

Intelligent belysningsstyrning för kontorsmiljöer



William Olsson
Eric Månsson

Division of Industrial Electrical Engineering and Automation
Faculty of Engineering, Lund University



LUNDS
UNIVERSITET

Intelligent belysningsstyrning för kontorsmiljöer

William Olsson, Eric Månsson

2025-06-10

Avdelningen för industriell elektroteknik och
automation (IEA), Ingenjörsektionen, LTH,
Lunds Universitet SE-221 00 Lund, Sweden

© Copyright Eric Månsson & William Olsson

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg

Lunds Universitet

Box 882

251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering

Lund University

Box 882

SE-251 08 Helsingborg

Sweden

Tryckt i Sverige

Lunds Universitet

Helsingborg 2025

Nyckelord

Intelligent belysning, DALI-2, energibesparing, byggnadsautomation, PLC,
TwinCAT 3

Abstract

This thesis addresses the development of an intelligent light control system at Beckhoff Automation AB:s office in Malmö. The purpose of the thesis is to decrease the energy consumption without compromising the usability by automating the light control with occupancy sensors, light level measurements and predetermined light scenarios. The solution is based on a Beckhoff PLC-system, TwinCAT 3 and the DALI-2-protocol with a selection of function blocks found in Beckhoff libraries. The thesis contains literary studies, analysis of work environment requirements, requirement specification, system design, testing and implementation. The result is a scaleable and modular software solution which cooperate with already implemented building automation and leaves room for future expansions such as HMI-integration. Preliminary testing indicates that the solution could make it possible for Beckhoff to decrease their energy consumption by up to 30%, while maintaining or even increasing user comfort. And at the same time the system works as a demonstration platform for potential costumers.

Sammanfattning

Detta examensarbete behandlar utvecklingen av ett intelligent belysningssystem på Beckhoff Automation AB:s kontor i Malmö. Syftet är att minska energiförbrukningen utan att kompromissa användarkomforten, genom att automatisera styrningen av kontorets belysning med hjälp av närvarodetektering, ljusnivåmätningar och fördefinierade ljusscenarier. Projektet programmeras via Beckhoffs PLC-system, TwinCAT 3 och DALI-2-protokollet, samt ett urval av funktionsblock från Beckhoffs bibliotek. Arbetet innefattar litteraturstudier, analys av arbetsmiljökrav, kravspecifikation, systemdesign, tester och implementering. Resultatet är en skalbar, modulär mjukvarulösning som samverkar med befintlig fastighetsautomation vilket möjliggör framtida utbyggnad av exempelvis HMI-integration. Projektet kommer reducera kontorets energiförbrukning upp till 30%, medan användarkomforten ökar eller bibehålls. Dessutom fungerar det som en demonstrationsplattform för potentiella kunder.

Acknowledgments

Vi vill tacka Beckhoff Automation AB för möjligheten att utföra detta arbete.

Vi vill tacka Daniel Jovanovski och Fredrik Jönsson för hjälp och handledning under examensarbetets gång.

Vi vill tacka vår handledare Erik Ottosson för hjälp och stöttning under arbetets gång, samt Ulf Jeppsson för rollen som examinerare.

LTH 2025,

Eric Månsson & William Olsson

Innehåll

1 Inledning	11
1.1 Syfte	11
1.2 Disposition	11
1.3 Arbetsfördelning	12
2 Bakgrund	13
2.1 Beckhoff	13
2.2 Tidigare arbeten med liknande mål	15
2.3 Minskad energiförbrukning	15
2.4 Arbetsförhållanden	16
2.5 Byggnaden	16
2.5.1 Kontor	17
2.5.2 Toalett	19
2.5.3 Korridor	19
2.6 Sensorer och lampor	20
3 Problemformulering	21
3.1 Problemformulering	21
3.2 Avgränsningar	22
4 Teoretisk bakgrund	23
4.1 PLC	23
4.2 Kommunikationsbussar	24
4.3 Överföringsprotokoll	24
4.4 TwinCAT 3	25

4.5	EtherCAT	26
4.6	DALI-2	28
4.6.1	Allmänt om DALI-2	28
4.6.2	Scener och grupper	29
4.6.3	Adressering	30
4.6.4	Varför använda DALI-2	31
4.6.5	Skillnaden mellan DALI version 1 och DALI-2	32
4.6.6	Funktionalitet och användning	34
4.6.7	Installationsaspekter och krav	35
4.6.8	Felsökning och underhåll : Hur felsöks DALI-2-enheter?	36
4.6.9	Certifiering och standarder	36
4.6.10	Användarupplevelse och gränssnitt	37
4.7	Givare och luxmätare	37
4.8	Datastrukturer	37
4.8.1	ST_DALIControlGearSettings	38
4.9	Funktionsblock från Beckhoff	39
4.9.1	Esylux 360	39
4.9.2	Dimmer switch	40
4.9.3	To Push Button State	41
4.9.4	Get Settings	41
4.9.5	Set Settings	42
5	Metod	43
5.1	Kodstruktur	47
5.2	Kravspecifikation	47
5.2.1	Generellt för samtliga rum	48

5.2.2	Laborationssal	48
5.2.3	Kontor	48
5.2.4	Korridor	49
5.3	Källkritik	49
6	Resultat	51
6.1	Funktionsblock	51
6.1.1	Office	53
6.1.2	Double office	55
6.1.3	Hallway	56
6.1.4	Presence	58
6.2	Energiförbrukning	59
7	Slutsats	61
7.1	Sammanfattande slutsats	61
7.2	Felkällor	62
7.3	Begränsningar	63
7.4	Framtida förbättringar	64
7.5	Avslutande reflektion	65
8	Bilagor	70
	Appendix	76
A	Strukturer	76
A.1	ST_DALIControlGearSettings	76
B	Funktionsblock	78

B.1	FB_DALI_ESYLUX_PD_C_360_BMS	78
B.2	FB_DALI102DIMMER1SWITCH	80
B.3	FB_DALI_HELVAR8BUTTONMODULE	81
B.4	FB_DALI_ToPushButtonState	82
B.5	FB_DALI102GetSettings	82
B.6	FB_DALI102SetSettings	83

Akronymlista

Förkortning	Betydelse
PLC	Programmable Logic Controller – Programmerbart styrsystem för automation
HMI	Human Machine Interface – Människa-maskin-gränssnitt
DALI	Digital Addressable Lighting Interface – Digitalt styrsystem för belysning
DALI-2	Andra generationen av DALI med förbättrad funktionalitet och standardkrav
ST	Structured Text – Textbaserat PLC-programmeringsspråk enligt IEC 61131-3
CFC	Continuous Function Chart – Grafiskt programmeringsspråk för PLC enligt IEC 61131-3
IEC	International Electrotechnical Commission – Internationell standardiseringsorganisation för elteknik
EtherCAT	Ethernet for Control Automation Technology – Realtidsprotokoll utvecklat av Beckhoff
LUX	Ljusintensitet (lumen per kvadratmeter)
FB	Function Block – Modulär kodkomponent i PLC-programmering
IPC	Industrial PC – Industriell dator som styrsystem
I/O	Input/Output – In- och utgångar till styrsystem
TwinCAT	The Windows Control and Automation Technology – Beckhoffs utvecklingsmiljö för realtidsstyrning av PLC-system

1 Inledning

1.1 Syfte

Detta projekt behandlar automatisk belysning på Beckhoff Automation AB's kontor i Malmö. Projektet är ett examensarbete utfört via Lunds tekniska högskola, Campus Helsingborg. Intelligent belysning är fokuset för examensarbetet med målsättning om minskad energiförbrukning samt förbättrad eller bibehållen användarkomfort. Beckhoff Automation AB prioriterar arbete med energiförbrukning för att minska fasta utgifter samt minska företagets ekologiska fotavtryck.

1.2 Disposition

Uppsatsens struktur ger tydlig och logisk vägledning genom arbetets olika delar. Efter inledande presentation av syfte och disposition presenteras bakgrunden med relevant tidigare teori och tidigare arbeten. I bakgrunden beskrivs Beckhoff Automation AB och den tekniska kontexten för projektet, samt teorier om ljusets påverkan på arbetsförhållanden.

Under problemformuleringen definieras centrala frågeställningar och mål för arbetet, samt klargörs det vilka avgränsningar som gjorts.

Den teoretiska bakgrunden ger därefter djupare inblick i samtliga tekniska komponenter som använts, så som PLC, kommunikationsbussar och systemkomponenter som användes i systemdesignen.

Metodkapitlet beskriver valda arbetsmetoder, litteraturstudier samt systemdesignen, även testning och implementeringen beskrivs. Resultaten av tes-

terna och implementeringen redovisas under resultat och slutsatser.

Avslutningsvis sammanfattas arbetet under slutsats och diskussion, där arbetets betydelse, eventuella förbättringar och förslag för vidare utveckling behandlas. Uppsatsen avslutas med bilagor och referenser som stödjer arbetets genomförande.

1.3 Arbetsfördelning

	William Olsson	Eric Månsson
Analys	50	50
Konstruktion	60	40
Implementation	40	60
Testning/Utvärdering	60	40
Rapport och presentation	40	60
Poster	50	50

Tabell 1: Arbetsfördelning mellan William Olsson och Eric Månsson är en grov uppskattning, angiven i procent av det totala arbetet

2 Bakgrund

I följande avsnitt presenteras den teoretiska bakgrund som ligger till grund för arbetet. Först beskrivs Beckhoff Automation AB översiktligt samt beskrivs den hårdvara och teknologier företaget använder. Sedan beskrivs tidigare arbeten med liknande mål. Därefter behandlas teorier och metoder för att minska energiförbrukning genom automatiserade belysningssystem och hur dessa kan bidra till förbättrade arbetsförhållanden. Slutligen diskuteras belysningens betydelse för både energioptimering och arbetsmiljö, vilket är centralt i föreliggande examensarbete.

2.1 Beckhoff

Beckhoff Automation AB är ett automationsföretag med rötter i Tyskland. Idag är Beckhoff ett internationellt företag. Beckhoff producerar och utvecklar bland annat PLC:er, IPC:er och utvecklingsmiljön TwinCAT 3. Utöver sina produkter erbjuder Beckhoff tekniskt stöd till sina kunder [1]. Beckhoff förespråkar minskade ekologiska fotavtryck inom företaget. Vid byggnation av kontoret i Malmö eftersträvades miljöcertifiering, vilket byggnaden fick [2].

År 2022 stod Beckhoff Automation ABs kontor i Malmö färdigt. Under byggandet av sitt kontor såg Beckhoff till att infoga några av sina produkter i fastigheten, bland annat PLC:er. Med PLC:erna styrs bland annat solavskärmningen på byggnaden och kommande projekt ska implementera intelligent belysning.

Beckhoff [2] berättar att under de första åren på det nya kontoret fanns ingen

implementerat styrning till belysningen. Belysningen stod igång 24 timmar om dygnet, sju dagar i veckan. Beckhoff [2] menade på att med den alltmer påtagliga energikrisen blev utvecklingen av intelligent belysning aktuell för att optimera sin energiförbrukning och kostnadseffektivitet. Ett första steg var att stänga av belysningen på helgerna vilket gav positiva resultat enligt Beckhoff [2]. Beckhoff kopplade sedan samman larmet med belysningen. När larmet slås på stängs belysningen av i hela byggnaden. Beckhoff [2] har nu sett till att belysningen inte är igång under tiden lokalerna står tomma, och vill nu utveckla ännu mer energieffektiv implementering med fler valmöjligheter och ställbarhet till Beckhoffs anställda samt automatik som samarbetar med den redan implementerade solavskärmningen.

Kan användningen av belysningen minskas ännu mer vilken kan bidra till, ur ett miljö-perspektiv mer effektiv byggnad, samt lägre kostnader för Beckhoff. Även om belysningen stängs av under tiden byggnaden står tom finns där regelbundet tomma rum som står med belysningen igång i flera timmar per dag. Exempelvis har de anställda möjligheter att arbeta på distans, i så fall står deras kontor tomma hela dagen med belysningen igång. Om föreliggande projekt uppnår målet kan Beckhoff spara många kW/h och därmed även minska sitt ekologiska fotavtryck.

Fastighetsautomationen runt om i världen växer i takt med att fastigheter byggs. Beckhoffs fastighetssida är en av dess snabbast växande delar i företaget där Beckhoff vill ligga i framkant [2].

2.2 Tidigare arbeten med liknande mål

Ett tidigare automationsprojekt av solavskärming på Beckhoff ligger till grund för detta examensarbete. Solavskrämningsprojektet optimerade koden samt gjorde koden skalbar och modulär. Detta arbetet baserades på programmering på rumsnivå, detta möjliggör individuella inställningar och egenskaper i rummen. Exempelvis möjliggör detta att lägga samtlig logik av knappar, beräkningar etc. i rummen, det blir då smidigare att anpassa för individen som använder rummet och underlättar vid implementering av nya rum. Liknande mjukvarustruktur ska upprätthållas i detta projekt gällande automation av intelligent belysning.

2.3 Minskad energiförbrukning

Minskade ekologiska fotavtryck är ett högaktuellt ämne, därav finns många arbeten som behandlat ämnet. Flera studier har visat att intelligent belysningsteknik kan reducera energiförbrukningen betydligt.

Till exempel presenterar Rubinstein [3] en metod för adaptiv belysningsstyrning som minskar energiförbrukning med upp till 30% genom att automatiskt justera ljusstyrkan utifrån dagsljusnivåer och närvaro.

En senare studie av Lopera et al. [4] utvecklade ett molnbaserat energihanteringssystem för intelligenta byggnader. Deras lösning möjliggjorde realtidsövervakning och optimering av energiförbrukningen, vilket resulterade i betydande energibesparingar samtidigt som användarkomforten bibehölls.

Guatan et al. [5] presenterade ett distribuerat belysningssystem som möjliggör

individuell kontroll och adaptiv optimering i realtid. Systemet visade på förbättrad energihushållning samtidigt som flexibiliteten i användningen ökades, vilket är viktigt i moderna smarta byggnader.

Sammanfattningsvis indikerar litteraturen att implementering av automatiserad och intelligent belysning är en effektiv väg för att minska energiförbrukningen och därmed det ekologiska fotavtrycket i moderna byggnader, med besparingsmöjligheter mellan 20% till 50% [3][5][4].

2.4 Arbetsförhållanden

Belysning som ej anses tillräcklig kan enligt Arbetsmiljöverket leda till bland annat huvudvärk samt spänningar i nacken, skuldror och rygg [6]. För att säkerställa att ljuset inte har en negativ påverkan på hälsan bör ljuset vara starkt och jämnt, med dagsljus som primär ljuskälla. Dagsljus som primär ljuskälla minskar energiförbrukningen samtidigt som naturlig ljus stödjer kroppens biologiska funktionerna. [6]. Eftersom Beckhoffs kontor i Malmö huvudsakligen hanterar support och försäljning tillbringar medarbetarna långa perioder vid skrivborden. Därför är det av största vikt att minska den fysiska belastning som otillfredsställande belysning kan orsaka.

2.5 Byggnaden

Beckhoffs kontor i Malmö är fördelat på två våningsplan. Den norra delen av övervåningen består av enskilda kontor och dubbla kontor, toaletter, mötesrum, stora och små, och ett öppet landskapskontor. (Se bilaga [15]). I våningsplanets centrala del finns även en laborationssal samt en öppen yta

med insyn mot matsalen på nedre våningen.(Se bilaga [16](#))

Även den södra delen består till stora delar av enskilda och dubbla kontor samt öppet landskap. Utöver nämnda rum finns även vilorum, toaletter och stora och små mötesrum.(Se bilaga [17](#))

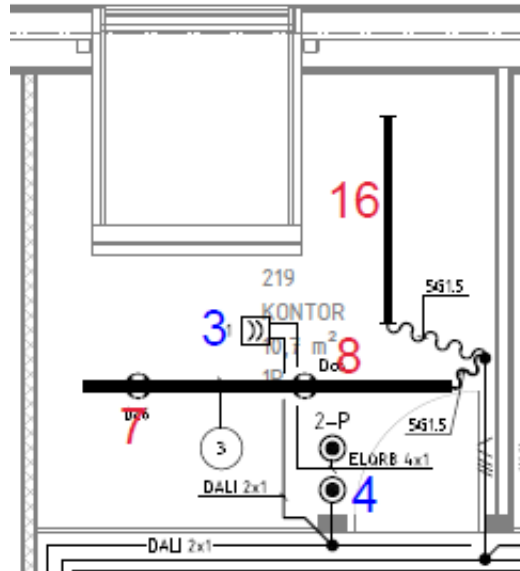
Stora delar av nedervåningen består av en utbildningssal, ett stort mötesrum och toaletter.(Se bilaga [18](#))

Den centrala delen av byggnaden består av entré, matsal och ett showroom.(Se bilaga [19](#))

Den södra delen av den nedre våningen består av serverrum, gym med dusch och toalett samt en stor lagerlokal.(Se bilaga [20](#))

2.5.1 Kontor

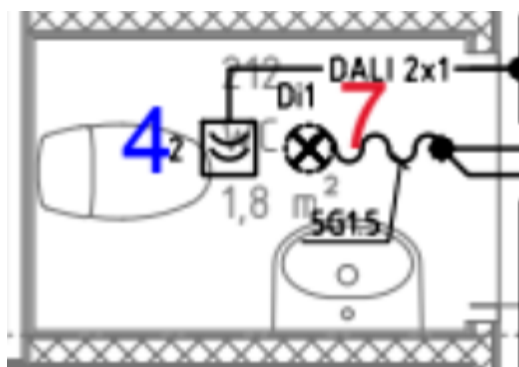
I följande figur visas planlösningen för ett kontor. Siffrorna markerade i rummet står för lampor , rörelsesensor och knappsats. Röda siffror representerar lampor medan blå siffror illustrerar rörelsesensorer och knappsatser. I det specifika rum som visas nedan förekommer 3 lampor (siffrorna 7, 8 och 16), en rörelsesensor (siffra 3) och en knappsats (siffra 4). Till höger om siffra 4 är entrén till kontoret och till vänster om siffra 16 finns ett fönster.



Figur 1: Planlösning för kontor, lampor (LED) markerade med röd siffra, DALI rörelsesensor och knappsats med blå siffror

2.5.2 Toalett

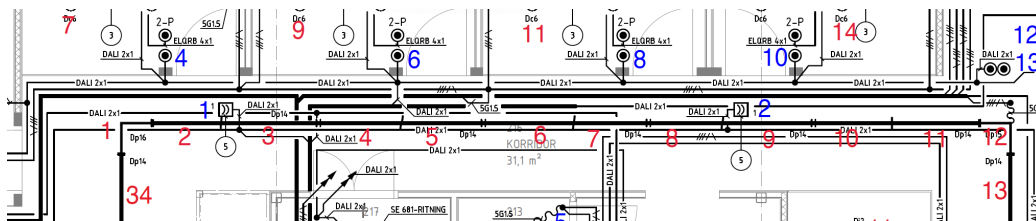
Nedan visas planlösningen för en toalett, vilket är byggnadens minst komplicerade rum och består endast av en lampa (siffra 7) och en rörelsesensor (siffra 4). Detta rum har inget dagsljus utan den enda belysningen är lampan som sitter i taket.



Figur 2: Planlösning för toalett, lampor (LED) markerade med röd siffra, DALI rörelsesensor med blå siffror

2.5.3 Korridor

Nedan visas en korridor, dessa består endast av lampor (siffror 1-12) och rörelsesensorer (siffror 1 och 2). Delvis ljusinsläpp via kontor som finns i den övre delen av bilagan.



2.6 Sensorer och lampor

Varje rum på Beckhoffs kontor är utrustade med ett antal armaturer och sensorer som är DALI-2 certifierade. Samtliga rum har samma typ av utrustning, men antalet lampor och rörelsedetektorer kan variera beroende på rummets storlek och användningsområde.

Sensorerna är tillverkade av Esylux och den modell som används är PD-C 360/8 BMS DALI-2, som kan detektera rörelse samt mäta ljusnivå[7]. Armaturerna kommer från Fåhrhult och är även de DALI-2 certifierade[8].

3 Problemformulering

I detta kapitel definieras det specifika problemområde som examensarbetet adresserar. Syftet är att identifiera relevanta frågeställningar som vägleder utvecklingen av en teknisk lösning för intelligent belysningsstyrning på Beckhoff Automation AB:s kontor. Vidare beskrivs projektets avgränsningar för att fokusera på kärnproblem inom ramen för tillgänglig tid och resurser.

3.1 Problemformulering

Beckhoff Automation AB har ett behov av att effektivisera energianvändningen i sin kontorsbyggnad utan att försämra, eller helst förbättra, användarkomforten. I dagsläget används belysning som delvis är aktiv även när kontoren är tomma, vilket innebär ett onödigt energislöseri. En intelligent, automatiserad lösning krävs för att uppnå både energibesparing och flexibel arbetsmiljö. Det är också viktigt att lösningen kan användas som demonstrationsplattform för kunder samt att den integreras med befintliga system som solavskärmning.

För att adressera detta problem har följande centrala frågeställningar formulerats:

1. Vilka krav och önskemål måste den intelligenta belysningen uppfylla för att optimera både funktionalitet och energiförbrukning?
2. Hur kan en skalbar programvarulösning utvecklas för att automatisera belysningen på Beckhoffs kontor?
3. Vilka fördelar kan Beckhoff dra av att automatisera belysningen, både

ur ett energiperspektiv och som demo för kunder?

4. Hur kommer energiförbrukningen förändras?
5. Hur kan en teknisk lösning utvecklas och testas för att uppnå effektiv och intelligent automatisering av belysningen?
6. Vilka mjukvarufunktioner krävs för att nå målet?

Dessa frågor ligger till grund för projektets tekniska och metodiska upplägg och har styrt både kravställning, utveckling och testning av systemet.

3.2 Avgränsningar

Föreliggande projekt fokuserar på att utveckla en lösning för intelligent belysning som är specifikt anpassat för Beckhoff Automation AB:s kontor. Arbetet begränsas till fastigheten, snarare än att utforma generella användningsområden. Arbetet utgår dessutom från Beckhoffs befintliga infrastruktur, inklusive hårdvara, sensorer och styrsystem baserade på TwinCAT och DALI-2 protokollet.

Lösningen ska integreras med befintlig solavskärningsautomation. Arbetet kommer att använda Beckhoffs befintliga bibliotek av färdiga funktioner samt egentillverkade funktioner. Målet är att skapa en skalbar och effektiv programvarulösning baserat på verktyg som finns att tillgå. Implementering av Human Machine Interface (HMI) ingår ej i arbetet, dock ska programmet designas med åtanke att HMI ska kunna implementeras i ett senare skede.

4 Teoretisk bakgrund

Nedan presenteras den teoretiska bakgrunden som ligger till grund för arbetet, med fokus på komponenterna och teknologierna som använts under projektets gång.

4.1 PLC

Programmable Logic Controller (PLC) är ett robust och programmerbart system som används i industriella tillämpningar bland annat realtidsstyrning av maskiner och processer. PLC:er används för att övervaka, kontrollera och styra komponenterna i ett automatiserat system[9]. PLC:er programmeras vanligtvis med hjälp av olika utvecklingsmiljöer som till exempel TwinCAT 3, vilket möjliggör anpassning av olika styr- och övervakningsuppgifter.

PLC:er är speciellt utformade för industriella miljöer vilket innebär höga krav på tålighet och driftsäkerhet. De måste tåla temperaturvariationer, vibrationer och elektromagnetiska störningar.

I industriella verksamheter används PLC:er för att styra komponenter som ventiler och motorer. De används även inom byggnadsautomation, där de kan hantera belysningsstyrning, ventilation och brandsäkerhet.

De programmeras vanligtvis enligt IEC 61131-3-standarden. IEC 61131-3-standarden omfattar programmeringsspråk som Structured Text (ST), Ladder Diagram (LD) och Continuous Function Chart (CFC), vilket möjliggör effektiv och flexibel styrning av automatiserade processer.

4.2 Kommunikationsbussar

En kommunikationsbuss är ett kommunikationssystem som överför data mellan olika hårdvaror i ett nät. Bussen fungerar som en gemensam kommunikationskanal för samtliga komponenter där behovet av punkt till punkt anslutningar inte behövs. Det finns olika typer av kommunikationsbussar exempelvis parallell-, seriell- och fältbussar. Intressant för det här projektet är fältbussar vilket är industriella nätverksprotokoll som möjliggör realtidskommunikation mellan exempelvis sensorer, aktuatorer och styrsystem. [10]

4.3 Överföringsprotokoll

Mellan styrdatorerna och delarna som ska styras måste möjligheten att skicka data mellan komponenterna finnas. På Beckhoffs kontor sker kommunikation via en fysisk koppling. För att informationen ska komma fram snabbt och/eller säkert används olika överföringsprotokoll, olika protokoll används beroende på omständigheterna. Ett överföringsprotokoll är en metod att överföra information mellan olika delar i ett nät. I detta projekt kommer huvudsakligen två olika överföringsprotokoll användas, DALI-2 och EtherCAT. För att styra belysningskomponenterna används DALI-2 protokollet, för att skicka information mellan deras PLC's används EtherCAT. Skillnaden mellan överföringsprotokoll och kommunikationsbussar är att överföringsprotokollet bestämmer hur datan ska överföras medan bussarna är kopplingen mellan enheterna som ska kommunicera.

4.4 TwinCAT 3

För att programmera PLC:er från Beckhoff används ett program där logiska funktioner kan skapas. Funktionerna baseras bland annat på signaler från sensorerna och andra givare. I projektet används ett program som heter TwinCAT 3, Beckhoffs egna utvecklingsmiljö för PLC-programmering. Programmet kommer sedan att skickas till PLC:n som ska användas för att styra belysningen.

Med TwinCAT 3 kan olika typer av PLC-kod skrivas bland annat CFC (Continuous Function Chart) och ST (Structured Text), båda dessa har använts i detta arbete. ST och CFC följer båda IEC 61131-3-standarden för PLC-programmering. CFC är en grafisk programmeringstyp där det finns möjlighet att bestämma i vilken ordning funktionsblock ska exekveras. I CFC dras linjer mellan variabler och värden för att knyta ihop dessa med ingångar och utgångar, likt signalflöden. CFC används för att få en översiktlig bild över hur signalerna beter sig, vilket enligt Beckhoff möjliggör övervakning av signalflöden under drift. [\[11\]](#)

ST är en textbaserad programmering vilket liknar ett högnivåspråk såsom Java. Med ST finns det större möjligheter att göra komplexa och mer exakta styrsystem, eftersom ST stödjer funktioner som IF- och CASE-satser samt WHILE- och FOR-loopar vilket ger ökad kontroll över programflödet. Mellan ST och CFC görs ofta en avvägning eftersom CFC är överskådligt och hjälpsamt för att följa dataflödet medan ST stödjer mer komplexa program. [\[12\]](#)

Från TwinCAT 3 kan sedan programmen överföras till PLC:n för att testa

koden eller implementera det på ett system. [13] Insignalerna till PLC:n knyts via utvecklingsmiljön till variabler, detta sker i variabeldeklarationen för programmet där insignalen är aktuell. Insignalerna behandlas i det programmet som laddats ner till PLC:n med förutsättningen att de är knutna till variabler som används i programmet. När programmet är nedladdat går det att via TwinCAT 3 styra PLC:n, start, paus, logga in och logga ut är funktioner som är tillgängliga via utvecklingsmiljön. Start och paus styr programmets exekvering, medan inloggning och utloggning är funktioner som kopplar utvecklingsmiljön till hårdvaran, alltså PLC:n. För att låta programmet exekvera utan att vara inloggad på PLC:n via TwinCAT 3 loggar användaren in på PLC:n, startar exekvering och loggar sedan ut, detta bibehåller PLC:n i run-läge trots att utvecklingsmiljön inte längre är kopplad till hårdvaran. När programmet laddats ner körs det så länge PLC:n har strömförsörjning. Utöver möjligheten att start och pausa går det att övervaka variablers värden under exekvering, kodens funktionalitet är överskådlig via utvecklingsmiljön. Under övervakning av koden finns även möjligheten att tvinga variabler till specifika värden (detta kallas forcing) för att placera systemet i specifika scenarion och se hur systemet agerar. [14] Detta är ett vanligt sätt att testa koden vid simulering och felsökning.

4.5 EtherCAT

EtherCAT är ett överföringsprotokoll som är utvecklat av Beckhoff Automation AB [10]. Vid framtagandet av protokollet var huvudfokus korta cykeltider, lågt jitter (variation i tidsintervall mellan datapaket) och hög precision vid synkronisering. Med andra ord var syftet att både minska överföringstiden

och variation i tid mellan två efterföljande datapaket. EtherCAT är huvudsakligen framtaget för att användas i automationssammanhang och i styrdatorer för att säkerställa en snabb och deterministisk kommunikation mellan styrdatorer och komponenter. Protokollet introducerades 2003 och har sedan dess varit en central del i Beckhoffs automations- och styrlösningar. På Beckhoffs kontor i Malmö används EtherCAT som standardlösning för kommunikationen mellan datorer, PLC-system och I/O-enheter.

Protokollet bygger på en så kallad *on the fly*-princip, vilket innebär att varje nod läser och skriver sin data under tiden som telegrammet passerar. Detta eliminerar behovet av att buffra hela meddelandet innan enheten behandlar det. Genom att undvika buffring minskar latensen markant och uppdateringscyklerna blir kortare. EtherCAT kan därför hantera data på cykeltider ner till 100 mikrosekunder samt kan hålla nere jitter-nivåerna under 1 mikrosekund. De låga cykeltiderna och minimala jittern gör EtherCAT särskilt väl lämpat för realtidsapplikationer såsom automation och styrdatorer. [15]

EtherCAT stödjer olika topologier, exempelvis linje-, stjärn-, träd- och ringtopologier utan att påverka prestandan för kommunikationen vilket är ovanligt för ett Ethernet-baserat protokoll. EtherCATs hierarkiska struktur, där styrsystemet skickar all data, bidrar till systemets låga cykeltider. Komponenter, exempelvis I/O-enheter, reagerar passivt på datan som styrsystemet skickar. [16]

För att uppnå exakt timing mellan noder använder EtherCAT Distributed Clocks (DC), vilket är avgörande för exakt rörelsestyrning i realtidsapplikationer. DC är ett klocksynkroniseringssystem som ser till så att samtliga kom-

ponenter agerar på samma klocka. Med hjälp av DC kan differensen mellan två komponenters interna klockor reduceras till under 1 mikrosekund. Denna funktionen är särskilt nödvändig i tillämpningar som kräver hög precision, till exempel industriell robotik. [17]

4.6 DALI-2

4.6.1 Allmänt om DALI-2

Utöver EtherCat används ett överföringsprotokoll som heter DALI-2 (Digital Addressable Lighting Interface 2). Protokollet är dedikerat till digital belysningsstyrning [18]. DALI-2 är en uppdaterad version av DALI. Tanken med DALI i sin grund var att ersätta analoga styrsystem av lampor, där lamporna styrdes genom att ändra spänningsnivån för att kontrollera ljusstyrkan.

Med hjälp av DALI kan nu belysning styras med digitala signaler och därmed ge större frihet avseende hur belysningen kan styras. Dessutom kan lampor och givare med DALI certifikat delas upp i grupper, vilket medför att lamporna och/eller givare som ingår i samma grupp kan styras med en signal istället för enskilda signaler till varje lampa. DALI medför även tvåvägskommunikation, vilket gör redundant kommunikation möjlig för styrsystemet. Redundant kommunikation möjliggör att utrustningen i systemet kan rapportera om något blivit fel eller svara på frågor som skickas av styrsystemet. Problem kan uppstå om för många enheter är kopplade på slingan, alternativt att mycket data skickas på bussen.

Teoretiskt sett kan en DALI-slinga ha upp till 64 enheter, där antalet begränsas av strömförsörjning som sker på samma slinga som kommunika-

tionen. Mängden enheter per DALI-slinga begränsas dock av både den datamängd som kommer skickas via nätet, samt strömkapaciteten. Varje enhet på nätet konsumerar en viss mängd ström, och systemet får inte överstiga 250mA. En annan begränsande faktor är bussarna som datan transporteras med. Skulle för många enheter vara kopplade till samma buss finns risken att information kastas och inte kommer fram till styrdatorn, vilket bland annat beror på att DALI och DALI-2 har ett inbyggt prioriteringssystem. Om bussen överbelastas med information kommer paketen med information som har låg prioritet behöva vänta på paketen med högre prioritet och därmed riskera att komma fram sent alternativt inte levereras alls.

4.6.2 Scener och grupper

I DALI-2 standarden kan scener och grupper skapas. I en grupp kan upp till 64 olika lampor finnas med och kan styras som en lampa. Gruppstyrning innebär att styra utvalda lampor på samma slinga utan att behöva påverka andra. I byggnader kan lamporna till flera olika kontor ligga på samma DALI-slinga och om gruppstyrningen inte hade varit möjlig hade samtliga lampor på slingan agerat likadant eller endast kunnat agera enskilt. Om 3 kontorsrum ligger på samma slinga kan en person i ett av kontoren justera sin belysning utan påverkan på andra kontor. Gruppstyrning gör systemet mer sammankopplat och undviker att ha ett system per rum, det vill säga flera rum per "system".

Inbyggt i DALI-2 systemet finns en funktion som kallas för scener. Scener är scenarion som är förutbestämda, i en scen beskrivs vilka lampor som ska bli aktiva, vilken ljusnivå lampan ska gå till och hur snabbt den ska bli aktiv.

Scener kan användas för att programmera beteende och funktionalitet som ska finnas tillgängligt. Scenarion som brand eller inbrott är exempel på vad scener skulle kunna användas till.

4.6.3 Adressering

Varje DALI-2 enhet får en 16-bitars adress som gör den unik. Adressering till enheterna kan gå till på olika sätt. Antingen tilldelas enheten en adress när den kopplas upp på systemet (dynamiskt), systemet hittar själv adresser som inte används och ger enheten i fråga en av dessa lediga adresser. Alternativ två är att enheten tilldelas en adress via en controller, användaren väljer själv en lämplig adress som är ledig för enheten (statiskt).

Om dynamisk adressering används innebär det att nya enheter som kopplas in på DALI-slingan automatiskt identifieras av systemet. Ett kontrollpaket skickas till enheten för att verifiera att den är korrekt ansluten och fungerar som den ska. Därefter påbörjas adressprocessen där mastern eller kontrollern kontrollerar vilka enheter som är med i nätverket. När en ny enhet läggs till i systemet tilldelas den en standard adress som annars inte är tillgänglig för att styra med utan endast finns där för att tilldela lampor nya adresser. Adressen som används för att tilldela adresser brukar vara short-address 63. Enheten tilldelas adressen 63 vilket är en tillfällig adress tills adresstilldelningsprocessen är helt klar och den nya enheten kan få sin permanenta adress. Kontrollern skickar sedan ut en uppmaning att samtliga som inte har en adress ska be om en adress, då den nyligen inkopplade enheten ska nu skicka en förfrågan till kontrollern om att få en adress. Kontrollern kollar sedan i sitt adressregister vilka adresser som är lediga och skriver en av adresserna

till den nya enheten. Till slut görs en ny koll för att se till att samtliga enheter på slingan har en unik adress. Därefter kan enheterna styras på slingan enskilt eller i grupp med sina nya adresser.

Statisk adressering: Controllern skriver adressen på en vald enhet med önskad adress. Statisk adressering görs via programmering och kräver att adresser som är upptagna inte skrivs över, vilka adresser som är upptagna är därför kritiskt att veta vid statisk adressering. Det finns olika sätt att benämna DALI-enheterna, antingen kan short- eller long-adressen användas. En short-adress är ett tal mellan noll och 63 som har tilldelats till enheten, vilket är tillräckligt i mindre system. En long-adress används när system är mer komplext med många adresser. Adressering och konfigurering kan ske genom programmeringsverktyg. Detta möjliggör att flytta och skriva om adresser efter önskat upplägg.

4.6.4 Varför använda DALI-2

Fördelar med DALI-2 komponenter är att både strömförsörjning och kommunikation ingår i samma system och kablage. DALI-2 armaturer undviker behov av tillgänglighet till ingångar och utgångar. Styrsystemet kan kommunicera med samtliga armaturer på en slinga via ytterarmaturerna. Oftast är styrsystemen kopplade till de yttre armaturerna på båda sidor av slingan för att säkra att kommunikationen upprätthålls även om något händer i någon del av slingan. Styrsystemet kan även komma åt flera enheter utan att behöva adressera varje enhet separat. DALI-2 standarden har förbättrad interoperabilitet i förhållande till DALI-version 1, vilket innebär att DALI-2 kan användas mellan produkter av olika tillverkare. Interoperabiliteten har

utvecklats i den mån att DALI-2 certifierade enheter nu kan sammankopplas och styras utan någon extra konfiguration. Interoperabiliteten är bland annat varför DALI-2-standarden är eftertraktad, DALI-2-certifierade enheter kan installeras i till exempel byggnader. Om en komponent eller enhet skulle gå sönder kräver inte systemet en installation av en precis likadan enhet för att undvika att rekonfigurera programmeringen. Den trasiga DALI-2 enheten ersätts med en annan DALI-2-certifierad enhet med samma funktionalitet, beteendet hos systemet ska därefter vara precis densamma som innan enheten gick sönder. DALI-2:s höga krav på interoperabilitet gör att användare av DALI-2-system inte låser sig vid implementering av ett sådant system.

4.6.5 Skillnaden mellan DALI version 1 och DALI-2

Skillnaden mellan DALI version 1 och DALI-2 är signifikant, på DALI-alliance hemsida finns dokumentation kring skilnaderna [\[19\]](#). Utöver vad som redan innefattas i DALI version 1 har även DALI-2 standarden krav på inkluderade styrdon som innebär att DALI-2 har både styr- och ingångsenheter. Med dessa styr- och ingångsenheter kan styrdon både styra systemet och samla data, det vill säga att tillägget av sensorer möjliggör att data kan lagras på externa hårddiskar eller på en dator och användas för att få en helhetslösning. Exempel på data som kan samlas in och lagras är energiförbrukning vilket gör att användaren av produkten kan kontrollera energiförbrukningen på systemet.

Nytt för DALI-2 är hårdare krav på testprocedurerna för att kunna upprätthålla sin interoperabilitet. I förhållande till DALI version 1 kan DALI-2 garantera att samtliga DALI-2 certifierad produkter kan kopplas ihop oavsett

återförsäljare. DALI-2 har i stora drag en högre kvalitetsstandard som ska upprätthållas med nämnd testprocedurer.

Bussen som skickar data och försörjer enheterna med ström har nya krav och uppdateringar. Bussar har inställningar och tydligare specifikationer i form av bussens tidsinställningar och bussspecifikationer. Att bussinställningarna är ställbara förbättrar interoperabiliteten och varje enhet kan justeras till vad den kräver och behöver.

DALI-2 enheterna är inte polaritetskänsliga, det vill säga att enheter saknar plus- och minuspolar. Oavsett vilket håll enheterna kopplas in på ska funktionaliteten vara likadant vilket minskar risken för att något ska gå fel och underlättar vid installation.

Eftersom strömförsörjning sker via bussen är där endast en slinga som sköter allt i enheten. Detta ger lättnad vid installation eftersom där endast finns en sladd som ska kopplas in.

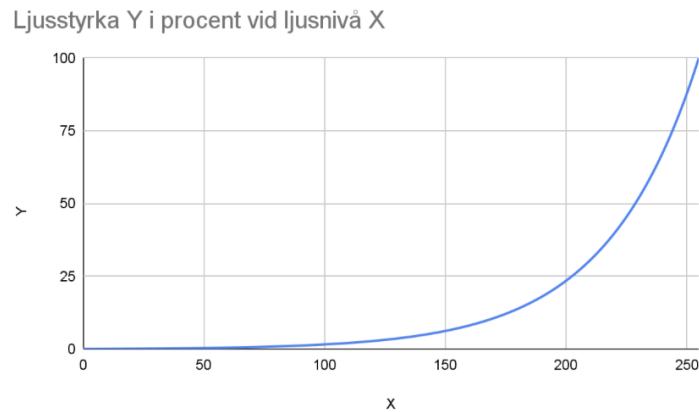
Varje tillverkare kan skapa sina egna driftlägen på sina produkter och samtidigt upprätthålla sin DALI-2 certifiering och även sin interoperabilitet. Det innebär att innovativa system med olika nischade funktioner kan tillverkas och implementeras. Funktionaliteter från olika tillverkare kan handplockas för att uppnå önskat beteende med innovativa lösningar.

DALI-2 standarden stödjer i övrigt den gamla DALI version 1 och således är DALI bakåtkompatibel. Att DALI är bakåtkompatibelt innebär att DALI-2 standardiserade produkter successivt kan implementeras i ett äldre DALI version 1 registrerat system. Äldre system kan inte få DALI-2 funktionalitet bara genom att ett DALI-2 certifierat driftdon installeras (den komponent

som kommunicerar med PLC:n), däremot ska systemet fungera som förut. Ett DALI version 1 driftdon ska kunna styra DALI-2 komponenter, däremot bör funktionaliteten hos DALI version 1 driftdon undersökas innan implementation. [19]

4.6.6 Funktionalitet och användning

När ljusstyrkan ska dimmas på en specifik lampa skickas digitala signaler i form av ett värde mellan 0 och 254. 0 är helt släckt och 254 är full ljusstyrka. Skalan är logaritmisk vilket innebär att avstängt, betraktat av det mänskliga ögat, inte är värdet 0, utan vad som räknas som släckt är vanligtvis värden mellan 80 och 128. För att få lamporna att automatiskt dimra upp finns en funktion i DALI-2 som kallas för fading. Fading används för att få en mjuk övergång mellan ljusnivåerna och kan ställas in som en hastighet i form av hur många steg (ljusnivåer) som ska ökas eller minskas per sekund, vilket kallas för faderate. Utöver faderate finns även en inställning i form av fadetime, vilken bestämmer tiden mellan miniminivån och maximinivån. Fadetime bestämmer hur snabbt eller långsamt lamporna ska dimmas upp respektive ned. Med DALI-2 standarden finns möjligheten att ha en fadetime som varierar mellan 100 millisekunder och 16 minuter. Fadetime skapar mer behagliga ljusövergångar, applicerbart i till exempel kontors- eller boendemiljö. Fadetime är tiden mellan nuvärdet och börvärdet på ljusstyrkan i lampan. Dimning sker logaritmiskt, det vill säga att kurvan inte ökar linjärt. Ljusövergången upplevs därför mer naturlig för människan eftersom ögat upplever tydligare skillnader på förändring i ljusstyrkan på lägre ljusnivåer. Därav används en standardiserad ljuskurva i DALI-2 produkter som ska dimmas. [20]



Figur 4: En representation av ljusstyrkan i procent vid en viss ljusnivå.

Med DALI-2 standard finns möjligheten att lagra data i systemet som nämnts i skillnader mellan DALI version 1 och DALI-2. Vissa DALI-2 certifierade produkter har ljussensorer integrerat i produkten som till exempel Esylux. Esylux har både närvarodetektion och ljussensorer vilket är två parametrar som kan används vid automatisering av belysning för att reglera belysningen till en behaglig ljusnivå att arbeta och befinnas sig i. [20]

4.6.7 Installationsaspekter och krav

Kravet för att installera ett DALI-2 system är att DALI-2 certifierad produkter används. Installationen har blivit förenklad med endast en slinga, det vill säga att allting sker via bussen, både strömförsörjning och kommunikation.

4.6.8 Felsökning och underhåll : Hur felsöks DALI-2-enheter?

När enheter eller komponenter går sönder skickas ett felmeddelande på bussen som når slingans driftdon som i sin tur kan signalera till styrsystemet att något har gått fel. Om systemet har redundanta slingor kan systemet peka ut exakt vart felet har uppstått. Enheterna skickar hela tiden statusuppdateringar för signaler enheten har tagit emot och om kommandona har utförts eller inte. DALI-2 systemet kan både försöka hantera felet genom att skicka om signalen eller liknande, alternativt varna systemet. [18]

4.6.9 Certifiering och standarder

För att uppnå en DALI-2 certifiering måste enheten gjort tester som ser till att produkten är kompatibel enligt DALI-2. DALI's testprocedur säkerställer att produkten i fråga är kompatibel med resterande DALI-2 certifierade produkter, till exempel att kommunikationen sköts likadant och att påkopplande av andra DALI-2 komponenter fungerar som tänkt [19].

DALI , en lösningen med hög interoperabilitet och avancerade ljusinställningar, dimning och färgkontroll. DALI kommunikationen är uppbyggd av trådar, det vill säga att signalerna skickas via en slinga och inte trådlöst likt IoT (Internet of Things). DALI är begränsat till ljus, även om andra fastighetsimplementationer kan kombineras med DALI-system gäller DALI endast för ljusreglering [18]. DALI är inte begränsat till en tillverkare utan är en tillverkaröverskridande certifiering.

4.6.10 Användarupplevelse och gränssnitt

Gränssnittet till belysningen är tryckknappar och närvarosensorerna. DALI har möjlighet att kopplas till ett HMI där parametrar kan ställas in för att uppnå önskat beteende på sin arbetsyta. Examensarbetet behandlar endast tryckknapparna och närvarosensorn men ska lämna plats till en framtida implementering av ett HMI (Human Machine Interface).

4.7 Givare och luxmätare

I detta projekt användes förinstallerade givare på kontoret. Dessa givare är rörelsedetektorer med inbyggd LUX-mätare. Sensorerna är DALI-2 certifierade, vilket medför att systemet lättare kan delas upp i olika zoner inom kontoret. Rörelsedetektorerna läser av rummet, om någon eller något rör sig inom sensorns räckvidd kommer den att skicka en signal till PLC:n. Sensorerna som sitter på kontoret är kopplade till två strömbrytare vilket underlättar både programmeringen och belastningen på slingan, i form av data och ström. Närvarogivarna är dessutom LUX-mätare, dvs givarna kan skicka tillbaka rummets nuvarande ljusstyrka till PLC:n. LUX är en enhet för att mäta ljusstyrka. Vad LUX-värdet bör vara på ett kontor finns beskrivet på arbetsmiljöverkets hemsida [6].

4.8 Datastrukturer

På Beckhoffs informationshemsida infosys [21] finns information om samtliga av deras olika datastrukturer. Strukturer är egenskapade variabler som innehåller andra variabler, exempel är `ST_DALIControlGearSettings`.

ST_DALIControlGearSettings är en representation av en lampa med lampans inställningar, till exempel minimum värde, maximum värde, adress etc.

4.8.1 ST_DALIControlGearSettings

För att kunna adressera, identifiera och justera lampor och armaturer på DALI-slingan användes strukturen ST_DALIControlGearSettings. Strukturen finns i Beckhoffs bibliotek Tc3_DALI. [22] [A.1]

```
TYPE ST_DALIVControlGearSettings :  
STRUCT  
    nErrors          : DWORD;  
    bPresent         : BOOL;  
    nActualLevel     : BYTE;  
    nPowerOnLevel    : BYTE;  
    nSystemFailureLevel : BYTE;  
    nMinLevel        : BYTE;  
    nMaxLevel        : BYTE;  
    eFadeRate        : E_DALIFadeRate;  
    eFadeTime        : E_DALIFadeTime;  
    eFadeTimeBase    : E_DALIExtendedFadeTimeBase;  
    eFadeTimeMultiplier : E_DALIExtendedFadeTimeMultiplier;  
    nRandomAddress   : DWORD;  
    nGroups          : WORD;  
    aSceneLevels     : ARRAY [0..15] OF BYTE;  
    nStatus          : BYTE;  
    nMajorVersion    : BYTE;  
    nMinorVersion    : BYTE;  
    aDeviceTypes     : ARRAY [1..20] OF E_DALIDeviceType;  
    nPhysicalMinLevel : BYTE;  
END_STRUCT  
END_TYPE
```

Figur 5: Struktur för konfigurera lampor och armaturer [23]

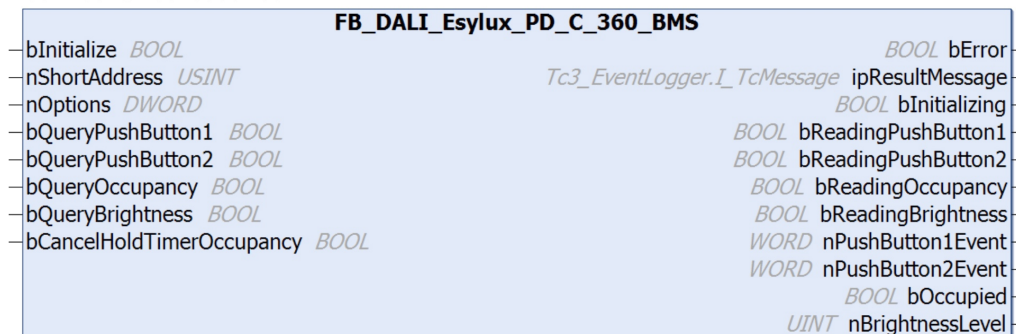
4.9 Funktionsblock från Beckhoff

Beckhoff erbjuder en mängd funktionsblocksbibliotek för att underlätta programmering av styrsystem i TwinCAT 3. Ett av dessa bibliotek är Tc3_DALI, vilket används för att styra DALI-kompatibel belysning.

Informationen om dessa funktionsblock återfinns på Beckhoffs hemsida infosys[21]. Hemsidan var användbar under projektets gång vid utforskandet av funktionsblock. Infosys innehåller även information om hur funktionsblocken är uppbyggda, om funktionsblockens inställbara parametrar samt om inbyggda funktionaliteter. Funktionsblocken som användes i föreliggande studie kommer från biblioteket Tc3_DALI. [22]

4.9.1 Esylux 360

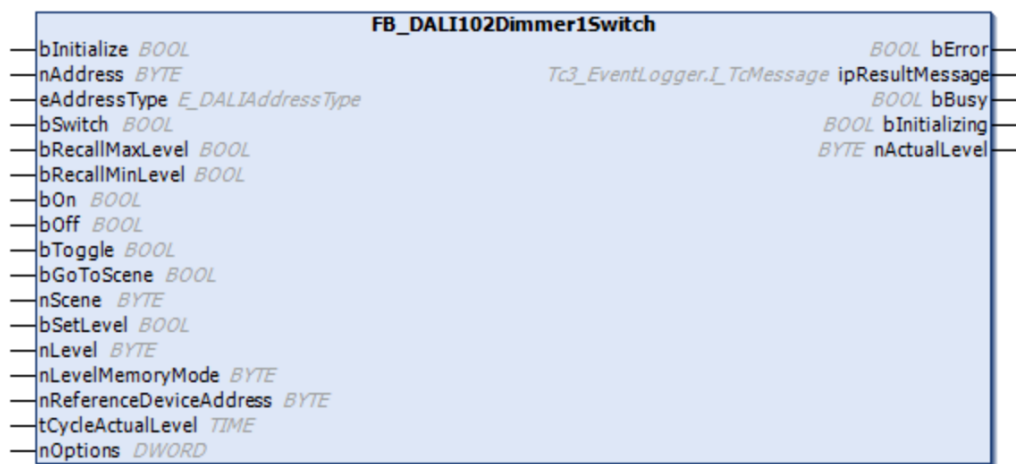
Funktionsblocket användes för att kontrollera rörelsesensorerna. I projektet användes ingången short-address för att adressera sensorn. Exempel på utgångar som användes är bOccupied som signalerar närvaro samt bReading-PushButton som var utgångar för strömbrytare. Funktionsblock kopplades samman med dimmerlswitch-blocket för att gemensamt styra lampor och armaturer.[B.1]



Figur 6: Funktionsblock för att kontrollera rörelsesensor [24]

4.9.2 Dimmer switch

Funktionsblocket Dimmer1Switch kontrollerar lamporna i systemet. nAddress, eAddressType, bSwitch, bOn, bOff och bGoToScene är ingångar som används i detta projektet. nOption används för att aktivera olika inställningar på lamporna. [B.2]

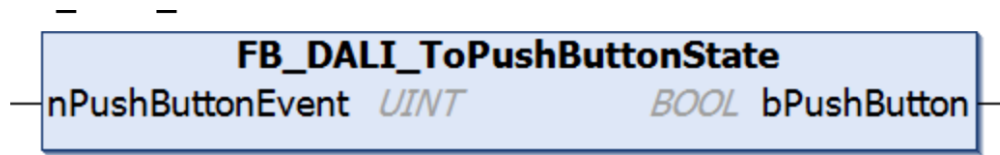


Figur 7: Funktionsblock för att kontrollera strömbrytare [25]

4.9.3 To Push Button State

Funktionsblocket översätter utgångarna från Esylux blocket som skickas i datatypen word, till en boolean som skickas till Dimmer Switch blocket.

B.4



Figur 8: Funktionsblock för att översätta event från Esylux 360 till Dimmer Switch [26]

4.9.4 Get Settings

Get settings hämtar information från lamporna och sparar denna i en vektor. Vektorn användes sedan i projektet för att hämta information och spara undan för att i nästa steg kunna justera lampornas och sensorernas inställningar via blocket set settings. B.5



Figur 9: Funktionsblock för att hämta inställningarna på lampor och rörelsesensorer [27]

4.9.5 Set Settings

Liknande get settings använder set settings en vektor, dock skickar set settings inställningar till lamporna istället för att hämta. [B.6](#)



Figur 10: Funktionsblock för att justera inställningarna på lampor och rörelsesensorer [28](#)

5 Metod

I metodavsnittet presenteras olika metoder som har använts för att säkerställa en tillräcklig grund till projektet.

1. Litteraturstudie

Litteraturstudierna går att dela upp i olika punkter. Arbetsmiljökrav, optimala arbetsförhållanden, hur intelligent belysning kan påverka energiförbrukning och DALI-2. Litteraturstudierna användes för att få en djupare förståelse av området, det vill säga automatisering av DALI lampor på ett kontor. Studierna bidrog även med en tydligare bild av hur programmeringen skulle planeras och vilka krav armaturen och hårdvaran ställde på programmet. Utöver vilka begränsningar hårdvaran hade satte litteraturstudierna krav på hur belysningen fick styras i form av arbetsmiljökrav. Litteraturstudierna innefattade bland annat DALI standardens egna hemsida vilket bidrog med information om protokollet och funktionaliteten i DALI. Tidigare arbeten och studier söktes upp på LUBsearch och användes för att ta reda på hur energiförbrukningen kunde minska med hjälp av automatik.

Utöver energieffektivitet användes även litteraturstudierna för att undersöka hur ljus i arbetsmiljö påverkar välmående och effektivitet. I slutändan användes informationen om ljus för att ta fram nära optimala ljuslägen för en arbetsplats (som implementeras till en standardisering av rummen). Utöver studierna som hittades på LUBsearch användes ett projekt som tidigare gjorts på Beckhoffs kontor. Projektet användes som grund för hur struktur i programmet byggs upp för att

möta Beckhoffs krav på modularitet, skalbarhet och optimerad kod. För att möta kraven från Arbetsmiljöverket användes även deras hemsida till litteraturstudierna för sammanställningen av en optimal lösningen. Den sista delen i litteraturstudierna innefattade att läsa om befintliga funktionsblock på Beckhoffs informations hemsida. [21] Där hittades blocken som var mest väsentliga för att skapa egna funktionsblock och uppnå önskad funktionalitet. DALI-studierna låg till grund för att förstå hur funktionsblocken hanterade data samt hur slingan tog emot informationen funktionsblocken skickade ut.

2. System- och mjukvarudesign

I designfasen skapades en detaljerad arkitektur och utformad mjukvarufunktionalitet. Beckhoffs tidigare projekt började här bli aktuellt för att behålla specifik kodstruktur samt fördelningen över systemets olika delar. Punkter som rum, DALI slingor och öppna ytor får i den här fasen en definition vilket leder till standardiserade rum och öppna ytor. System- och mjukvarudesignen baserades på kravspecifikationen som har tagits fram av Beckhoff med hjälp av deras egna krav och önskemål om funktionalitet och krav som ställs av Arbetsmiljöverket.

3. Testning och laborering

Prototypen och Beckhoffs installerade lampor har testats för att säkerställa att belysningen agerar enligt önskat beteende samt undersöka energiförbrukningen. Beckhoff kom med förslag och åsikter om lösningen och hur den successivt formades. Om funktionalitet saknas eller ett annat upplägg önskades, justerades programvaran i den här delen av

projektet. Här fanns möjlighet att gå tillbaka och ändra om planeringen och strukturen för programmet. Här lämnades lite luckor för potentiella problem och begränsningar som hindrar fortgåendet av implementeringen. Informationen från energimätningarna utvärderades för att se hur mycket energi som sparades. Här utvärderades även om något mer kunde justera för att minska förbrukningen ännu mer.

4. Undersökning av användarvänlighet

För att utvärdera användarnas upplevelse av det automatiserade belysningssystemet genomfördes informella samtal med medarbetarna på Beckhoff. Samtalen genomfördes i direkt anslutning till att systemet implementerades i respektive rum, och riktade sig till de personer som dagligen använder kontorsytorna där styρνignen aktiverats.

Svaren dokumenterades inte systematiskt, men synpunkterna togs till vara genom direkt återkoppling i systemets parametrar. Justeringen gjordes till exempel i form av fördröjning vid släckning eller anpassning av den maximalt tillåtna ljusstyrkan.

Det bör noteras att ingen kvantitativ eller strukturerad utvärdering genomfördes.

5. Slutgiltig implementering av systemet

Efter tester och justeringar implementerades systemet fullt ut på Beckhoffs kontor. Energiförbrukningen mättes för att utvärdera hur mycket energi som sparades. I projektets slutfas rådde tidsbrist, vilket medförde vissa kompromisser i genomförandet. Trots kompromisser

kunde en jämförde sammanställning mellan det nya och gamla systemet genomföras.

Det befintliga systemet gjorde det möjligt att logga belysningen, där information om närvaro i rummen och aktuella ljusstyrkor kontinuerligt registrerades. På grund av begränsad tid omfattade loggningen endast en del av byggnaden under ett par dagar, med syftet att skapa en översiktlig bild av energiförbrukningen i representativa utrymmen.

Följande rum inkluderades i loggningen:

- En toalett
- En tillgänglighetsanpassad toalett
- En städskrubb
- Tre kontor
- Ett dubbelkontor
- Två samtalsrum
- Ett vilorum
- Ett kopieringsrum
- En korridor
- Ett kapprum
- Ett konferensrum

Vid varje förändring i ljusstyrka eller närvarodetektering skickades en uppdatering till databasen, vilket möjliggjorde en detaljerad analys

över tid.

En sammanfattning formulerades baserat på hur mycket mer energi- och kostnadseffektiv lösningen blev.

5.1 Kodstruktur

Beckhoff har utvecklat en särskild kodstruktur för sitt solavskärmningsprogram, som används inom fastighetsautomation i företagets egna lokaler. Strukturen har i solavskärmningsprogrammet varit uppdelad på specifika rum som finns i byggnaden. Rummen som finns i byggnaden är representerade som enskilda och separata program som körs i huvudprogrammet. I rummen finns ett block för styrningen av solavskärmning vilket ska utökas med ett funktionsblock för styrningen av belysningen. För att behålla modularitet och skalbarhet ska rumstyper konstrueras baserat på vad för behov och enheter som finns att tillgå i rummen. Utifrån förutsättningarna konstrueras rumstyperna som funktionsblock som kompletterar huvudprogrammets rum. Rumstypernas signaler baserades på vilken rumstyp och funktionaliteten som önskades.

5.2 Kravspecifikation

Följande sektion hanterar kravspecifikationerna för rumstyperna som producerats under projektets gång. Många rum har liknande krav därav en lista med generella specifikationer för samtliga rum. Därefter nämns rummen individuellt med specifika behov.

5.2.1 Generellt för samtliga rum

1. Lamporna skall tändas vid närvarodetektion.
2. Lamporna skall ställas in på en förutbestämd ljusnivå.
3. I rum med knappar ska rummet kunna släckas manuellt.
4. I rum med knappar ska rummet kunna tändas manuellt.
5. I rum med knappar ska rummet kunna dimmas manuellt.
6. När närvaro är detekterad och lamporna har tänts ska lamporna vara tända i en förutbestämd tid oavsett om det är närvaro i rummet eller inte.
7. Vid manuell släckning ska systemet återgå till automatisk styrning efter en förutbestämd tid.
8. Vid eventuella larm skall samtligt ljus tändas på högsta värde.

5.2.2 Laborationssal

1. Vid frånvaro ska ljuset ej stängas av, endast dimmas ned.
2. Tillslagsreglering på en förutbestämd tid.
3. Frånslagsreglering på en förutbestämd tid.

5.2.3 Kontor

1. Användaren skall individuellt kunna välja nivå på taklampor respektive skrivbordslampor.

2. Vid manuell inställning av ljuset skall denna nivå behållas om lamporna stängs av och sedan sätts igång igen.

5.2.4 Korridor

1. Vid frånvaro skall ljuset ej stängas av, endast dimmas ned.

5.3 Källkritik

I detta arbete har flera olika källor använts, bland annat vetenskapliga artiklar, industrispecifik information, tekniska rapporter och personlig kommunikation. För att säkerställa hög trovärdighet bland dessa källor samt i arbetet har följande kriterier tillämpats vid bedömning av dessa källor:

1. Vetenskapliga artiklar

Vetenskapliga artiklar från IEEE har valts och använts för sin tekniska och akademiska tyngd. Då dessa artiklar genomgår peer review bidrar det till objektivitet. Artiklarna har även granskats utifrån deras relevans, aktualitet och metodik.

2. Tekniska dokument

Beckhoff Automation AB och DALI-Alliance är två källor som har använts eftersom DALI-protokollet är centralt för belysningstyrningen i projektet, samt att Beckhoff Automation AB hårdvara programmeras och styr lamporna. DALI definierar standarder inom belysningsstyrning och Beckhoff Automation AB har tillhandahållit hårdvaran som använts i projektet.

3. Produktinformation

Dokumentation från Esylux, Fagerhult och Beckhof Automation AB har använts för att förstå de tekniska aspekterna kring komponenterna. Dessa dokument är informativa och saknar kommersiell vinkling, till exempel tekniska specifikationer och så vidare.

4. Personlig kommunikation

Möten och samtal med Daniel Jovanovski och Fredrik Jönsson har använts som stödjande inslag i arbetet. Eftersom samtal inte är en dokumenterad källa har informationen från samtalen stöttats av bland annat Beckhoff Automation AB:s hemsida Infosys.

5. Standarder och riktlinjer

Arbetsmiljöverket har tydliga riktlinjer för hur belysning i kontorsmiljö ska hanteras och har därför varit viktig under arbetet. Arbetsmiljöverket är en relevant källa eftersom myndigheters beslut brukar baseras på vetenskap och studier.

För att minimera risken för felaktiga slutsatser och bias har kritiska granskningar genomförts för samtliga källor. Informationen har verifierats och jämförts mellan oberoende aktörer, där aspekter som aktualitet, metodik och objektivitet har bedömts. Genom att blanda vetenskapliga artiklar med tekniska rapporter samt personlig kommunikation har arbetet strävat efter att presentera en välgrundad och nyanserad analys.

6 Resultat

De krav som ställdes på belysningen var att bibehålla, eller öka användarvänligheten samt att minska energianvändningen. Kraven uppnåddes genom att skapa olika rumstyper som applicerades på utvalda rum och öppna ytor. Att skapa rumstyper möjliggjorde hög skalbarhet och flexibilitet, bland annat har rumstyperna olika lägen med olika nivåer av automatisering.

Dessutom skapades möjligheten att ändra hur snabbt lamporna ska dimmas, hur länge lamporna ska vara tända efter rummet lämnats, om knappar ska vara aktiverade eller ej samt styra lamporna med olika typer av adresser såsom short- eller gruppadress. Vid skapandet av funktionsblocken hölls skalbarhet och personifiering av rummet i åtanke.

6.1 Funktionsblock

Slutprodukten består av fyra olika rumstyper, Office, Double-office, Hallway och Presence. Rummens funktionalitet och logik är uppbyggd på liknande sätt med utvalda funktionaliteter och krav som skiljer rummen åt. Dessa s.k ”rumstyper” användes för att styra hela Beckhoffs byggnad. Optimering av belysningens funktionalitet och energiförbrukning uppnås av dessa blocken.

Belysningsstyrningen baseras på flera parametrar såsom närvaro i rummet samt möjligheten att använda strömbrytarna. Eftersom styrning på knappar och närvaro initialt inte fanns implementerat i samtliga rum bidrar slutprodukten till både optimering av funktionalitet och energiförbrukning.

För att uppfylla kraven och önskemål som ställdes på den intelligenta belysningen användes en kombination av tidigare nämnda funktionsblock (se sektion 4.10) och egenutvecklad programkod, vilket resulterade i en flexibel och skalbar lösning.

Funktionsblocken har i grunden samma ingångar och utgångar:

IO	Namn	Datotyp	Beskrivning
In	nDaliMaster	Int	Bestämmer vilken DALI-2 slinga som ska användas
In	nShortAdressEsyluxSensor	Int	DALI-2 adress till rörelsesensorn
In	nAdressLights	Byte	Adresser för belysning
In	nReferenceAdress	Byte	Bestämmer vilken lampa programmet ska hämta information från
In	eAdressType	Struktur	Typen av adress på lamporna, short, group eller broadcast
In	bEnavlePushButton	Boolean	Aktiverar eller avaktiverar strömbrytare
In	tTimer	Time	Frånslagstimer för att säkerställa att ljuset ej släcks om personen är kvar i rummet
In	nSensorHoldTimerOccupancy	Int	Bestämmer hur ofta sensorn ska läsas av
In	bAlarm	Boolean	Global variabel för att indikera inbrottslarm, brandlarm etc. har aktiverats
In	bInitialize	Boolean	Initialiserar hårdvaran, krävs efter parametrar uppdaterats
In/Out	aKL6821Communication	Struktur	Struktur för kommunikation med DALI-master
Out	bError	Boolean	Indikerar om något fel uppstått
Out	bOccupied	Boolean	Indikerar närvaro
Out	nBrightnessLevelLights	Byte	Den aktuella ljusnivån på den valda lampan i nReferenceAddress
Out	bInitializing	Boolean	Indikerar om funktionsblocket är i initialiseringsfasen

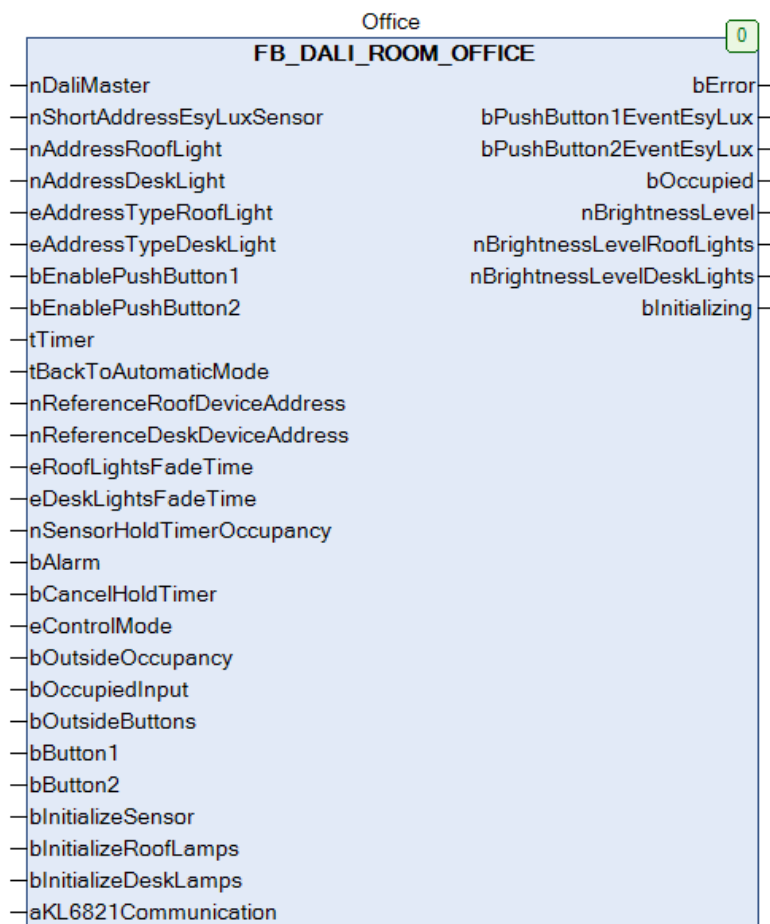
Tabell 2: Generella in- och utgångar i egenbyggda funktionsblock

6.1.1 Office

Funktionsblocket representerar kontorsrum. Rummen består av antingen två eller tre lampor och en fjädrad strömbrytare. Funktionsblocket huvudfunktion är oförändrade, men har kompletterats med ytterligare funktioner (se figur 11). Initialt var systemet begränsat till en sensor per funktionsblock, vilket inte mötte behoven i öppet kontorslandskap. I landskap ska majoriteten av lamporna reagera på flera olika sensorer. Därför implementerades stöd för sensordelning mellan flera funktionsblock - en anpassning som visade sig vara avgörande för att uppnå tillförlitlig sensorstyrning i större ytor. Önskad funktionalitet var uppnådd på samtliga ställen som skulle klassas som office. Möjligheten att styra virtuella rum via samma sensor gör rummen applicerbara på fler ställen än kontoren de först var ämnade för.

IO	Namn	Datatyp	Beskrivning
In	tBackToMautomaticMode	Time	Tiden rummet ska befinna sig i manuellt läge efter knapparna använts
In	eControlMode	Struktur	Bestämmer vilket läge rummet ska befinna sig i, det vill säga nivå av automatisering
In	bOutsideOccupancy	Boolean	Bestämmer vilken närvarosignal som ska användas, signalen inifrån rummet, signaler utifrån rummet eller båda
In	bOccupiedInput	Boolean	Närvarosignal som kommer utifrån
In	bOutsideButtons	Boolean	Bestämmer om knappar i rumsblocket eller om knappar utifrån ska användas
In	bButton	Boolean	Signalen från knappar som kommer utifrån blocket

Tabell 3: Rumsspecifika ingångar i egenbyggda funktionsblocket Office



Figur 11: Funktionsblock som innehåller funktionalitet för ett enkelkontor.

6.1.2 Double office

Funktionsblocket innehåller samma funktionalitet som ett office. Skillnaden mellan rummen är att knapparna inte är fördelade på takbelysning och skrivbordsbelysning utan istället mellan de två skrivbordslamporna. Taklampan styrs endast på närvaro.



Figur 12: Funktionsblock som innehåller funktionalitet för ett dubbelkontor.

6.1.3 Hallway

Rummet representerar en korridor och stängs aldrig av utan dimmas endast upp och ned baserat på närvaro (se figur 13). Eftersom en släckt korridor kan framkalla obehagskänslor begränsas korridorerna till två ljusnivåer. Även i detta funktionsblock lades funktioner till som tidigare inte planerats att implementeras. Bland annat lades möjligheten att koppla en sensor till flera rum till även här, vilket gjordes på Beckhoffs förfrågan, för att förhindra att korridorerna skulle dimmas ned om personalen var i sina kontor.

IO	Namn	Datotyp	Beskrivning
In	nOnLevel	Int	Ljusnivå lamporna ska gå till vid närvaro
In	nOffLevel	Int	Ljusnivån lamporna ska gå till vid avsaknad av närvaro
In	tBackToAutomaticMode	Time	Tiden rummet ska befinna sig i manuellt läge efter knapparna använts
In	eControleMode	Struktur	Bestämmer vilket läge rummet ska befinna sig i, det vill säga nivå av automatisering
In	bOutsideOccupancy	Boolean	Bestämmer vilken närvarosignal som ska användas, signalen inifrån rummet, signaler utifrån rummet eller båda
In	bOccupiedInput	Boolean	Närvarosignal som kommer utifrån
In	bOutsideButtons	Boolean	Bestämmer om knappar i rumsblocket eller om knappar utifrån ska användas
In	bButtom	Boolean	Signalen från knappar som kommer utifrån blocket

Tabell 4: Rumsspecifika ingångar i egenbyggda funktionsblocket Hallway



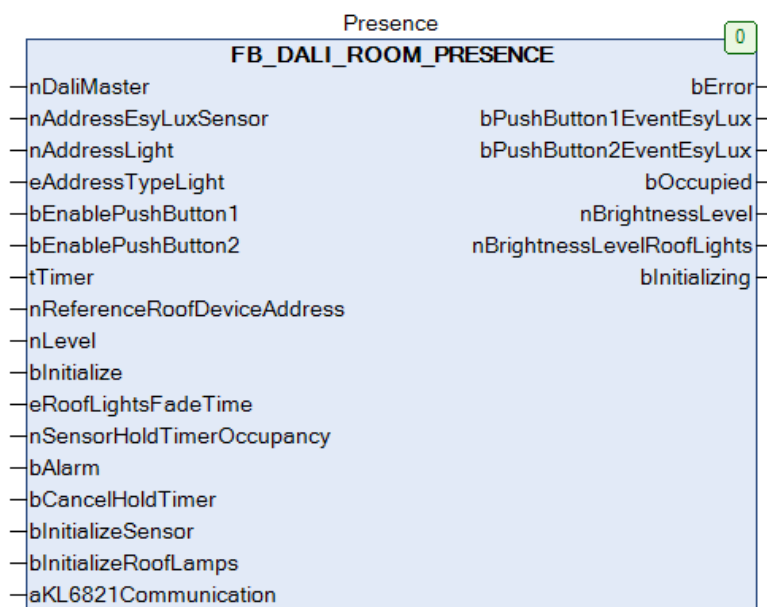
Figur 13: Funktionsblock som innehåller funktionalitet för en korridor.

6.1.4 Presence

Funktionsblocket representerar ett rum som endast styrs på närvaro. Rummet tänds vid närvarodetektion och släcks om närvaro inte detekterats under en bestämd tid. Tiden är en ställbar ingång till funktionsblocket.

IO	Namn	Datatyp	Beskrivning
In	nLevel	Int	Bestämmer vilken ljusnivå lampan ska gå till vid närvaro

Tabell 5: Rumsspecifika ingångar i egenbyggda funktionsblocket Presence



Figur 14: Funktionsblock som innehåller funktionalitet för ett rum som endast styrs av närvaro, till exempel toaletter.

6.2 Energiförbrukning

Med det gamla belysningssystemet installerat lyste samtliga lampor på full styrka i 11 timmar, från 07.00 till 18.00. Antalet lampor per rum varierade, vilket resulterade i följande förbrukning per dag:

Rumstyp	Antal lampor	Effekt per lampa (W)	Total effekt (W)	Förbrukning per dag (Wh)
Toalett	1	18	18	198
HWC	2	18	36	396
Städskrubb	1	18	18	198
Kontor (2 st)	4	$2 \times 36 + 2 \times 24$	120	1320
Kontor	3	$1 \times 36 + 2 \times 24$	84	924
Dubbelkontor	4	$2 \times 36 + 2 \times 24$	120	1320
Samtalsrum 1	3	$1 \times 36 + 2 \times 18$	72	792
Samtalsrum 2	2	18	36	396
Vilorum	2	18	36	396
Kopieringsrum	2	18	36	396
Korridor	12	12×58	696	7656
Telefonkiosk	1	18	18	198
Kapprum	3	3×18	54	594
Konferensrum	7	$6 \times 18 + 36$	144	1584
Totalt	47	–	1488 W	16 368

Tabell 6: Energiförbrukning per dag med det gamla belysningssystemet (11 timmar på full styrka)

Efter implementering användes den data som loggats för att beräkna förbrukningen baserat på rummen, vilket resulterade i följande konsumtion:

Rumstyp	Antal lampor	Effekt per lampa (W)	Total effekt (W)	Förbrukning per dag (Wh)	Minskad förbrukning (Wh)	Minskad förbrukning (%)
Toalett	1	18	18	67.5	130.5Wh	65.9%
HWC	2	18	36	129	267Wh	67.4%
Städskrub	1	18	18	1.5	196.5Wh	99.2%
Kontor (2 st)	4	$2 \times 36 + 2 \times 24$	120	845	457Wh	36%
Kontor	3	$1 \times 36 + 2 \times 24$	84	616	308Wh	33.3%
Dubbelkontor	4	$2 \times 36 + 2 \times 24$	120	850	470Wh	35.6%
Samtalsrum 1	3	$1 \times 36 + 2 \times 18$	72	0	792Wh	100%
Samtalsrum 2	2	18	36	117	279Wh	70.5%
Vilorum	2	18	36	0	396Wh	100%
Kopieringsrum	2	18	36	213	183Wh	42.6%
Korridor	12	12×58	696	7656	0Wh	0%
Telefonkiosk	1	18	18	0	198Wh	100%
Kaprum	3	3×18	54	501	93Wh	15.6%
Konferensrum	7	$6 \times 18 + 36$	144	337	1247Wh	78.7%
Totalt	47	–	1488 W	11 333Wh	5035Wh	30,8%

Tabell 7: Uppmätt förbrukning baserat på inhämtad data från rummen efter implementerad lösning

Vilket resulterade i en minskning av energiförbrukning med

$$100\% - \left(\frac{11,333}{16,368} \times 100 \right) = 30,8\%$$

7 Slutsats

Med den intelligenta belysningen installerad i hela fastigheten sparade Beckhoff både energi och pengar. Beckhoff har nu möjlighet att visa upp för sina kunder vilka möjligheter som finns vid val av deras produkter, både i form av hårdvara och vad som finns tillgängligt i deras bibliotek.

7.1 Sammanfattande slutsats

Projektets resultat uppfyllde samtliga krav och problemformuleringar som ställdes tidigare. Målet att minska energiförbrukning utan att påverka användarupplevelsen har uppnåtts och komforten har verifierats genom muntliga samtal med de användare som fick belysningen implementerad.

Genom att använda skalbara och personliga lösningar i form av virtuella rum möjliggörs flexibiliteten vid framtida om- eller nybyggnationer. Genom att använda virtuella rum kunde belysningen styras lokalt snarare än globalt, vilket möjliggjorde mer precis energimätning per zon. Systemet erbjöd också möjligheten för användare att konfigurera rummen efter egna preferenser, konfigurationsmöjligheterna bidrog till flexibilitet och trivsel trots automatisering. Mätningarna visade även på en energibesparing på upp till 30,8%, vilket tydligt indikerade att lösningen har stor potential att minska onödig energianvändning. Resultatet innebar inte bara en konkret energibesparing för Beckhoff, utan också ett steg mot mer hållbara och kostnadseffektiva kontorslösningar.

Resultatet hamnade inom ramarna som tidigare forskning identifierat, där energibesparingar mellan 20% och 50% rapporterats för intelligent belys-

ning [5][3][4]. Trots att mätperioden i projektet var begränsad, stödjer resultaten denna bild, med en uppmätt besparing på 30,8%. För att validera resultatet krävs dock längre mätningar samt jämförelse över olika kontorsmiljöer.

7.2 Felkällor

Vid mätningarna av lamporna då belysningen styrs av belysningssystemet loggades ljusnivån med upplösningen 5 minuter vilket kan leda till att insamlad data inte är exakt.

Lamporna loggades under sommarhalvåret vilket innebär att behovet av ljus inte är lika stort som under vinterhalvåret.

Loggningen skedde under en begränsad tid eftersom utvecklingsdelen av arbetet tog upp mer tid än väntat. Tidsbegränsningen kan leda till att data som hämtats inte är representativ för hur användningen av belysningen ser ut per år. Det innebär att uppmätta energibesparingar bör tolkas som mer indikativa snarare än definitiva. För att säkerställa långsiktig effekt krävs uppföljande av mätningarna över längre tidsperioder med fler variabler som till exempel säsongsvariation och beläggningsgrad.

Loggningen skedde utan exakta värden på lampornas effekt. Eftersom lampornas nivå i DALI-2 standarden inte är linjär utan en logaritmisk skala följdes den logaritmiska representationen i procent för att approximera effekten lamporna drog vid uppmätta ljusnivåer.

7.3 Begränsningar

Med hänsyn till användarens upplevelse blev följden, ur ett energiperspektiv, lösningar som ej var optimala. Eftersom beslutet att korridorerna ej skulle dimmas ner om en anställd befann sig på kontoret, medförde det att korridorerna i praktiken sällan går ned i ljusstyrka. Dessa armaturerna tillhörde enheterna som var mest energikrävande i systemet vilket innebar en betydande begränsning i den totala energibesparingspotentialen.

DALI-2 linorna har som tidigare nämnts en begränsning på strömförbrukning per slinga. Begränsningarna har lett till att Beckhoffs byggnad är uppdelat i flera separata linor. Uppdelningen var inte en begränsning i sig eftersom DALI-2 systemet redan är installerat. Däremot krävde programmeringen särskild hänsyn till denna uppdelning. Ett system behövde därför utvecklas som kunde hantera och ta hänsyn till vilken slinga sensorerna tillhörde, samt vilken sensor armaturerna tillhörde.

Vid initialisering av sensorer, som krävdes i samband med uppdatering av sensorinställningar, startades en resurskrävande process som genererade en stor mängd datatrafik över DALI-2 linorna. Processen visade sig vara en utmaning, eftersom kommunikationsbussarna i DALI-2 systemet har begränsad överföringskapacitet. Skulle flera sensorer på samma slinga initialiseras samtidigt, skulle en överbelastning uppstå där stora datamängder försöker sändas parallellt. Överbelastning leder i sin tur till att datapaket med lägre prioritet förloras, eftersom bussen inte kan hantera trafiken.

En ytterligare begränsning är att systemet är utvecklat och testat utifrån Beckhoffs specifika kontorsmiljö, inklusive dess befintliga hårdvara, sensor-

typer och nätverksstruktur. Det i sin tur innebär att vissa delar av lösningen, exempelvis funktionsblocken, är anpassad för just denna miljö. För att möjliggöra en bredare tillämpning krävs en mer generisk implementation.

7.4 Framtida förbättringar

Insamlad data tydde på att delarna av huset som drar mest energi är korridorerna. En framtida förbättring är att konstanljusreglering skulle kunna applicera. Konstanljusregleringen innebär att ljuset justeras successivt under dagen vilket medför att korridorerna dimmas ner när lägre ljusstyrka behövs och dimmas upp när högre ljusstyrka behövs. Med lösningen som nu har implementerats justeras endast korridorerna när korridoren saknar närvaro med förutsättningen att kontoren i anknytning till korridoren saknar närvaro. Sannolikheten att nämnda scenariot inträffar är lågt, eftersom majoriteten av Beckhoffs personalstyrka är på plats varje dag. Konstantljusregleringen hade öppnat möjlighet att spara mer energi utan att skapa en icke-trivsamt miljö.

För att göra systemet ännu mer användarvänligt skulle belysningssystemets ställbara variabler kunna knytas till ett HMI. Tillägget av ett HMI skulle öppna möjligheten att justera ljusnivån på samtliga lampor i byggnaden. Ett HMI skulle tillåta att ändra ställbara parametrar under drift, vilket gör programmet mer lättillgängligt och ger kontorsinnehavarna skraddarsydda kontor.

Funktionsblocken skulle kunna göras till ett bibliotek som är tillgängligt för samtliga innehavare av en Beckhoff styrdator. Det skulle leda till högre flex-

ibilitet i form av fler ställbara parametrar.

Nu är blocken programmerade specifikt till rum med Esylux sensorer. Om Beckhoff skulle byta sensorer eller skulle ha fler DALI-2 projekt där Esylux sensorer inte finns installerade måste blocken göras om. En möjlig framtida förbättring är att konstruera funktionsblocken sensoroberoende, vilket ökar återanvändbarheten oavsett val av hårdvara.

7.5 Avslutande reflektion

Sammanfattningsvis visar projektet att intelligent belysning inte bara är tekniskt genomförbart utan också ekonomiskt och miljömässigt motiverat. Med fortsatt utveckling och längre mätperioder har lösningen potential att utgöra en central komponent i framtidens hållbara kontorsmiljöer.

Referenser

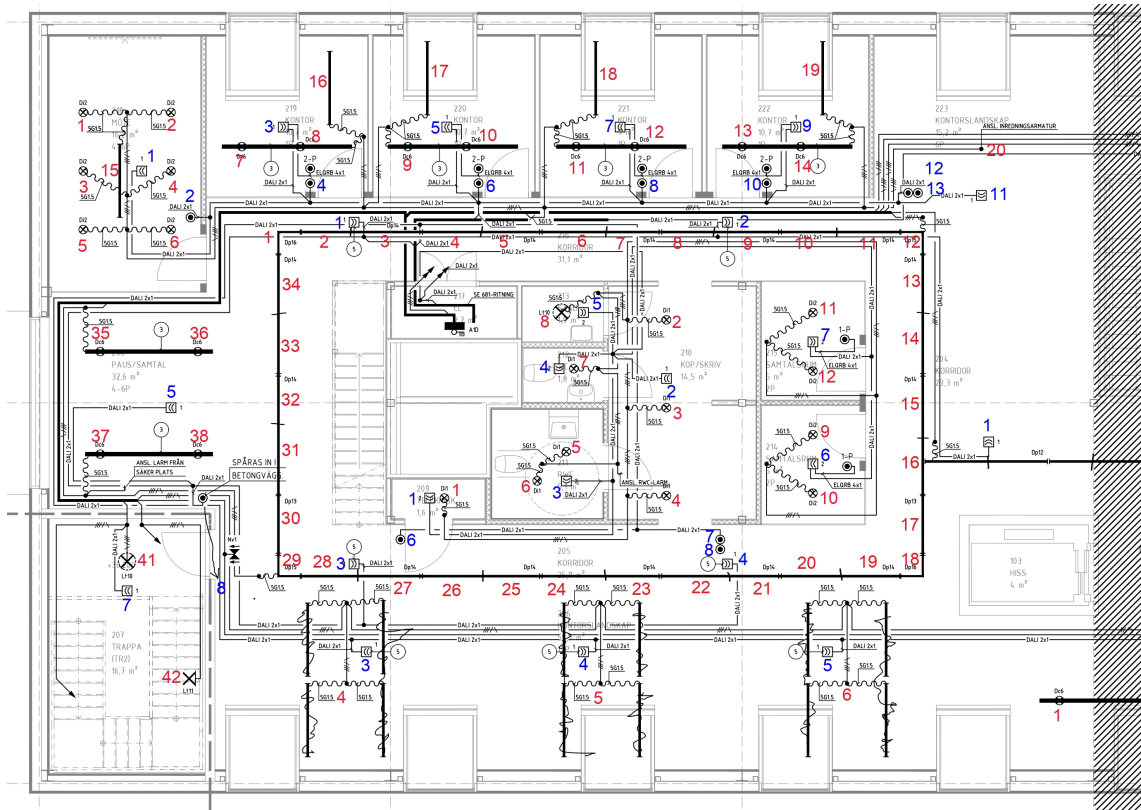
- [1] Beckhoff Automation AB, *Beckhoff Automation*, Hämtad: 2025-02-18. URL: <https://www.beckhoff.com/sv-se/company/>.
- [2] Daniel Jovanovski och Fredrik Jönsson, *Intervju om problemformulering*, Personlig kommunikation, 2025-07-02.
- [3] F. Rubinstein, M. Siminovitch och R. Verderber, "Fifty percent energy savings with automatic lighting controls," *IEEE Transactions on Industry Applications*, årg. 29, nr 4, s. 768–773, juli–aug. 1993. DOI: [10.1109/28.231992](https://doi.org/10.1109/28.231992).
- [4] L. I. L. Gonzalez, U. Großekathöfer och O. Amft, "An intervention study on automated lighting control to save energy in open space offices," i *2015 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops)*, St. Louis, MO, USA, 2015, s. 317–322. DOI: [10.1109/PERCOMW.2015.7134055](https://doi.org/10.1109/PERCOMW.2015.7134055).
- [5] V. R. L. Verso, A. Pellegrino och C. Aghemo, "The Energy Performance for Lighting in Buildings According to the New EN 15193-1: Potential Energy Saving due to Different Photodimming Controls," 2018, Datum för konferens: 12-15 Juni 2018, IEEE Xplore Date Added: 18 October 2018. DOI: [10.1109/EEEIC.2018.8494448](https://doi.org/10.1109/EEEIC.2018.8494448).
- [6] Arbetsmiljöverket, *Ljus och belysning*, Hämtad: 2025-02-18. URL: <https://www.av.se/inomhusmiljo/ljus-och-belysning/>.
- [7] Esylux, *PD-C 360/8 BMS DALI-2*, Hämtad: 2025-03-26. URL: <https://www.esylux.se/produkter/automation-inomhus/naervaro-och-roerelsedetektorer/compact/ep10428203>.

- [8] Fagerhult, *Fagerhult*, Hämtad: 2025-05-09. URL: <https://www.fagerhult.com/sv/>.
- [9] Unitronics, *What is the definition of PLC”?*, Hämtad: 2025-02-18. URL: <https://www.unitronicsplc.com/what-is-plc-programmable-logic-controller/>.
- [10] EtherCAT Technology Group, *Technology – EtherCAT*, Hämtad: 2025-02-18. URL: <https://www.ethercat.org/en/technology.html>.
- [11] Beckhoff Automation AB, *Beckhoff Informational System*, Hämtad: 2025-06-09. URL: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tc3_plc_intro/2526723211.html&id=.
- [12] Beckhoff Automation AB, *Beckhoff Informational System*, Hämtad: 2025-06-09. URL: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tc3_plc_intro/2526757515.html&id=.
- [13] Beckhoff Automation AB, *Beckhoff Informational System*, Hämtad: 2025-06-09. URL: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tc3_plc_intro/2528058507.html&id=.
- [14] Beckhoff Automation AB, *Beckhoff Informational System*, Hämtad: 2025-06-09. URL: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tc3_plc_intro/2527602315.html&id=.
- [15] Beckhoff Automation AB, *Beckhoff Informational System*, Hämtad: 2025-06-09. URL: <https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/ethercatsystem/2469120395.html&id=>.
- [16] Beckhoff Automation AB, *Beckhoff Informational System*, Hämtad: 2025-06-09. URL: <https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/ethercatsystem/2469087755.html&id=>.

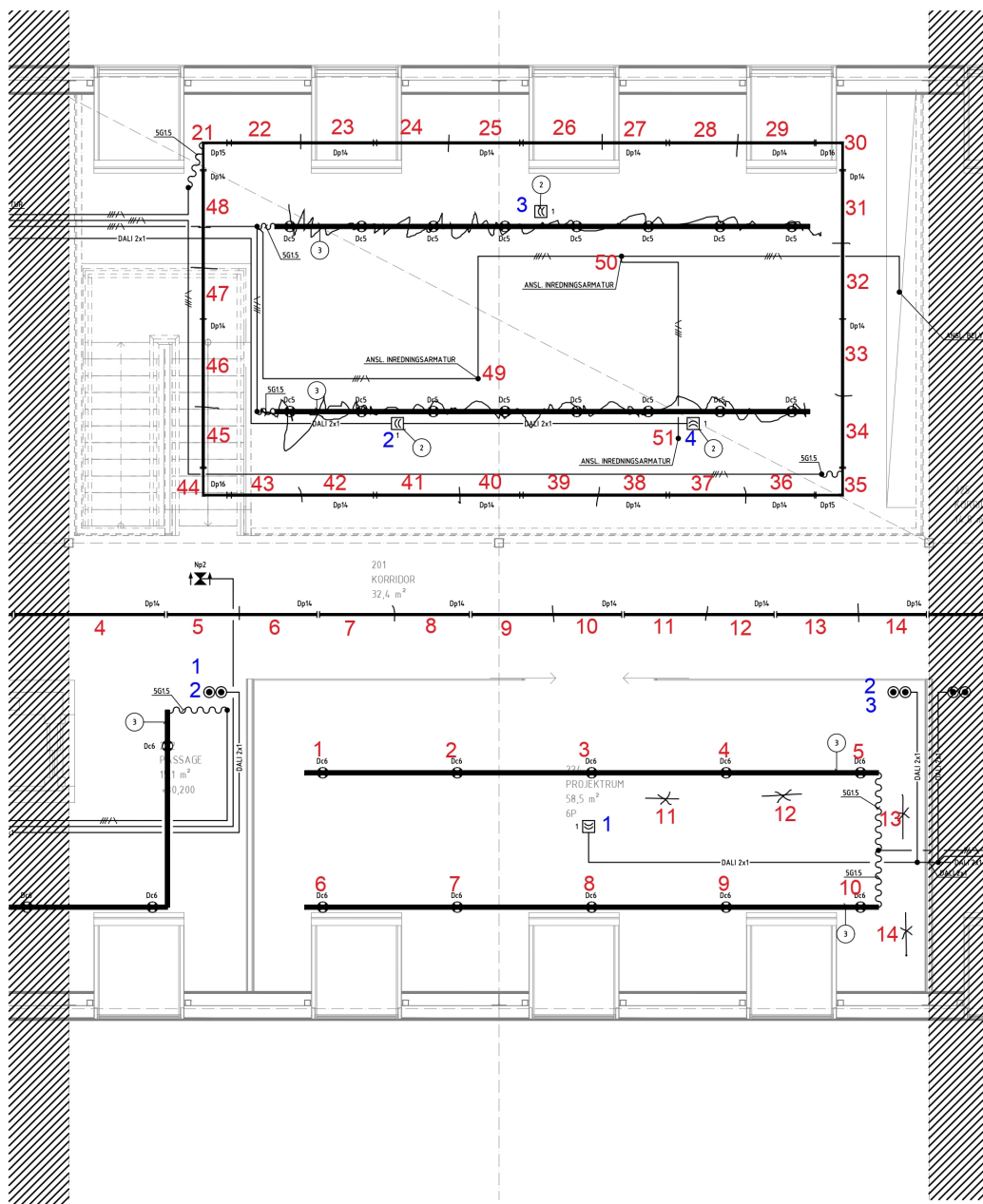
- [17] Beckhoff Automation AB, *Beckhoff Informational System*, Hämtad: 2025-06-09. URL: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../%2Fcontent%2F1033%2Fethercatsystem%2F2469118347.html&utm_source=chatgpt.com.
- [18] DALI Alliance, *Introducing DALI*, Hämtad: 2025-02-18. URL: <https://www.dali-alliance.org/dali/>.
- [19] DALI Alliance, *DALI-2 versus DALI version-1*, Hämtad: 2025-02-18. URL: <https://www.dali-alliance.org/dali2/comparison.html>.
- [20] DALI Alliance, *DALI Alliance, key features*, Hämtad: 2025-03-04. URL: <https://www.dali-alliance.org/dali/keyfeatures.html>.
- [21] Beckhoff Automation AB, *Beckhoff Informational System*, Hämtad: 2025-02-27. URL: <https://infosys.beckhoff.com>.
- [22] Beckhoff Automation AB, *Beckhoff Informational System*, Hämtad: 2025-02-28. URL: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclib_tc3_dali/index.html&id=.
- [23] Beckhoff Automation AB, *Beckhoff Informational System*, Hämtad: 2025-03-03. URL: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclib_tc3_dali/7279188619.html&id=1082605452685874450.
- [24] Beckhoff Automation AB, *Beckhoff Informational System*, Hämtad: 2025-02-27. URL: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclib_tc3_dali/14409338763.html&id=.
- [25] Beckhoff Automation AB, *Beckhoff Informational System*, Hämtad: 2025-02-27. URL: <https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=>

-
- [../content/1033/tcplclib_tc3_dali/9837887627.html&id=5510398759499589335](https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclib_tc3_dali/9837887627.html&id=5510398759499589335).
- [26] Beckhoff Automation AB, *Beckhoff Informational System*, Hämtad: 2025-02-28. URL: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclib_tc3_dali/10944670987.html&id=8317528605207025796.
- [27] Beckhoff Automation AB, *Beckhoff Informational System*, Hämtad: 2025-03-03. URL: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclib_tc3_dali/7277830923.html&id=8342980444652845560.
- [28] Beckhoff Automation AB, *Beckhoff Informational System*, Hämtad: 2025-03-03. URL: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclib_tc3_dali/7277832843.html&id=3409401500381166201.
- [29] Beckhoff Automation AB, *Beckhoff Informational System*, Hämtad: 2025-02-27. URL: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclib_tc3_dali/12540302347.html&id=5710776800420861749.

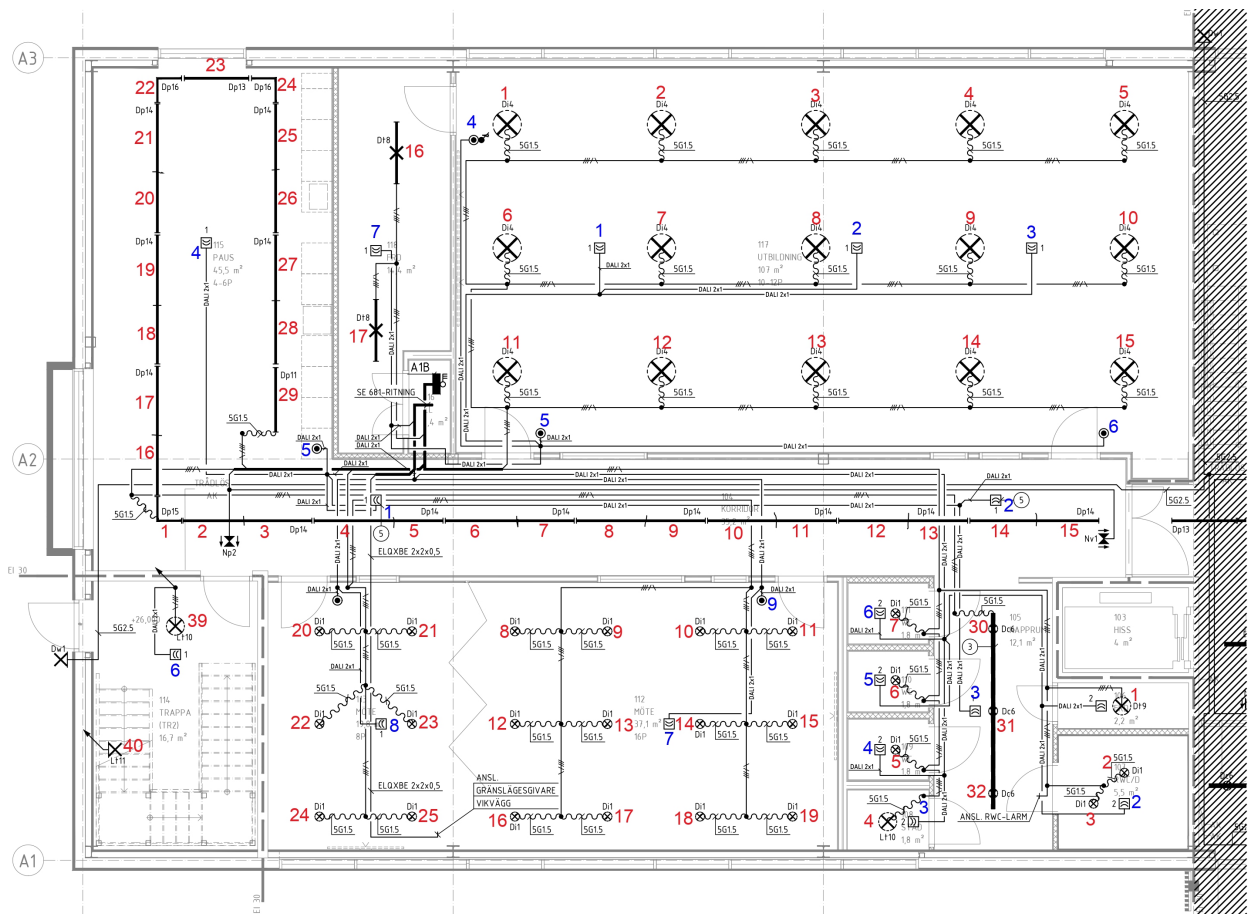
8 Bilagor



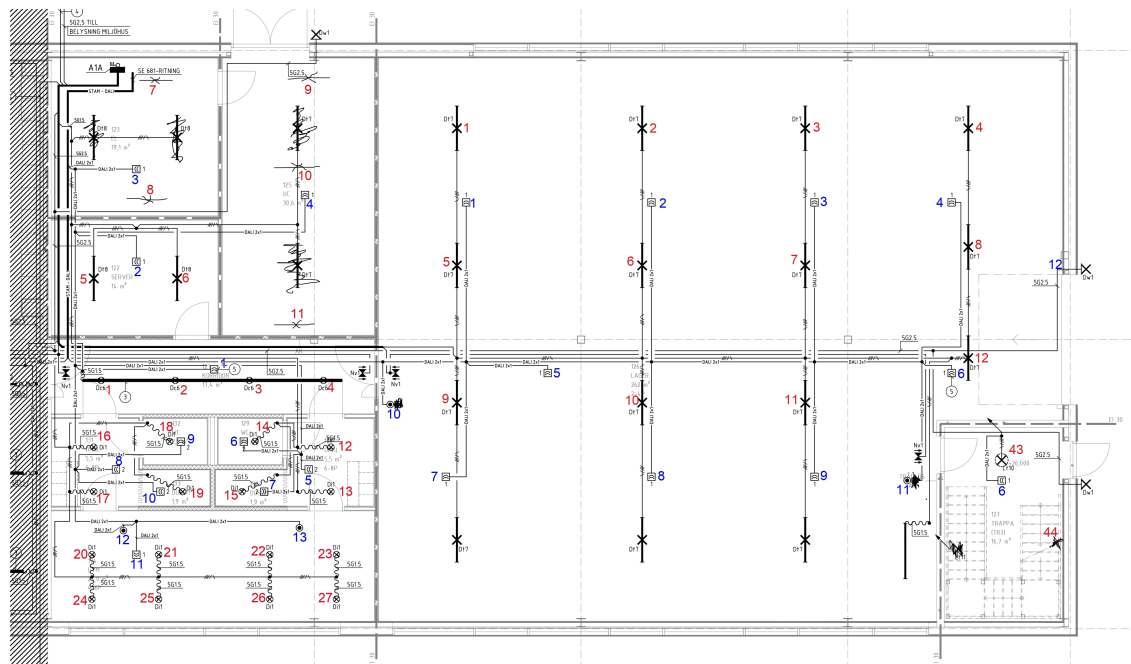
Figur 15: Planlösning norra delen våning 2. Röda siffror är lampor och blåa är givare



Figur 16: Planlösning centrala delen våning 2. Röda siffror är lampor och blåa är givare



Figur 18: Planlösning norra delen våning 1. Röda siffror är lampor och blåa är givare.



Figur 20: Planlösning södra delen våning 1. Röda siffror är lampor och blåa är givare.

Appendix

A Strukturer

A.1 ST_DALIControlGearSettings

Strukturen består av:

- `nErrors` av typen `DWORD`, som indikerar om något är fel.
- `bPresent` av typen `BOOL` som indikerar om lampan finns registrerad på den shortadressen.
- `nActualLevel` av typen `BYTE` som ger ett värde på vilken ljusnivå lampan befinner sig på.
- `nPowerOnLevel` av typen `BYTE` som är ett förinställt värde som en lampa ska gå till vid uppstart.
- `nSystemFailureLevel` av typen `BYTE` och används för att se om något fel uppstår på bussen.
- `nMinLevel` av typen `BYTE` som bestämmer lampans lägsta ljusnivå, ett värde mellan 0 och 254.
- `nMaxLevel` av typen `BYTE` som bestämmer lampans högsta ljusnivå, ett värde mellan 0 och 254.
- `eFadeRate` av typen `E_DALIFadeRate` som är ett värde på hur snabbt lampan ska övergå mellan ljusnivåer. Ett värde med enheten ljusnivå per tidsenhet.

- eFadeTime av E_DALIFadeTime som är en representation av tid. FadeTime innebär tiden från lampans miniminivå till maximumnivå.
- eFadeTimeBase av typen E_DALIExtendedFadeTimeBase är en bas som kan användas i beräkningen av fadeTime. Förutsättningen är att fadeTime sätts till E_DALIFadeTime.Disabled samt att fastFadeTime sätts till E_DALIFastFadeTime.Disabled. eFadeTimebas multipliceras med eFadeTimeMultiplier.
- eFadeTimeMultiplier av typen E_DALIExtendedFadeTimeMultiplier är en faktor som kan användas i beräkningen av fadeTime. Förutsättningen är att fadeTime sätts till E_DALIFadeTime.Disabled samt att fastFadeTime sätts till E_DALIFastFadeTime.Disabled. eFadeTimebas multipliceras med eFadeTimeMultiplier och blir fadeTime.
- nRandomAddress av typen DWORD och används när lamporna ska tilldelas en shortAdress. RandomAddress är tre bytes long och kan även benämnas som longAddress.
- nGroups av typen WORD där varje bit representerar en grupp. Om lampan ifråga ingår i en grupp sätts den biten till ett, annars förblir biten 0. På varje slinga finns 16 grupper, noll till 15.
- aSceneLevels av typen ARRAY [0..15] OF BYTE, i de 16 scener som går att ställa in beskrivs lampans ljusnivå i respektive scene.
- nStatus av typen BYTE och anger lampans status.
- nMajorVersion av typen BYTE, denna visar vilken huvudversion av mjukvaran som är installerad på lampan.

- nMinorVersion av typen BYTE, det är den mindre versionen på lampan.
- aDeviceTypes av typen ARRAY [1..20] OF E_DALIDeviceType, som beskriver lampans typ.
- nPhysicalMinLevel av typen BYTE som är lampans fysiska lägsta ljusnivå.

Hämtat från Beckhoffs hemsida infosys .[23](#)

B Funktionsblock

B.1 FB_DALI_ESYLUX_PD_C_360_BMS

FB_DALI_ESYLUX_PD_C_360_BMS är ett funktionsblock som finns i Beckhoffs bibliotek Tc3_DALI. Funktionsblocket är en representation av Esylux närvarosensor. Funktionsblocket kan hämta signaler från en Esylux närvarosensor och formatera om signaler till behandliga variabler.

Funktionsblocket har flera olika ingångar och utgångar, ingången initialize är av typen boolean och sätts till true när parametrar ska uppdateras i blocket. Initialize är kopplat till utsignalen initializing som också är av typen boolean och är true under tiden blocket initialiseras.

Ingången shortaddress tar in en USINT (Unsigned Integer) vilket representerar ett heltal i intervallet 0-255. Shortaddress är adressen för Esylux enheten på DALI-slingan. Options är en ingång som tar in ett DWORD (Double Word) vilket representerar ett 32-bitars heltal. Options ska kunna ställa in

specifika inställningar på blocket. Just nu saknar Beckhoff implementering på den här ingången utan den är reserverad för framtida utveckling. Querypushbutton, queryoccupancy och querybrightness är tre ingångar där samtliga är av typen boolean. Vid en true signal skickar respektive ingång en fråga om hur tillståndet för blockets knappar (pushbuttons), närvaro (occupancy) och ljusnivå (brightness) är vilket skickas till utgångarna på blocket. Utgångarna är av typen boolean och heter readingpushbutton för knapparna, readingoccupancy för närvaron och readingbrightness för ljusnivån. Utsignalen är antingen true eller false baserat på tillståndet på respektive variabel. Är till exempel en knapp nedtryckt och querypushbutton får en true signal kommer readingpushbutton få en positiv puls. Likadant för närvaron och ljusnivån. Cancelholdtimeroccupancy är den sista ingången för blocket och är av typen boolean. En true signal på ingången avslutar och återställer cancelholdtimer, vilket innebär att utsignalen occupied återställs till sitt ursprungsvärde. Utsignalen error är av typen boolean och sätts till true om något blivit fel. Felet som har uppstått kan läsas av via utgången ipresultmessage som är av typen L_TcMessage som är som ett felmeddelande. Pushbuttonevent är vad som går vidare som en signal till lamporna, den är av typen word och för att kunna läsa av den som en boolean går den igenom blocket FB_DALI_ToPushButtonState.

Genom att tilldela funktionsblocket FB_DALI_ESYLUX_PD_C_360_BMS motsvarande shortaddress som den har i DALI-slingan, får funktionsblocket närvarosignaler och ljusnivå feedback genom utgångarna occupied och brightnessLevel. Dessa kan i sin tur användas för att styra lamporna på DALI-slingan, till exempel om occupied blir true ska lampan få en signal att tändas.

B.2 FB_DALI102DIMMER1SWITCH

Funktionsblocket används för att kunna implementera dimning till lamporna. Funktionsblocket har hög funktionalitet med många möjligheter att styra belysningen. Initialiseringsingången används för att uppdatera blockets properties. Adressering av blocket sker via en adressingång och en adress-typsingång, det vill säga att dimning är möjlig över enskilda lampor och grupper av lampor. Switchingången sätter igång och stänger av lamporna när den ingången får en positiv flank. RecallMax och RecallMin används för att gå till lampans förinställda maximum och minimum nivå. Även dessa ingångar triggas av en signal med positiv flank. On, off och toggle är tre ingångar som sätter igång och stänger av lamporna. On och toggle kan båda spara senaste ljusnivån lamporna hade innan de stängdes av. Vid aktivering återgår lamporna till det sparade ljusnivå värdet. I övrigt sätter on igång lamporna, off stänger av lamporna och toggle sätter igång och stänger av lamporna beroende på lampornas tillstånd. Ingångarna Gotoscene och scene används för att sätta lamporna i tillståndet av en specifik scen. Gotoscen är en boolean och triggas av en positiv flank vilket gör att lamporna går till scenen som värdet Scen har som är av typen byte. Setlevel och level fungerar likt Gotoscen och scen, Setlevel är en boolean som triggas av en positiv flank vilket gör att lamporna går till en specifik ljusnivå som ges av level, level är av typen byte. Levelmemorymode används för att sätta lamporna till minimum eller maximum nivå när memory mode inte är igång för blocket, levelmemorymode är av typen byte. Referencedeviceaddress är en ingång av typen byte och används för att få feedback på utgångarna från FB_DALI102DIMMER1SWITCH. Byte värdet som går in i referencedevice-

address är en representation av någon lampa på slingan, förslagsvis någon av lamporna som styrs av FB_DALI102DIMMER1SWITCH blocket. Cycleactuallevel är en ingång av typen time, vilken används för att styra hur frekvent PLC:n ska kolla värdet på lamporna. Options är en ingång som kan sätta igång eller stänga av memory mode för funktionsblocket. Utgångarna ur funktionsblocket är error, ipresultmessage, busy, initilize och actuallevel. Error, busy och initialize är signaler av typen boolean som berättar om ett fel har uppstått under tiden blocket arbetar med något och är i en initialisering. Om ett fel inträffar kommer ipresultmessage ge ett felmeddelande som indikerar vad som har inträffat. Actuallevel är av typen byte och ger ljusnivåvärdet på lamporna, en form av feedback på vilket värde som lamporna styrs på för tillfället. [25]

B.3 FB_DALI_HELVAR8BUTTONMODULE

Funktionsblocket representerar en knappsats med åtta knappar. Funktionsblocket har elva ingångar varav åtta är varsin ingång till knapparna. Knapparna är vad arbetstagarna har tillgång till vad det gäller manuell styrning av belysningen, knapparna är av typen boolean. Utöver knapparna har funktionsblocket ingångar för initialisering, adress till DALI enheten och inställningar. Initialiseringen är till för att uppdatera värdena i funktionsblocket, till exempel olika properties, initialiseringen är av typen boolean. Adress-ingången används för att identifiera DALI enheten som ska skicka och ta emot information från funktionsblocket, adressen är av typen byte [29].

B.4 FB_DALI_ToPushButtonState

Funktionsblocket `topushbuttonstate` har en ingång och en utgång. Ingången är av typen `UINT` (Unsigned Integer) vilket är en 16-bitars som befinner sig i intervallet 0 - 65 535. Ingången heter `pushbuttonstate`, utgången `pushbutton` är av typen `boolean`. Funktionsblocket används för att översätta knapptryckningsscener som kommer från till exempel `Esylux`-blocket till booleanska signaler som till exempel kan användas i `dimmerswitch`-blocket.

26

B.5 FB_DALI102GetSettings

`FB_DALI102GetSettings` är ett funktionsblock som använder sig av en array av strukturen `ST_DALIControlGearSettings`. Från den här strukturen hämtar blocket information och inställningar som är användbara i programmet. Funktionsblocket har fem ingångar. Ingången `bStart` är av typen `boolean` och är själva startknappen för blocket, om `bStart` triggas med en positiv signal påbörjas själva hämtningen av information. `nDevices` är nästa ingång och är av typen `LWORD`. Med `nDevices` bestäms vilka enheter på slingan vars inställningar ska hämtas, default värdet på `nDevices` är `16#FFFF_FFFF_FFFF_FFFF` vilket representerar samtliga enheter som befinner sig på slingan. `nOption` är en ingång som ställer in vilka inställningar och vilken information som ska hämtas när funktionsblocket körs. Informationen som kan hämtas är olika variabler som ingår i strukturen `ST_DALIControlGearSettings`. Default värdet på `nOptions` är `Tc3.DALI.GVL.cOptionAll` som innebär att samtliga inställningar och variabler som kan läsas hämtas. `bCancel` är en

ingång av typen boolean. Om bCancel får en positiv signal avbryts läsningen av inställningarna. Sista ingången på FB_DALI102GetSettings är eCommandPriority av typen E_DALICommandPriority vilket anger prioriteten hos DALI kommandona. Alternativen på prioritet är low, middle low, middle, middle high, high. Både som ingång och utgång (så kallat var-in-out) finns arrDALI-DeviceSettings vilket är en array av typen ST_DALIControlGearSettings där informationen och inställningar skrivs över eller hämtas från. Antalet utsignaler från blocket är fyra, bError är av typen boolean. bError sätts till true om något går fel under exekveringen av funktionsblocket. ipResultMessage är av typen L_TcMessage, om något är fel kan ett felmeddelande läsas av från ipResultMessage efter bBusy utsignalen har gått från true till false. bBusy är av typen boolean och används för att indikera när blocket är igång och körs. När bBusy signalen är true är blocket under exekvering. nCurrensntShortAddress är av typen BYTE och används för att veta vilken adress som läses från eller skrivs till. [27]

B.6 FB_DALI102SetSettings

FB_DALI102SetSettings är ett funktionsblock som använder sig av en array av strukturen ST_DALIControlGearSettings. Från den här strukturen skriver blocket information och inställningar över till DALI-enheterna som sedan sparas. Funktionsblocket har fem ingångar. Ingången bStart är av typen boolean och är själva startknappen för blocket. Om bStart triggas med en positiv signal påbörjas själva skrivningen av information. nDevices är nästa ingång och är av typen LWORD. Med nDevices bestäms vilka enheter på slingan vars inställningar ska justeras, default värdet på nDevices är

16#FFFF_FFFF_FFFF_FFFF vilket är samtliga enheter som befinner sig på slingan. nOption är en ingång som ställer in vilka inställningar och vilken information som ska justeras och skrivas över när funktionsblocket körs. Informationen som kan justeras är olika variabler som ingår i strukturen ST_DALIControlGearSettings. Default värdet på nOptions är Tc3_DALI.GVL.cOptionAll som innebär att samtliga inställningar och variabler som kan justeras skrivs över med de nya värdena. bCancel är en ingång av typen boolean, om bCancel får en positiv signal avbryts skrinvingen av inställningarna. Sista ingången på FB_DALI102GetSettings är eCommandPriority av typen E_DALICommandPriority vilket anger prioriteten hos DALI kommandot, alternativen på prioritet är low, middle low, middle, middle high, high. Både som ingång och utgång, en var-in-out finns arrDALIDeviceSettings är en array av typen ST_DALIControlGearSettings där informationen och inställningar skrivs över och hämtas från. Antalet ut-sig-naler från blocket är fyra, bError är som är av typen boolean. bError sätts till true om något går fel under exekveringen av funktionsblocket. ipResultMessage är av typen I_TcMessage, om något är fel kan ett felmeddelande läsas av från ipResultMessage efter bBusy utsignalen har gått från true till false. bBusy är av typen boolean och används för att indikera när blocket är igång och körs, när bBusy signalen är true är blocket under exekvering. nCurrenShortAddress är av typen BYTE och används för att veta vilken address som läses från eller skrivs till. [28]