används för design och dokumentation av olika elscheman och PLC-system. Den senare nämnda används för att placera ut komponenter i elskåp och kopplingsboxar, och möjliggör på så vis en fysisk representation av dessa. Jag hade tidigare inte använt programmet i fråga, varför denna process inleddes med en kort skolning från en kollega.

När en del sidor hade tillverkats och kablarna skulle förses med kabelnummer, uppstod ett litet bekymmer. Eftersom den huvudsakliga elplaneringen utförts av en utomstående underleverantör, användes inte det system för kabelnumrering som var brukligt i varvet. Belysningsystemet i gästområdena får sin spänningsmatning från tolv automatsäkringar, uppdelade till två elcentraler. Enligt varvets egna principer bör utgående från kabelns nummer åtminstone framgå från vilken central eller box samt från vilken säkring kabeln förses med spänning. Systemet som används vid varvet för att tillverka kabelnumreringar begränsar antalet tecken till sju, varför kablarnas nummer bör bestå av sju tecken eller färre. Med tanke på att övriga kabelmärkningarna på båten består av såväl bokstäver som siffror, uppbyggda enligt ett helt annorlunda system, var inte sju tecken tillräckligt för att fortsätta kabelmärkningarna utgående från de matningskablar som försåg belysningsysteme-

met med spänning. Därför uppstod ett behov av att utforma ett numreringsystem, som ger så mycket information som möjligt med beaktande av det utgångsläge som fanns.

Kabelnumreringen utgår från de två boxar som styr belysningsystemet. Den främre boxen gavs nummer 30, och den akre nummer 31. Följande två siffror anger rumsnummer, d.v.s. från vilken dimmerskiva belysningen utgick. På dimmerskivorna hade också placerats små automatsäkringar, eftersom en del av de matande automatsäkringarna var för 16 A, och krävde därför större ledararea. För att kunna använda mindre ledararea på de kablar som utgick från dimmerskivorna, säkrades därför dessa ner. Samtidigt underlättas eventuell felsökning när delar av belysningen kan kopplas från. Denna säkrings nummer utgör den femte siffran i kabelns nummer. De två återstående siffrorna i kabelns märkning är löpande nummer. Exempelvis blev en kabels nummer:

**30 13 1 05**

där 30 anger att kabeln tillhör belysningsystemet och styrs från den främre boxen, 13 anger att belysningen utgår från dimmerskivan placerad i gästlobbyn, 1 anger automatsäkring 1 på dimmerskivan, och 05 är en löpande numrerung.

När kopplingsritningarna tillverkats för vissa utrymmen, i enlighet med den ordning som efterfrågats, sändes dessa till projektledaren för godkännande. Därefter kunde elmontörerna påbörja installationen av systemet i båten. I takt med att flera utrymmen färdigställdes sändes också dessa till montörerna, och i skrivande stund är största delen av belysnings-systemet installerat i båten, dock saknas en del armaturer.

## 5.8 Programmering

När ritningarna färdigställda och installationen påbörjats i båten var det även aktuellt att påbörja programmeringen av systemet. En del funktioner hade förvisso testats tidigare genom att skapa ett testprogram, för att säkerställa att de efterfrågade styrningarna effektivt kunde åstadkommas. I detta kapitel beskrivs de olika delmomenten i att programmera ett fungerande system. I första avsnittet behandlas det huvudsakliga styrprogrammet. I andra avsnittet beskrivs utformningen av ett GUI<sup>10</sup> för systemet, och i det sista avsnittet behandlas konfigurationen av DALI-nätverket.

---

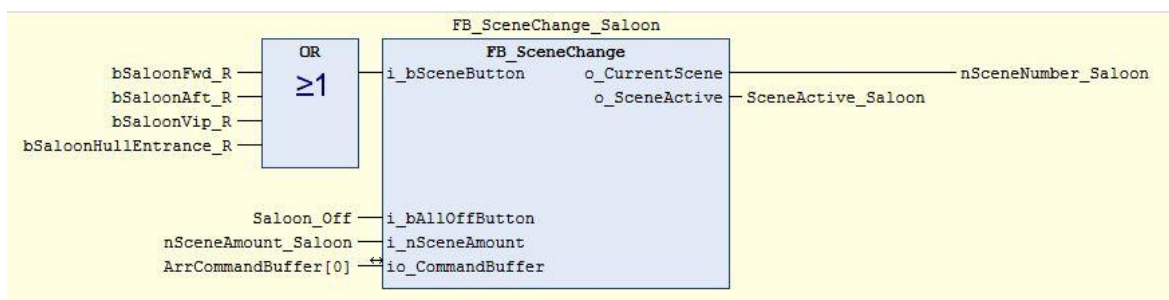
<sup>10</sup> GUI, från engelskans *Graphical User Interface*, är ett grafiskt användargränssnitt, vilket underlättar interaktionen mellan människa och dator. Detta sker typiskt med hjälp av bilder och grafiska element som motsvarar objekt i verkligheten.

### 5.8.1 Programmering av styrprogram

Programmeringen av styrprogrammet utfördes i TwinCAT 3, vilket används tillsammans med PLC-, automations-, och robotiksystem från Beckhoff. Programvaran finns att hämta från Beckhoffs hemsida, och körs integrerad i Microsoft Visual Studio. Som programmeringsspråk användes främst FBD, d.v.s. funktionsblock, eftersom det fanns många färdiga block för DALI-styrning och funktionsblock också hade använts under skolningen tillsammans med Beckhoff Automation.

I det övergripande projektet, d.v.s. för båten i fråga, skapades flera underprogram. Ett program skapades för varje kabin, vilket möjliggör körning av endast en kabin exempelvis vid ibruktagning och felsökning. Med de styrningar som fanns i detta projekt behövs inte nödvändigtvis denna möjlighet, men genom att dela upp projektet i flera program erhålls samtidigt en tydligare och mer organiserad struktur. Dessutom skapades ett program för styrningar och funktioner som berör hela båten, samt ett för DALI-kommunikationen. Varje program som skall köras bör placeras under en *task*, vilken bl.a. definierar hur ofta programmen körs samt med vilken prioritet. Av dessa skapades två stycken, ett för DALI-kommunikationen och ett för övriga program. Den *task* som skapats för DALI-kommunikation gavs högre prioritet och snabbare cykelfrekvens, eftersom detta rekommenderades från Beckhoff Automation.

För styrningen skapades även ett antal funktionsblock. Som exempel kan nämnas ett block som används för att rotera mellan ljusscenerierna i båtens utrymmen, enligt figur 13 nedan. Som indata till detta block ges bl.a. önskat antal scenarier, vilket möjliggör olika antal scenarier för båtens olika utrymmen.



Figur 13. Funktionsblock som skapades för att rotera mellan ljusscenerierna.

### 5.8.2 Utformning av GUI

I normala fall förses monitorerings- och kontrollnätverket i varvets båtar med en VPN-router, vilket möjliggör åtkomst till båtarnas kontrollsystem från varvet. I sådana fall kan även belysningsstyrningssystemet inkopplas till detta nätverk, och på så sätt kan systemet justeras och felsökas från varvet vid eventuella problem. I och med att elplaneringen till denna båt gjordes av en utomstående underleverantör var utgångsläget att denna princip inte tillämpas i detta fall. I stället beslöts att båten förses med ett lättanvänt användargränssnitt, med vilket båtens besättning kan utföra grundläggande justeringar och felsökning. Konfigurationsverktyget som levererades med PLC:n medför även samma möjligheter, men detta är inte riktigt användarvänligt och dessutom dyrare än licensen för det webbase-rade användargränssnittet.

Vid testning av PLC:n hade uppmärksammats att man i TwinCAT kan skapa visualiseringar som sedan kan fungera som användargränssnitt när PLC:n körs. Från leverantörens hemsida hittades dock information om *PLC HMI Web*, som möjliggör körning av visualiseringen i webbläsare. Med hjälp av denna möjlighet behöver således inte programmeringsverktyget öppnas för att köra visualiseringen. Webbvisualiseringens kompatibilitet med båtens PLC säkerställdes med leverantören, och svaret var att dessa fungerar tillsammans. Sålunda beslöts att ett GUI utformas för justeringar, diagnostik och felsökningar, och att detta körs från båtens webbläsare. När licensen köpts testades hur visualiseringarna kunde uppbyggas. Till en början fungerade inte webbvisualiseringen alls, men efter en del råd från leverantören fungerade visualiseringen och utformningen av användargränssnittet kunde påbörjas.

I användargränssnittet skapades en startsida, innehållande en ram som sedan kan växla mellan de resterande sidorna. För användargränssnittet behövde också skapas ett antal funktionsblock och funktioner. Funktionerna tillverkades undantagsvis med programmeringsspråket *Structured Text*, eftersom önskad funktionalitet, innehållande bl.a. loopar och datamatriser, uppnåddes enklare med detta språk.

### 5.8.3 Konfiguration av DALI-nätverk

DALI-nätverket kan konfigureras såväl från konfigurationsverktyget som levererades med PLC:n, som med det användargränssnitt som skapades för båtens webbläsare. En del av dimrarna kunde konfigureras innan systemet installerats i båten. På detta sätt förenklas processen när endast en dimmer är inkopplad åt gången och arbetet kan utföras i mer be-

kväma utrymmen. De dimrar som inte levererats när systemet installerades i båten kan konfigureras med hjälp av användargränssnittet när systemet tas i bruk.

För att få DALI-nätverket att fungera behövde ett antal inställningar göras. För det första behöver varje dimmer eller dimmerkanal ges en individuell adress, utgående från den lista som skapats tidigare (figur 10). Eftersom en del av belysningen styrs som grupper behöver dessa också tilldelas gruppadresser. Samtidigt kan standardscenariovärden ges för önskat antal scenarier, och på så vis underlättas justeringen när systemet tas i bruk. För varje dimmer eller dimmerkanal anges även dimringsegenskaper, bl.a. minimi- och maximinivå för dimringen samt dimringshastighet. Miniminivån för dimringen behöver justeras för en del armaturer, eftersom den lägsta möjliga nivån kan få armaturen att slockna helt, vilket inte är önskvärt när armaturerna skall dimras från scenariojusteringspanelerna.

## **6 Resultat**

Resultatet av detta examensarbete kan uppdelas i två delar; Dels har ett belysningsstyrningssystem tagits fram för användning i varvets båtar, och dels har en segelbåt i storleksklassen 150–200 fot försetts med systemet i fråga. Nedan behandlas dessa delmoment lite mer utförligt. I avsnitt 6.1 behandlas resultatet av examensarbetets första del, och i avsnitt 6.2 resultatet av arbetets andra del.

### **6.1 Utveckling av system**

Ett belysningsystem har tagits fram för användning i varvets båtar. Systemet bygger på DALI-teknik och styrs från en PLC. Som leverantör valdes Beckhoff Automation, eftersom denna leverantör erbjöd möjligheter för DALI-styrning, samtidigt som varvets preferenser beträffande leverantör för det övergripande PLC-systemet också börjat riktas mot Beckhoff Automation. Komponenterna valdes utgående från leverantörens produktkatalog, i enlighet med de krav och önskingar som fanns på det system som skulle tas fram.

Tack vare PLC:n som styrenhet erhöles ett flexibelt system som vid behov kan sammankopplas, och kommunicera, med övriga komponenter och system. Förutom i den båt som omnämns i detta arbete, har systemet även installerats i ett par mindre båtar. I en av dessa önskades dataöverföring mellan belysningsstyrningssystemet och båtens övergripande PLC-system, vilket tidigare system inte varit kapabelt att hantera. DALI är väl lämpat för de ändamål som finns i båtarna. Med tanke på teknikens enkla och flexibla nätverksupp-

byggnad kan ett system med korta kabeldragningar och låg vikt byggas upp, vilket är av stor vikt vid varvet. Systemet är ekonomiskt fördelaktigt jämfört med tidigare system. I tabell 2 nedan presenteras en prisjämförelse mellan det system som tagits fram och det system som användes på två föregående båtar. Utrustningens typer och kvantiteter utgår i båda fallen från de behov som fanns på den båt som behandlats i detta arbete. Som framgår ur tabellen kan systemet bidra till en betydande kostnadsbesparing.

**Tabell 2. Prisjämförelse mellan nuvarande och tidigare system.**

Beckhoff PLC				Empiribus			
	pris/st	antal	tot.		pris/st	antal	tot
CX9020 PLC	470,25	1	470,25	MCU master	548,80	1	548,80
BK9050 busskopplare	142,80	1	142,80	DCM	1200,50	10	12005,00
KL1809 ingångsterminal	55,25	11	607,75	Stöpsel	10,29	20	205,80
KL9100 strömförsörjningsterminal	10,86	2	21,72	Ask med stift	6,86	10	68,60
KL9188 distributionsterminal	15,73	6	94,38				
KL9010 ändterminal	8,04	2	16,08	LED driver	11,48	116	1331,68
KL6811 DALI-masterterminal	175,10	3	525,30				
TC1200-0030 Licens för PLC	75,00	1	75,00			Totalt	<b>14 159,88 €</b>
TF1810-0030 Licens för HMI-Web	80,00	1	80,00				
Ledsgo konstantströmsdimmer	58,72	32	1879,04				
Eldoled konstantspänningsdimmer	87,00	25	2175,00				
		Totalt	<b>6 087,32 €</b>				

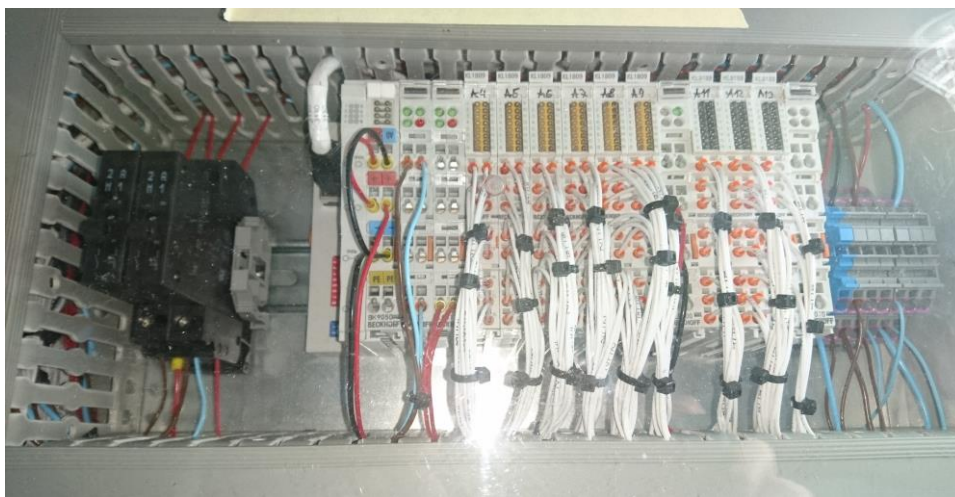
Utöver ett mer kostnadseffektivt system, erhöles även mer anpassad funktionalitet. I och med att DALI-dimrar erbjuds av ett stort antal tillverkare, och ofta i ett flertal modeller av dessa, är valmöjligheten stor när det gäller att bestämma vilka dimrar som skall användas. Sålunda kan dimrarna för varje projekt anpassas till de armaturer som används, såväl i fråga om dimringsteknik som i fråga om strömbegränsning eller matningsspänning. Dessutom kan systemet uppdelas till önskat antal platser, enligt de preferenser som finns. Uppdelning till fler platser medför kortare kabeldragningar, medan vikten och priset för komponenterna blir högre. Samtidigt krävs mindre utrymme för varje enskild styrbox, medan det totala utrymmet som krävs för systemet blir större. En mer centraliserad uppbyggnad ger i stället upphov till motsatt påverkan. Sålunda kan denna balansgång justeras för varje specifikt projekt.

## 6.2 Realisering av system

Systemet som beskrivs i ovanstående avsnitt har realiserats ombord på en skräddarsydd segelbåt i storleksklassen 150–200 fot. Systemet möjliggör dimring av alla armaturer ombord, med garderobbelysning och läslampor undantagna eftersom dessa inte behövde dim-

ras. Belysningen, vilken huvudsakligen bygger på LED-teknik, kan dimras utan att ge upphov till flimmer, samtidigt som låga dimringsnivåer är möjliga.

Styrsystemet är uppdelat till två platser; En box är placerad för om salongen och en akter om salongen. Dessa kommunicerar med varandra för att få ett enhetligt system och möjliggöra övergripande styrningar. I figur 14 nedan syns den främre styrboxen sedan den blivit installerad i båten av montörerna. Denna box består av en busskopplare, vilken kommunicerar med PLC:n i den aktere boxen. Tack vare strömförsörjningsterminalen, vilken följer efter de sex ingångsterminalerna och förses med spänning från en egen automatsäkring (till vänster i figuren), kan de tre terminalerna som förser tryckknapparna i båten med spänning kopplas från vid eventuell felsökning.

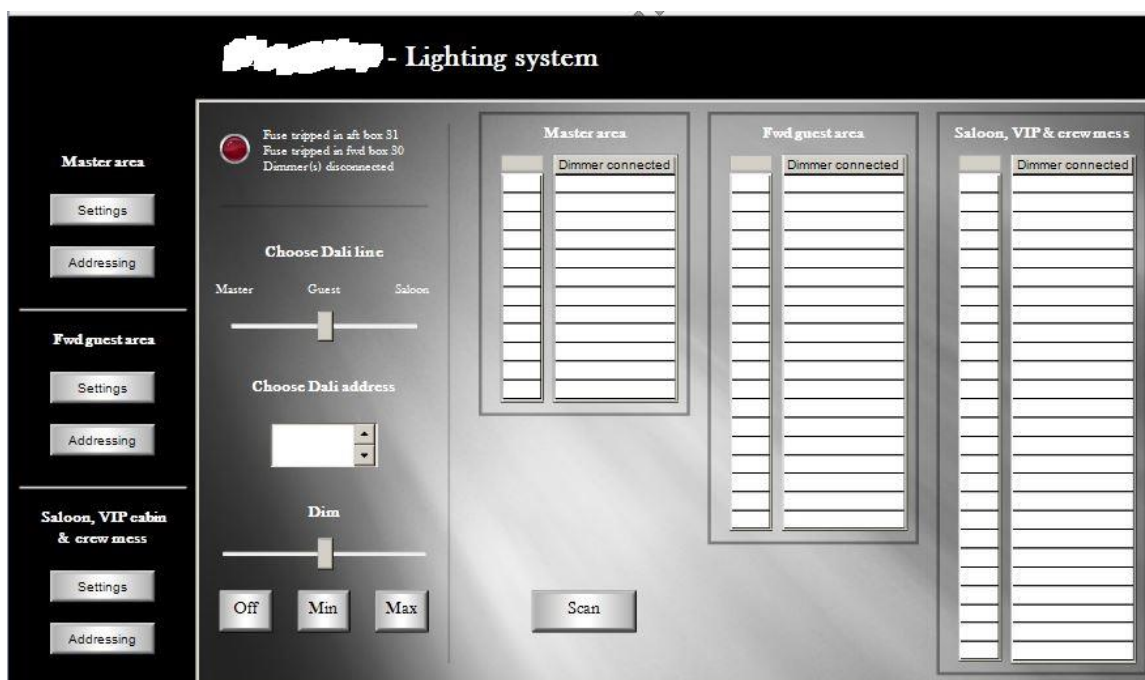


**Figur 14. Styrboxen för om salongen installerad i båten.**

Dimrarna består av såväl konstantströmsdimrar som konstantspänningsdimrar, valda utgående från de armaturer som används i båten. Dimrarna är placerade kabinvist ovanför takskivorna. På detta sätt krävdes inga långa kabeldragningar för armaturerna, vilket också förbättrar dimringsprestandan för PWM-reglerade armaturer. Med tanke på att båten är utrustad med ett flertal navigations- och kommunikationssystem minskar upplägget även riskerna för högfrekventa störningar, orsakade av dimrar med hög PWM-frekvens, till dessa system. Exempel på en färdigställd dimmerskiva hittas i bilaga 2 (övre bilden). Belysningen styrs som scenarier, och dessa roteras med vridbrytare placerade lättillgängliga i varje kabin eller utrymme. Scenarierna kan justeras för varje kabin eller utrymme med tryckknappspaneler undångömda i garderob eller annat passande ställe. Scenariot uppdateras automatiskt när tryckknappen avaktiveras, efter att denna använts för att dimra, tända eller släcka en belysningsgrupp. En installerad tryckknappspanel finns också till påseende i bilaga 2 (nedre bilden).



Systemet är försett med ett GUI, d.v.s. ett grafiskt användargränssnitt, vilket kan köras från webbläsaren i någon av båtens datorer. Användargränssnittets startsida syns i figur 15 nedan, och denna används främst för diagnostik. De tre DALI-nätverken skannas regelbundet, för att kontrollera att alla dimrar är inkopplade och fungerar. Vidare kan önskad dimmer eller dimmerkanal, från alla tre nätverk, testas manuellt, vilket underlättar konfiguration och felsökning. I menyn till vänster kan den bild som visas i startsidans fönster växlas. För varje nätverk finns en sida för adressering och en sida för inställningar. Vid adressering kan dimrarna tilldelas och fråntas individuella adresser, samt inkluderas i eller exkluderas från belysningsgrupper. Inställningar som kan göras för dimrarna omfattar bl.a. mini- och maximinivå för dimringen samt dimringshastighet.



Figur 15. Startsidan i det GUI som kan köras från webbläsare på båtens datorer.

För hela systemet levererades kopplingsritningar och panellayouter, tillverkade i Zuken E3.series. Ritningarna är strukturerade utrymmesvist, så att rätt sida snabbt skall hittas. Från kopplingsritningarna fås nödvändig information vad gäller uppbyggnad och inkoppling av spänningsmatningar, DALI-nätverk och PLC-system, samt kabelnummer för belysningsystemets samtliga kablar. Ritningarna omfattar även en översiktsbild av båten, ur vilken framgår styrboxarnas och dimmerskivornas placering. På detta sätt underlättas eventuella servicearbeten och felsökningar i framtiden.

## 7 Diskussion

Examensarbetet utfördes på uppdrag av Flink Engineering Ab och gjordes som underleverantörstjänst åt Baltic Yachts Ab. Båtarna vid varvet hade tidigare haft oändamålsenliga belysningsstyrningssystem eller inga alls. Detta utgjorde grunden för mitt arbete. Arbetet har behandlat processen vid framtagning av ett nytt, ändamålsenligt belysningsstyrningssystem för varvets båtar, samt hur detta system har realiserats i en segelbåt i storleksklassen 150–200 fot. De val som tagits inom olika områden har tagits med beaktande av teorin förknippad med områdena i fråga, och denna teori har presenterats i arbetet. Slutligen har resultatet av arbetet presenterats.

Som mål för arbetet var dels att besvara de tre frågor som formulerats i problemformuleringen (kapitel 1.1), och dels att ha ett fungerande belysningsstyrningssystem, med tillhörande kopplingsritningar, ombord på den segelbåt som börjat ta form vid varvet när arbetet inleddes. Syftet med rapporten var att redogöra för problemen, beskriva lösningen av dessa, samt visa på resultatet. Examensarbetet har uppfyllt de båda delmålen. Ett system har tagits fram för belysningsstyrning i varvets båtar. Systemet i fråga har även realiserats i den båt som nämndes ovan, och väntar i skrivande stund på ibruktagnig. Efter att ha läst denna rapport, borde läsaren även ha fått en någorlunda klar uppfattning beträffande arbetets syfte, mål, utförande och resultat.

Arbetets första del, d.v.s. utveckling av ett belysningsstyrningssystem lämpat för varvets båtar, vilken behandlas i kapitel 4, jämförde ett antal alternativ vid val av teknik för systemet. Jämförelsen omfattade tre alternativ. Säkerligen kunde betydligt fler tekniker eller system ha använts för att uppnå önskade styrningar. Jämförelsen gjordes dock med de tekniker som jag kände till sedan tidigare eller efter en tid av informationssökning på Internet. Med detta få antal alternativ erhöles ändå ett fungerande system, vilket presenterades i resultatet.

För systemet valdes DALI-teknik, och styrning från en PLC. DALI medför enkla och flexibla installationer, i enighet med teorin i kapitel 3.2, och detta mottogs även med uppskattning av varvets elmontörer. Samtidigt medför PLC-styrningen möjligheter till avancerade styrningar och sammankoppling med övriga system. Förutom den båt som har behandlats i detta arbete, har systemet även installerats i två mindre båtar. I en av dessa kom detta uppbygg väl till användning när kunden önskade speciella belysningsstyrningar, täckande hela båten. I båda dessa fall har systemet även sammankopplats med båtens övergripande PLC-system, så att delar av belysningen kan styras från båtens monitorer. Sålunda verkar syste-

mets uppbyggnad ha varit lämplig för de ändamål som finns i varvet. Samtidigt har en båt under byggnad försetts med ett annat system, och detta var en viktig påminnelse om verkligheten. Ibland har kunderna speciella krav vad gäller leverantör av olika system, och så skedde också för denna båt. Sålunda bör inte förväntas att ett system utformat för ett visst ändamål alltid kommer att användas i situationer där det skulle vara lämpligt.

Framtida kunder kommer antagligen även att ha ytterligare krav och önskningar på belysningen, varför systemet ifall det fortfarande skall användas bör utvecklas i enlighet med dessa behov. I en båt som för tillfället är under planering är den preliminära planen att belysningen, förutom med traditionella tryckknappar även skall styras från surfplattor tillsammans med gardiner, audio- och videosystem, ventilation, m.m. Sådana system finns på marknaden för husinstallationer, men de preferenser som finns i varvet ger upphov till ett annorlunda behov. Sålunda kunde ytterligare utveckling av systemet, med beaktande av ovannämnd information, lämpligtvis fungera som en fortsättning på detta arbete.

Det har varit givande att utföra detta arbete åt Flink Engineering, för båtarna vid Baltic Yachts. Jag har jobbat för uppdragsgivaren under hela studietiden, och delvist med uppgifter inom belysning. Fördjupningen i den teori som ligger till grund för arbetet har dock betydligt utvecklat min kunskap inom de områden som behandlats. För arbetet gavs mig fria händer, och jag anförtroddes utföra de olika momenten och självständigt välja vilka metoder som används, vilket ökade prestationsviljan och höll motivationen vid liv. Personalen på företaget har dock varit väldigt hjälpsamma och bidragit med sin expertis när denna behövts.

Lyxbåtsindustri, belysning och styrsystem är alla områden som intresserar mig, varför jag anser detta arbete ha varit intressant. I lyxbåtsbranschen är kundernas krav och önskningar, i och med att båtarna skräddarsys, väldigt varierande samtidigt som utrymmet är begränsat och låg vikt eftersträvas, vilket gör att nya lösningar ständigt bör sökas. Sålunda hålls intresset uppe. Planering av belysningsstyrningar är motiverande, eftersom resultatet av arbetet tydligt kan uppfattas. Dessutom kan belysningsstyrningar, med tanke på estetik och trivsel, användas för att anpassa belysningen för olika ändamål eller för att framhäva speciella objekt, vilket medför att arbetet balanseras när man även får använda sina kreativa färdigheter. Slutligen är styrsystem något som intresserat mig sedan grundskolan, och jag trivs med att fördjupa mig i de problem som finns för att sedan försöka lösa dessa. Med detta sammantaget var arbetet väldigt passande för mig, och jag skulle gärna jobba med liknande uppgifter i framtiden.

## 8 Källförteckning

Aladov, A. V. o.a., 2010. On modern high-power LEDs and their lighting application. *Light & Engineering (Svetotekhnika)*, 18(3), pp. 16-29.

Baltic Yachts, 2017. *About Us*. [Online]  
<https://www.balticyachts.fi/about-us/> [Använd 6 mars 2017].

Beckhoff Automation GmbH, 2010. *DALI - digital standard for room-related light management*. [Online]  
[https://download.beckhoff.com/download/document/Application\\_Notes/DK9222-0810-0031.pdf](https://download.beckhoff.com/download/document/Application_Notes/DK9222-0810-0031.pdf) [Använd 24 januari 2017].

Boyce, P. R., 2014. *Human Factors in Lighting*. 3 red. Boca Raton: CRC Press.

Flink Engineering, 2016. *Företagspresentation*, Jakobstad: u.n.

Haitz, R. H., Craford, M. G. & Weissman, R. H., 1995. *Handbook of optics, Chapter 12 Light emitting diodes*. 2 red. San Jose, California: Hewlett-Packard Co..

Interactive Technologies, 2016. *DMX512-A Standard Wiring Practice*. [Online]  
<http://bit.ly/2ps7TQ3> [Använd 6 april 2017].

Juntunen, E., 2014. *From LED die to a lighting system - Performance improvement in LED lighting by means of thermal management and smart control*, Esbo: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

Kasap, S., 2001. *pn JUNCTION DEVICES AND LIGHT EMITTING DIODES*, Canada: University of Saskatchewan.

Khan, M. N., 2014. *Understanding LED Illumination*. Boca Raton: CRC Press.

Lehman, B. & Wilkins, A. J., 2014. Designing to Mitigate the Effects of Flicker in LED Lighting. *IEEE Power Electronics Magazine*, 5 September.

Lutron, 2010. *DMX-512 Fundamentals*. [Online]  
[http://www.lutron.com/en-US/Education-Training/Documents/DMX%20webinar\\_7-29-2010.pdf](http://www.lutron.com/en-US/Education-Training/Documents/DMX%20webinar_7-29-2010.pdf) [Använd 6 april 2017].

OSRAM Opto Semiconductors, 2013. *Electrical Characteristics of LEDs*. [Online]  
[https://ledlight.osram-os.com/wp-content/uploads/2013/01/OSRAM-OS\\_LED-FUNDAMENTALS\\_Electrical-Characteristics-of-LEDs\\_v1\\_03-07-11\\_SCRIPT.pdf](https://ledlight.osram-os.com/wp-content/uploads/2013/01/OSRAM-OS_LED-FUNDAMENTALS_Electrical-Characteristics-of-LEDs_v1_03-07-11_SCRIPT.pdf)  
[Använd 13 januari 2017].

Schiller, B., 2016. *Understanding the basics of programming lighting with DMX-512*. [Online]  
<http://pro.harman.com/insights/entertainment/touring/understanding-the-basics-of-programming-lighting-with-dmx-512/> [Använd 6 april 2017].

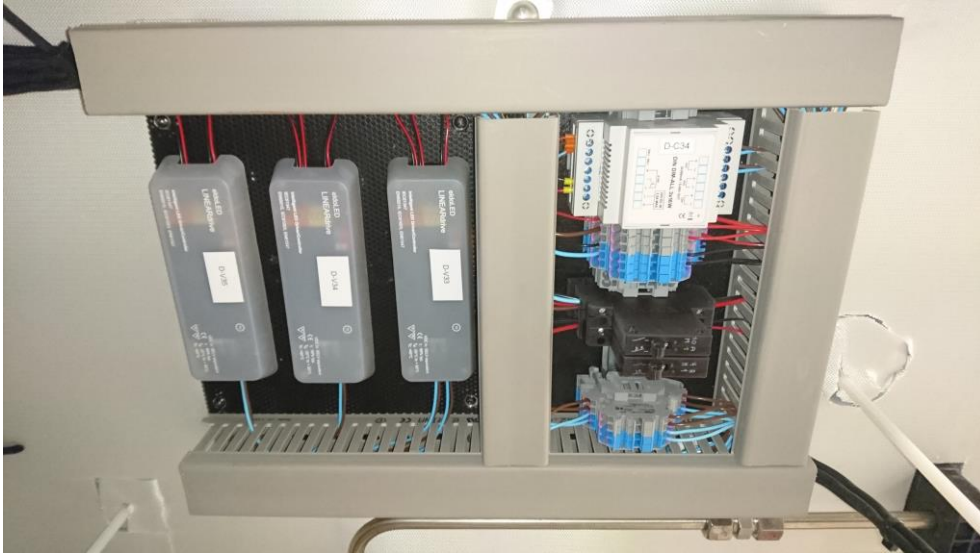
Tridonic GmbH & Co KG, 2013. *DALI manual*. [Online]  
[http://www.tridonic.com/ae/download/technical/DALI-manual\\_en.pdf](http://www.tridonic.com/ae/download/technical/DALI-manual_en.pdf)  
[Använd 24 januari 2017].

Wilkins, A., Veitch, J. & Lehman, B., 2010. *LED Lighting Flicker and Potential Health Concerns: IEEE Standard PAR1789 Update*, u.o.: IEEE Standards Association.

Winder, S., 2017. *Power Supplies for LED Driving*. 2 red. Oxford, United Kingdom: Elsevier Ltd.

ZWEI - German Electrical and Electronic Manufacturers' Association, 2001. *DALI Manual*. [Online]  
[http://www.dali-ag.org/fileadmin/user\\_upload/pdf/news-service/brochures/DALI\\_Manual\\_engl.pdf](http://www.dali-ag.org/fileadmin/user_upload/pdf/news-service/brochures/DALI_Manual_engl.pdf) [Använd 25 januari 2017].

Room Nr	Room name	Nr	Description	Deltaflight Deep Ringo LED Downlight	BCM Jack 1 Downlight IP65	Deltaflight BOXX RB Picture light	Savage Nano Atlantic	BCM LED Line Three 270mm	BCM LED Line Three 520mm	Hinkley Hardy Island Courtesy light	Other (W)	Power/ group	Amps	LEDsGO 3x16W	EkoLED 220D	Centralupi CLL-CH1	Switch porcelain black		
1	Master cabin	1	Ceiling light outboard	6								42,0							
		2	Ceiling light bed	4								28,0							
		3	Wall light									20,0			2	2			3
		4	Courtesy light						6			24,0							
											114,0	4,8							
2	Master head	1	Ceiling light	4	2							36,0							
		2	Wall light									100,0			1	2			1
		3	Courtesy light						2			8,0							
											144,0	6,0							
3	Master study	1	Ceiling light	5								35,0							
		2	Courtesy light						2			8,0							2
		3	Picture light			2						22,0							
											65,0	2,7							
4	Master wardrobe	1	Ceiling light	3								21,0							
		2	Courtesy light						3			12,0			1	1			1
											33,0	1,4							
5	Stbd pullman cabin	1	Ceiling light	3								21,0							
		2	Wall light									50,0							2
		3	Courtesy light						3			12,0							
											83,0	3,5							
6	Stbd pullman head	1	Ceiling light	2	1							18,0							
		2	Wall light									30,0							1
											48,0	2,0							
7	Port pullman cabin	1	Ceiling light	3								21,0							
		2	Wall light									50,0							2
		3	Courtesy light						3			12,0							
											83,0	3,5							
8	Port pullman head	1	Ceiling light	2	1							18,0							
		2	Wall light									30,0							1



**Bilaga 2**

