



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

ENERGIATÕHUSA ELEKTERVALGUSTUSE
PROJEKTEERIMINE KNX-DALI SÜSTEEMIS

DESIGNING ENERGY EFFICIENT ELECTRICAL LIGHTING

WITH THE KNX-DALI SYSTEM

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kaido Lillemägi

/nimi/

Üliõpilaskood: 092810

Juhendaja: Madis Lehtla, dotsent

/nimi, amet/

Tallinn 2019

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“24” mai 2019. a

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 2019. a

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”2019 .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Kaido Lillemägi 092810

Õppekava, peeriala: AAAM 02/09 Energiamuundus- ja juhtimissüsteemide õppekava.
Automatiseerimine ja robotitehnika.

Juhendaja(d): dotsent, Madis Lehtla, 620 3697

Lõputöö teema:

(eesti keeles) ENERGIATÕHUSA ELEKTERVALGUSTUSE PROJEKTEERIMINE KNX-DALI SÜSTEEMIS

(inglise keeles) DESIGN OF ENERGY EFFICIENT ELECTRICAL LIGHTING IN KNX-DALI SYSTEM

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Hooneautomaatikasüsteemide KNX ja DALI energiatõhusa kasutusnäite loomine hoonete elektervalgustuse projektide jaoks.
2. Hoone elektriprojekti kavandamise juhend, mis käsitleks nii valgustuse arvutusi kui ka hooneautomaatikaseadmeid nende juhtimiseks.
3. Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudis oleva KNX ja DALI õppestendi võimaluste uurimine ja läbi töötamine hooneautomaatikarakenduste loomisel.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Sisukord, lõputöö ülesanne, eessõna, sissejuhatus	02.2018
2.	Lühiülevaade enimkasutatavatest süsteemidest valgustuse juhtimisel	04.2018
3.	Hoone elektriprojekti kavandamine käsitledes nii valgustuse arvutusi kui ka hooneautomaatikaseadmeid nende juhtimiseks.	04.2018
4.	Tulemused, kokkuvõte, kasutatud kirjandus.	10.05.2018

Töö keel: Eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "25" mai.....2019. a

Üliõpilane: Kaido Lillemägi "24" mai 2019. a

/allkiri/

Juhendaja: dotsent, Madis Lehtla "27" mai 2019. a

/allkiri/

SISUKORD

AUTORIDEKLARATSIOON	2
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	3
SISUKORD	4
EESSÕNA	6
LÜHENDID	7
SISSEJUHATUS	9
1. ENERGIATÕHUSUS JA ELEKTERVALGUSTUSE JUHTIMISE VAJADUS.....	11
1.1 Energeetika, energiatõhususe olulisus.....	11
1.2 Energiatõhusus läbi elektervalgustuse.....	13
1.3 Elektervalgustuse juhtimise vajadus ja moodused	15
2. HOONEAUTOMAATIKA JA ELEKTERVALGUSTUSE JUHTIMINE	19
2.1 Tehnoloogilised võimalused valgustuse automaatjuhtimisel	19
2.1.1 Juhtseadmed	19
2.1.2 Valgusvoo juhtimise täiturelemendid ja tehnoloogiad	22
2.2 Andmesidevõrgud ja protokollid valgustuse juhtimisel	28
2.2.1 KNX standard.....	30
2.2.2 Adresseerimise põhimõtted KNX võrgus.....	31
2.2.3 Digitaalselt adresseeritav valgustuse juhtimisliides.....	34
2.2.4 ZigBee lühikirjeldus	36
2.2.5 Z-Wave lühikirjeldus.....	37
3. PROJEKTEERIMINE	38
3.1 Näidisruumi valik ja iseloomustus.....	38
3.2 Valgustehnilised eesmärgid ja projekteerimise standardid	39
3.3 Valgustuse arvutused	41
3.4 Valitud seadmed.....	44
3.4.1 KNX andmesidelüüsid.....	45
3.4.2 KNX toiteplokk.....	48
3.4.3 Surunupplülititega KNX andurimoodul	49
3.4.4 KNX konstantse valgustiheduse andur	50
3.5 Juhtimisalgoritm.....	52
3.6 Valgustuse juhtimine ETS5 arvutiprogrammiga	54
3.7 Valgustite adresseerimine ja grupeerimine	62

KOKKUVÕTE	66
SUMMARY	68
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	70
LISAD	73
Lisa 1 DIALux valgusarvutuste mudelid ja ETS5 valgustuse juhtimise failid.....	74

EESSÕNA

Magistritöö valmis autori initsiatiivil huvist automaatika, valgustuse ja energeetika vastu. Seoses andmesidevõrkude laialdase levikuga hoonete elektripaigaldistes ja asjade Inerneti (IoT) seadmete levikuga erinevates hoonetes on tekkinud vajadus erinevate andmesidevõrkude omavaheliseks sidumiseks ja integreerimiseks. Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi mikrovõrkude laboris oli varem koostatud KNX ja DALI võrkusid sisaldav hooneautomaatika stand. Viimast saab kasutada nii õppeotstarbel kui ka abivahendina KNX ja DALI võrkusid sisaldavate elektripaigaldiste projektide kavandamisel ning nende tarkvara testimisel. Sooviksin siinkohal tänada oma juhendajat dotsent Madis Lehtlat ja valgustehnika spetsialisti Toivo Varjast.

Võtmesõnad: elektriprojekt, hooneautomaatika, energiatõhusus, KNX, DALI, valgustus, automaatjuhtimine, andmesidevõrk, magistritöö

LÜHENDID

- AM – amplituudmodulatsioon (*amplitude modulation*)
- BC – sidumislüli ala ühendamiseks magistraalliiniga ehk võrgu „selgrooga“ (*backbone coupler*)
- BIM (1) – siini liidese moodul (*Bus Interface Module*)
- BL – magistraalliin (*backbone line*)
- DALI – digitaalne valgustite juhtimissüsteem (*Digital Addressable Lighting Interface*)
- DPT – KNX andmetüüp (*datapoint type*)
- EIB – standard, millest arenes KNX (*European Installation Bus*)
- EIS – Instabus (EIB) standardi järgne andmetüüp KNX standardis (*EIB Interworking Standard*)
- E_m – valgustihedus töötasapinnal
- ETS – KNX seadistamise tarkvara (*Engineering Tool Software*)
- KNX – Konnex, varasem nimetus EIB, avatud hooneautomaatika standard
- LC – seadmeliini ühendaja ala pealiiniga (*line coupler*)
- LED – valgusdiod (*Light Emitting Diode*)
- LENI – (*Lighting Energy Numeric Indicator*)
- LPDU – ühenduskihi protokollide andmeplokk (*Link layer Protocol Data Unit*)
- LSB – vähima kaaluga bitt (*least significant bit*)
- MDRC – moodulseade (modular installation device)
- ML – ala seadmeliine ühendav pealiin (*main line*)
- MSB – suurima kaaluga bitt (most significant bit)
- PELV – maandatud väikepinge (*protective extra-low voltage*)
- PIR – passiivne infrapuna andur (*Passive infrared sensor*)
- PL – võrgupingega liin (*power line*)
- PLC (1) – tööstuskontroller (*programmable logic controller*)
- PLC (2) – elektrivõrgu side (*power line communication*)
- PWM – laius-impulssmodulatsioon ehk pulsilaiusmodulatsioon (*pulse width modulation*)
- R_a – lampide värviedastusindeks
- RF – raadiosageduslik side (*radio frequency*)
- RGB – liitvärvide mudel värvide liitmiseks (red, green, blue)
- SELV – maandamata kaitsevähikepinge (*safety extra-low voltage*)
- STP – varjestatud keerdpaar kaabel (*Shielded Twisted Pair*)
- ZigBee – sideprotokollide avatud standard
- Z-wave – hooneautomaatika sideprotokoll
- TCP – edastusohje protokoll (*transmission control protocol*)

TP – keerdpaarkaabel (*Twisted Pair*)

TRIAC – sümistor (*TRIode for Alternating Current*)

U_0 – valgustiheduse ühtlus, (E_{\min}/E_m)

UART – asünkroonne andmevahetus side (*Universal asynchronous receiver-transmitter*)

UGRL₀ – valguse räägus

USB – ühendussiin (*Universal Serial Bus*)

SISSEJUHATUS

Inimkonna tehnoloogiline võimekus on jõudnud kõrgele tasemele ja inimene kasutab meelsasti tööstuse ja tehnoloogia saavutusi oma heaolu suurendamiseks. Heaolu näideteks on turva, rahulolu- ja mugavustunne. Arenenud tehnoloogiad tõstavad majanduse tõhusust, kuid on suurendanud mahtusid ja tarbimist. See on tekitanud surve looduskeskkonnale ja fossiilsetele kütustele. Need pole lõputud.

Kaupade säästlik ning energia efektiivne tarbimine on meie planeedi jätkusuutlikkuse seisukohast väga olulised. Inimkond on seda mõistnud, selgelt teadvustanud ja asunud ka tegutsema. Energeetika on oma olemuselt otseselt seotud loodusressurssidega ning seepärast väga oluline selle efektiivne kasutamine. Viimastel kümnenditel on jõuliselt asutud tegutsema elektri säästliku kasutamise nimel. Seda nii tööstuses, ehituses, avalikus sektoris ja kodumajapidamistes. Füüsilised piirid (nõ loodusseadused) koos normatiivide ja standarditega sätestavad energiatõhususe nõuded hoonetele, sealhulgas energia tarbimisele.

Valgustus moodustab olulise osa hoonetes tarbitavast elektrienergiast. Nüüdisaegsed hooneautomaatikasüsteemid on kiirelt arenev valdkond, mis pakub hoonete energiatõhususe parandamiseks laialdasi võimalusi.

Sellest lähtuvalt saab sõnastada antud magistritöös kirjeldatava probleemi, milleks on energiasääst läbi valgustuse automaatse juhtimise. Selle probleemi lahendamine loob inimesele mugavustunnet ja rahulolu, sest automaatselt toimivas valgustuses on suurepärane liikuda, täita tõhusalt tööülesandeid ja puhata. Energiasäästu näol saaks vähendada tarbimise survet loodusressurssidele, sest valgustust juhitakse ja lülitatakse vastavalt reaalsele oludele ning vajadustele. Teema on aktuaalne ja ajakohane seoses kasuhoonegaaside emissiooni vähendamise ja seal edasi kliima soojenemise peatamisega. Kõik eelkirjeldatu on põhjenduseks, miks on teemat magistriöös uuritud. Töös pakutakse ka hoonete elektripaigaldistele sobilikke tehnilisi lahendusi.

Lõputöö eesmärgi saab sõnastada järgmiselt: energiatõhusa automaatse valgustuse juhtimise lahenduse disainimine. Eesmärgi täitmise raames projekteeritakse konkreetse ruumi näitel automaatselt juhitud energiatõhus valgustuse lahendus. Ruumina kasutatakse Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi ruumi nr NRG-430, mida kasutatakse praegu aktiivselt õppeklassina. Hetkel kasutatav valgustuse tehniline lahendus on ehitatud koos hoone valmimisega 2004. aastal ega vasta enam tänapäevastele vajadustele. Ruumi eripäraks on tema mõõtmed ning päevavalguse halb jaotus. Lõputöös selgitatakse oluliste insenertehniliste mõõtmiste teostamist ning seadmete valiku meetodikat. Töös püütakse anda süstematiseeritu ülevaade kehtivatest õigusaktidest ja nendega seotud normdokumentide nõudetest projekteerimisprotsessis. Töö on jagatud kolmeks peatükiks.

Esimeses peatükis kirjeldatakse energiatõhususe mõistet ja valgustuse juhtimise vajadust. Teises peatükis vaadeldakse laiemalt hooneautomaatikat ja elektervalgustuse juhtimise võimalusi. Kolmandas peatükis kirjeldatakse energiatõhusa valgustuse projekteerimise protsessi detailsemalt. Lisades on välja toodud arvutusi ja jooniseid ruumi valgustuse kohta.

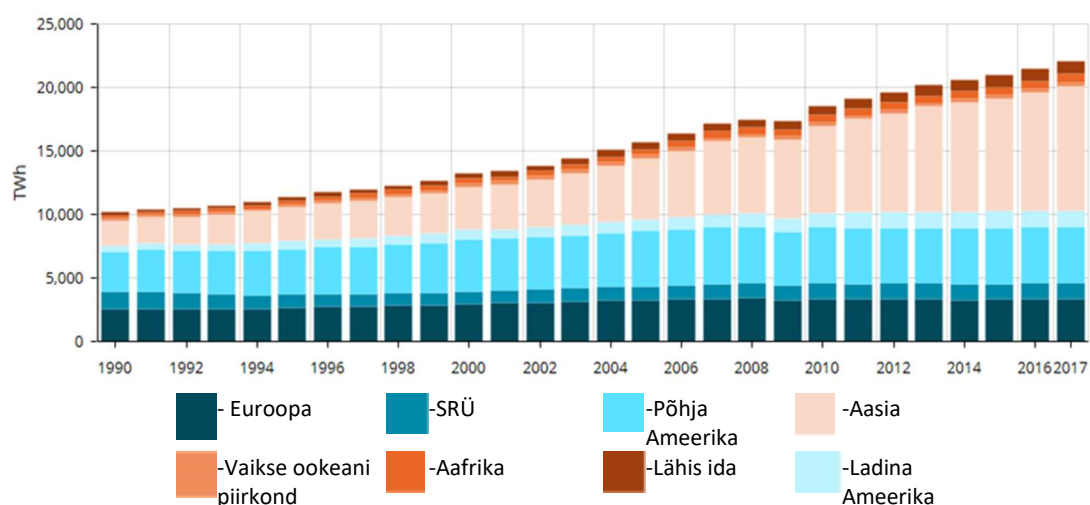
Töös on kasutatud arvutiprogramme DIALux evo 8.1 [45] valgusarvutuste ja projekteerimise teostamiseks, CADS Planner Electric 18 [46] ja AutoCAD 2016 [47] elektriskeemide ja paigaldusjooniste koostamiseks. Maketil koostatud süsteemi seadistamiseks kasutati programmi *ABB i-bus Tool* [52] DALI-võrgus valgustirühmade koostamiseks ning tarkavaravahendit ETS5 [48] mitmesuguste valgustuse juhtimisega seotud seadmete seadistamiseks KNX hooneautomaatikavõrgus.

Käesolev magistritöö võiks olla heaks lähtematerjaliks valgustuse projekteerimisega ja automatiseerimisega tegelevatele inseneridele elektripaigaldiste projekteerimisega tegelevates ettevõtetes.

1. ENERGIATÕHUSUS JA ELEKTERVALGUSTUSE JUHTIMISE VAJADUS

1.1 Energeetika, energiatõhususe olulisus

Elame kasvava rahvaarvuga maailmas ja koos sellega kasvavad ka inimeste vajadused toidule ja erinevatele hüvedele. See on kaasa toonud koos maailma majanduse kasvuga ka maailma energiaressursside aina suurema kasutuse. Nii on tekkinud suur koormus planeedi ammenduvatele loodusressurssidele. Seda iseloomustab hästi maailma elektrienergia tarbimise kasvav trend, mida kirjeldab joonis 1.1. Kogu elektrienergia tarbimine 2017. a. oli 22 200 TWh, Euroopas 3 377 TWh, Eestis 8,5 TWh.



Joonis 1.1 Maailma elektrienergia tarbimine 1990 – 2017 a. [1]

Elektrienergia tarbimine suureneb maailmas kiiremini kõikidest teistest energialiikidest. Suurim kasv viimaste aastate lõikes on Aasia riikide seas, eelkõige Hiinas, aga ka Jaapan, India ja Indoneesia. USA elektri tarbimine on alates 2011. aastast energiasäästupoliitika toel püsinud stabiilsena, 2017. aastal aga langes. Euroopa Liidus on elektri tarbimine väiksel tõusvas joones, väike langus on Inglismaa tarbimises. [1]

Energia tarbimise kasv on toonud esile vajaduse energia säästlikuks kasutamiseks. Lähtuvalt Euroopa Liidu normidest on Eestis koostatud ning vastu võetud „Energiamajanduse arengukava aastani 2030“ (Vabariigi Valitsuse 20.10.2017. a korraldus nr 285). [2] Arengukavas on seatud eesmärgid kasvuhoonegaaside heitkoguste piiramiseks, taastuvenergeetika osakaalu saavutamiseks, energia lõpptarbimise ja primaarenergia sisemaise tarbimise mahtude määramiseks.

Eesti Vabariik on võtnud endale 2030. aastaks arengukavaga järgnevaid eesmärke:

1. Hoonete energiatõhususe suurendamine rekonstrueerimistegevusega;
2. Projekteerida aastast 2019 avaliku sektori hooned ja aastast 2021 kõik uued hooned liginullenergia hoonetena (A klass) [38];
3. Vähendada 2030. aastaks primaarenergia sisemaist tarbimist 10% võrreldes 2012. aastaga;
4. Vähendada Eesti majanduse energiamahukust tänaselt 5,6 MWh-lt/1000 €_{SKP 2012} 2 MWh-ni/1000 €_{SKP 2012};
5. Euroopa Liidu energiatõhususega seatud mittesiduv eesmärk suurendamiseks aastaks 2030 energiatõhusust 27% võrra.

Energiatõhususe all mõistame energiakasutuse tõhusust ehk efektiivsust. Tõhus energiakasutus hõlmab tehnoloogiat ja meetmeid, mis vähendavad energiakulu sama tulemuse saavutamiseks näiteks hoonete energiaga varustamiseks. Hoonete energiatõhusust väljendatakse energiatõhususarvu kaudu ning kirjeldatakse valemiga [3]:

$$ETA = \frac{\sum_i (E_{tar,i} - E_{eks,i}) f_i}{A_{kõetav}} \quad (1.1)$$

kus ETA – energiatõhususarv, kWh/m²a,

$E_{tar,i}$ – energiakandjaga tarnitud energia, kWh/a,

$E_{eks,i}$ – energiakandjaga eksporditud energia, kWh/a,

f_i – energiakandja kaalumistegur,

$A_{kõetav}$ – köetav pind, m².

Energiatõhususarv kajastab hoone energiakasutust sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks. Hoonetele energiamärgise andmisel määratakse hoone energiatõhususarv energiatõhususe miinimumnõuete määruse kohaselt. [62]. Standard EVS-EN 15193:2007 [40] määratleb omakorda nõuded ja arvutamise meetoodika elektrienergiakulule hoonete valguspaigaldistes. Seda väljendatakse LENI (*Lighting Energy Numeric Indicator*) arvvärtusega ning mõõtühikuks on kWh/m² aastas.

Eesti tööstuse elektritarbimist iseloomustab suur energiatarve kogutoodangu ühiku maksumuse kohta (4 korda kõrgem kui maailma keskmine ja 5 korda kõrgem kui nt. Soomes). Elektriajamid tarbivad 60-70% kogu toodetavast elektrienergiast. Üks tõhusamaid energiatarbe vähendamise võimalusi seisneb reguleeritava kiirusega ning sagedusjuhtimisega elektriajamite kasutamises, kus sääst võib olla kuni 70 %. Energiatarbimise vähendamise seisukohalt tuleks süsteemi või protsessi

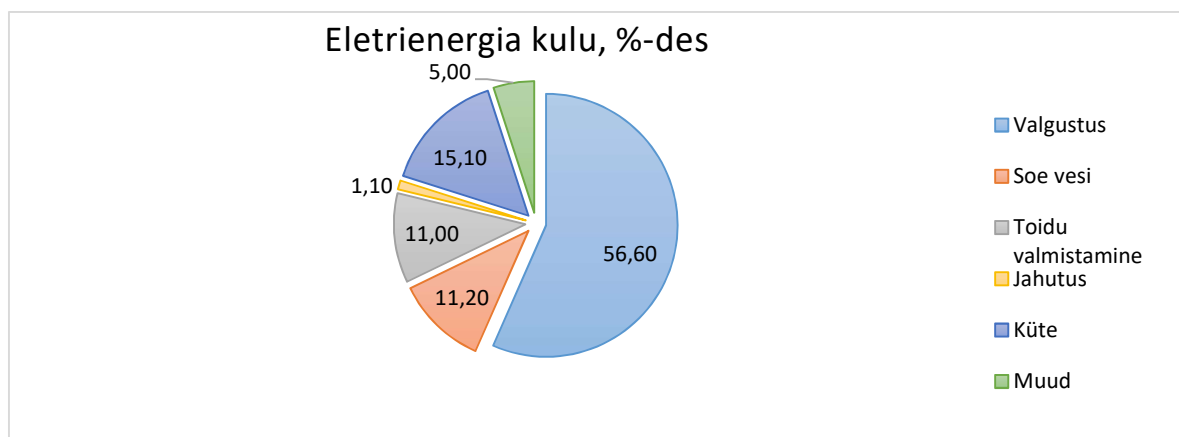
käsitleda tööstuses tervikuna, viia läbi analüüse ning ehitada välja säästlikumad ja efektiivsemad lahendused. [4]

Rahvusvahelisele Energiaagentuuri (IEA) tellimisel koostatud uuringute järgi on võimalik vähendada maailma energiavajadust 2050. aastaks ühe kolmandiku võrra. [5] Efektiivne energiakasutus saab olla üheks kestlikkuse eesmärgiks, millega kaasneb majanduslik kokkuhoid, väheneb ökoloogiline jalajälg ja planeedi süsinikdioksiidi (CO₂) emissioon. Energiatõhusus suurendab samuti riikide julgeolekut ja iseseisvust, sest efektiivsem tarbimine vähendab sõltumist naabermaadest.

1.2 Energiatõhusus läbi elektervalgustuse

Maailmas toodetavast kogu energiast tarbitakse hoonetes peaaegu 40%, seejuures toodetavast elektrienergiast kulub ehitiste erinevate vajaduste rahuldamiseks kuni 65%. [6] Ehitiste energiatarbimine maailmas aastatel 2000 – 2017 on kasvanud 20% ning on jätkuvas kasvutrendis. Rahvusvahelise Energiaagentuuri (IEA) raport toob välja fakti, et 2017. aastal tarbisid eluhooned enam kui kolm korda rohkem lõppkasutuses energiat võrreldes mitteeluhoonetega. Tööstushoonete energiatarbimine on samuti suurenenud, kuid see on ennekõike seoses kogu majanduse kasvuga. [7]

Euroopas kulub valgustusele ligikaudu 14% kogu toodetvast elektrienergiast. Sellest 20% tarbivad kodumajapidamised ja 80% äri- ja avaliku teenistuse valdkond, haridusasutused, bürood, kaubanduskeskused. Eurostat ehk Euroopa Komisjoni statistikaamet on oma arvutustes väljendanud elektrienergia tarbimise liigiti elumajapidamiste kohta. 2016.a. aruande põhjal saame teada, et elektrienergia kulu majapidamistes jagunes järgnevalt:



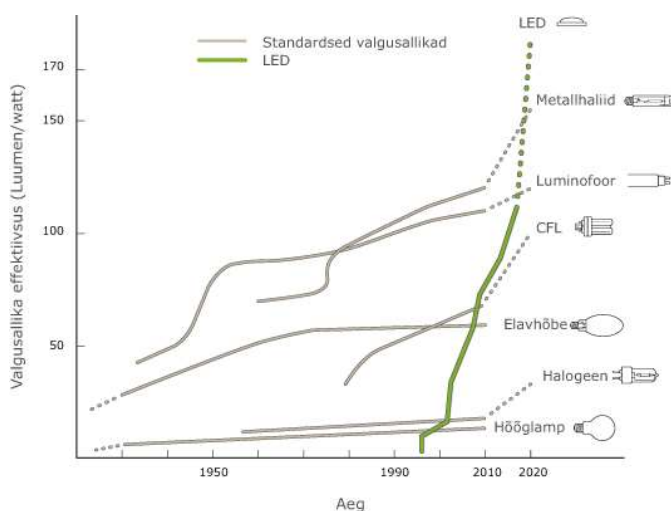
Joonis 1.2 Elektrienergia kulu eluhoonetes 2016 a. [8]

Analüüsidest joonisel toodud diagrammi võib järeldada, et Euroopa majapidamistes moodustab kulu valgustusele üle poole kogu tarbitavast elektrienergiast. Arvestades eelnevat ning teades energiatõhususe olulisust, on oluline mõista ning rakendada meetmeid valgustuse efektiivsuse suurendamiseks energiatarbimise seisukohalt.

Energiatõhususe suurendamise võimalused läbi elektervalgustuse on rakenduvad läbi kahe peamise eeltingimuse. Nendeks on tehnoloogilised võimalused ja seadusandlikud aktid. Valgustehnika ja sellega seatud elektroonikaseadmete tehnoloogiline areng on viimastel aastatel kiirelt arenenud kogu maailmas. Valgustuse juures on viimased energiatõhusad ja uued saavutused järgnevad:

- Valgusdiodidel põhinevate lampide kasutamine;
- elektroonilised (sh juhitavad) liiteseadmed lahenduslampidele ja valgusdiodidega valgustitele;
- valgustite juhtimise laiemad ja paindlikumad võimalused;

Elektervalgustuses kasutatava valgusdiodtehnoloogiaga toodete laiaulatuslik areng algas 2009. aastal ning jätkub siiani. Valgusdiodlampidel (LED) on märkimisväärsed eeliseid hõõglampide ja luminofoorlampide ees. Valgusdiodlampid on efektiivsemad, töökindlamad, lihtsalt reguleeritavad (värvus, valgustugevus), keskkonnasõbralikud, gabariidilt väikesed. Uuringute kohaselt ennustatakse, et 2020. aastaks on ligi 50 % uutest valgusallikatest valgusdiodtehnoloogial. Valgusdiodlampi efektiivsus on umbes 160 lm/W, järgmise kümne aasta jooksul prognoositakse efektiivsuseks 200 lm/W (joonis 1.3) [9]. Kõik need eelkirjeldatud omadused on loonud olukorra, kus LED valgusallikad on kiirelt asendamas teisi valgusallikate liike.



Joonis 1.3 Erinevate lampide efektiivsuse võrdlus, lm/W

Nüüdisaegsed elektroonilised liiteseadmed erinevad suuresti eelnevatel aastakümnetel kasutatutest. Seoses uute jõupooljuhtseadmete laialdase rakendamisega on valdavalt ainult elektromagnetilistel komponentidel (induktiivpoolidel, drosselitel) põhinenud seadmed asendunud elektrooniliste (transistoridel põhinevate) liiteseadmetega, milles kasutatakse pingemoduleerimist kõrge sagedusega. Uued elektroonilised liiteseadmed on töökindlamad, efektiivsemad, väiksemad, on võimalik vähendada valguse värelust ja rakendada valgustuse kaug- ning automaatjuhtimist. See on ühtlasi tinginud vajaduse erinevate uute regulatsioonide ja seaduste loomiseks. See hõlmab nii nõudeid valgustusele erinevates ruumides ja hoonetes, samuti nõudeid erinevate tootjate seadmete ühilduvuse loomiseks. Standardeid annavad välja Eesti Standardikeskus (EVS), Euroopa Standardikomitee (CEN), Euroopa Elektrotehnika Standardikomitee (CENELEC), Rahvusvaheline Standardiorganisatsioon (ISO). Energiatõhusa valgustuse loomisel on oluline teada mõningaid standardeid ja määraseid:

- CEN/TS 17165:2018 "Light and Lighting - Lighting System Design Process" [39]
- EVS-EN 15193-1:2017 „Hoonete energiatõhusus. Energiatõhusus valgustusele“ [40]
- EVS-EN 12464-1:2011 „Valgus ja valgustus. Töökohavalgustus“ [41]
- EVS-EN 15232-1:2017 „Hoonete energiatõhusus. Hoone automaatika, juhtseadmete ja hoonehalduse toime“ [42]
- EVS 894:2008+A2:2015 „Loomulik valgustus elu- ja bürooruumides“ [43]
- MTM määrus nr 52:2015 „Olulise energiatarbega tehnosüsteemidele esitatavad nõuded¹“ [44]

1.3 Elektervalgustuse juhtimise vajadus ja moodused

Pärast esimese hõõglambi valmistamist Thomas Alva Edisoni poolt 1879. aastal tekkis kohe vajadus ka lampide lülitamiseks. Esimese klahvlüli konstrueeris inglise elektriinsener ja leiutaja John Henry Holmes 1884. aastal [49]. Sellega oli loodud esimene valgustuse käsijuhtimissüsteem.

Valgustuse juhtimise olulisus on aina suurenenud seoses uute ja paremate tehniliste võimaluste tekkimisega. Kaasaegsed tehnoloogilised võimalused sh hooneautomaatikavõrgud, reguleeritavad toiteallikad, lambid, andurid ja paindlikud tarkvaralahendused annavad võimaluse juba täisautomaatsete valgustussüsteemide ehitamiseks hoonetes, tööstuses ja tänavatel. Valgustuse juhtimise vajadus tuleneb:

- energia kokkuhoiu vajadusest;
- vajadusest kasutusmugavuse parandamiseks sh mugavustunde loomine nii kodudes kui ka tootmises;

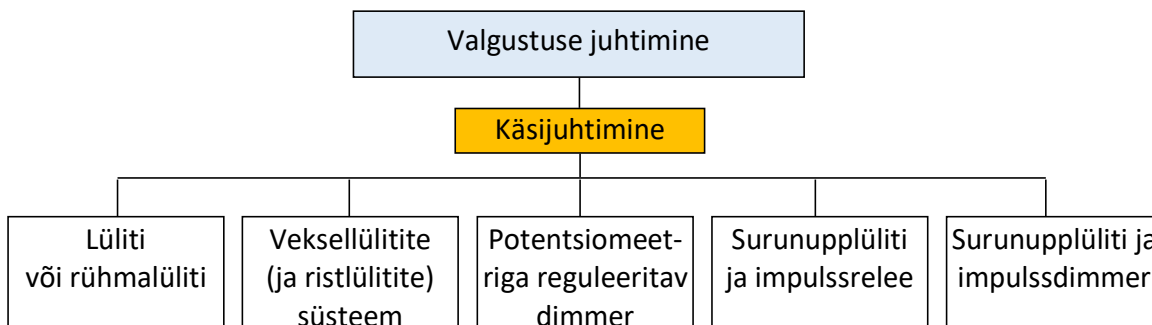
Ennekõike loob valgustuse juhtimine eeldused elektrienergia säästuks, vähendades seejuures hoone käidukulusid. See tähendab, et hoonetes ei pea olema kasutuses st lülitatud korraga suur hulk valgusteid vaid ainult need, mis sel hetkel on valgustamiseks vajalikud. Valgustite valgustugevust saab muuta ning neid saab rühmitada. Kuna valgustid eraldavad soojust, siis optimaalse valgustite kasutusega vähenevad ehitiste ventilatsioonikulud lisasoojuse eemaldamiseks ruumidest. Kokkuvõttes väheneb hoonete energiatarbimine. Optimaalne valgustuse juhtimissüsteem võimaldab kuni 70% elektri kokkuhoidu, kui kasutatakse elektroonseid liiteseadmeid. Liikumis- ja päevavalgusandurid aitavad saavutada lisakokkuhoidu. Büroohonete ruumid on keskelt läbi ainult 50% ajast hõivatud. Päevavalgus toetab 30-60% ulatuses töökoha valgustust, olenevalt paigutusest ilmakaarte suhtes[10].

Valgustusega on võimalik parandada ruumides viibivate inimeste mugavustunnet ja parandada ruumide hubasust. Selleks saab kasutada erinevaid valgustseene, sujuvat lülitamist ning valgustuse värvuse reguleerimist. Nii saab büroodes jt töökohtades luua mugavaid tingimusi töötaja tööülesannete tõhusamaks täitmiseks.

Valguse juhtimisel kasutatakse järgmisi mooduseid:

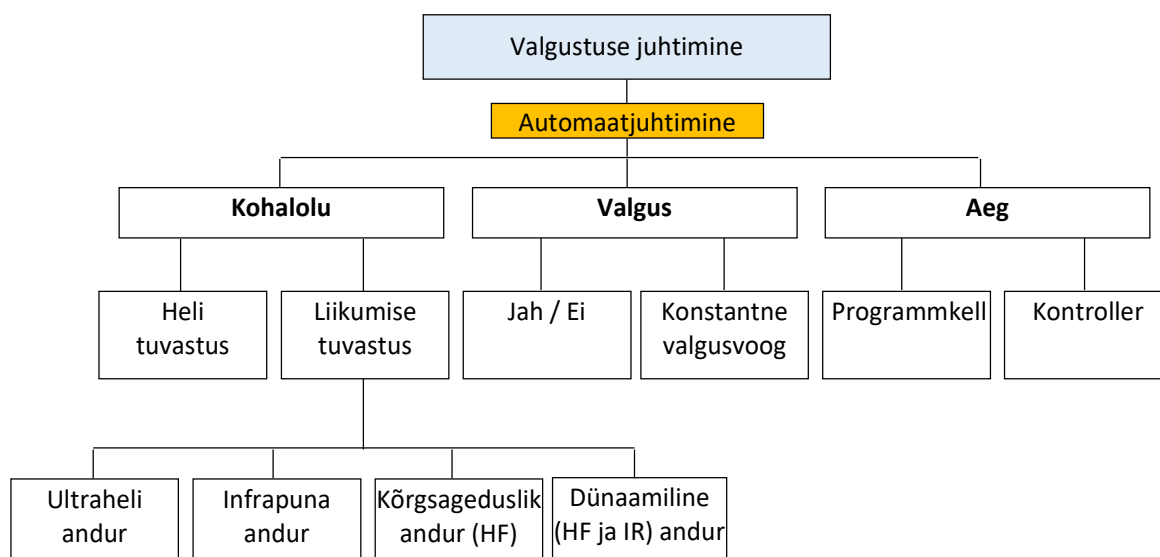
- käsijuhtimine (manuaalne juhtimine);
- automaatne juhtimine elektrikilbis paiknevast keskkontrollerist;
- kombineeritud manuaalne ja automaatne juhtimine (elektrikilbis paiknev kontrolleri koos käsijuhtimislülititega);
- hooneautomaatikavõrgu (nt EIB/KNX võrgu) abil hajutatud automaatjuhtimissüsteem.

Manuaalne (käsijuhtimine) juhtimine on kõige lihtsamini ja sageli ka kõige odavamalt teostatav lahendus, mis koosneb lihtsamal juhul vaid lülitist (rühmalülitist) ja süsteemis puuduvad andurid ja taimerid. Oma odavuse ning lihtsuse tõttu on see jätkuvalt laialt levinud juhtimisviis eluhoonetes ning väiksemates tootmisüksustes. Käsijuhtimine muutub keerukamaks ja kallimaks kui soovitakse lülitada mitmest erinevast kohast. Sel juhul tuleb kasutusele võtta keeruka kaabeldusega vekseli- ja ristlülitussüsteemid või elektroonilised juhtimiskomponendid nagu nt impulssreleed. Niisugusel juhul tasub kaaluda süsteemi projekteerimisel nüüdisaegse hooneautomaatikavõrgu kasutamist, mis ei pruugi seejuures olla kallim kui keerukam käsijuhtimissüsteem. Valgustuse juhtimist läbi käsijuhtimise kirjeldab joonis 1.4



Joonis 1.4 Valgustuse käsijuhtimise võimaluste ülevaade

Valgustuse **automaatjuhtimine** kaasab endaga suure hulga erinevaid andureid ja seadmeid. See juhtimisviis võtab arvesse mitmeid erinevaid tegureid parima tulemuse saavutamiseks. Näiteks inimeste olemasolu ruumis, loomuliku valguse olemasolu, kuupäeva ja kellaaega, hoone teiste süsteemide toimimise. Siia kaasatakse sageli ka valgustusseene. Näiteks imiteeritakse turvalisuse eesmärgil inimeste kohalolu hoonetes tulede lülitamisega pimedal ajal. Selline juhtimissüsteem on üldjuhul kallim kui lihtsam käsijuhtimissüsteem, samuti eeldab see teadmisi ja spetsiifilisi oskusi seadmete paigaldamisel ja seadistamisel. Samas kui sellele sobiv kaabeldus on juba olemas, siis on süsteem hiljem lihtsamini laiendatav ja lisafunktsiooniga täiendatav. Niisugune lahendus võib sobida hoonetesse mille ruumide otstarve ja kasutus ajas muutub. Valgustuse automaatjuhtimise põhimõtteid koos nende rakendamiseks vajalike anduritega kirjeldab joonis 1.5



Joonis 1.5 Valgustuse automaatjuhtimise põhimõtted ja kasutatavad andurid

Kombineeritud käsi- ja automaatjuhtimine moodustavad väga paindliku süsteemi, milles kasutajal on võimalus muuta vastavalt vajadusele ja olukorrale seadeid automaatsüsteemi töös. Nüüdisaegse hooneautomaatikavõrguga süsteemis saab muudatusi ja ümberseadistusi teha nii distantsilt (arvutivõrgu kaudu nt mobiiltelefonist) ,kui ka ruumis olles. Uue automaatjuhtimislahenduse loomisel võetakse arvesse süsteemi kasutamise mugavust, efektiivsust ja lihtsust kasutajale. Samas on niisuguse süsteemi projekteerimisel oluline jälgida, et süsteemi oleks võimalik seadistuste ajutisel muutmisel taastada mingisse eelprogrammeeritud algseisu.

2. HOONEAUTOMAATIKA JA ELEKTERVALGUSTUSE JUHTIMINE

2.1 Tehnoloogilised võimalused valgustuse automaatjuhtimisel

Käesolevas peatükis tulevad vaatluse alla valgustuse juhtimiseks vajalikud juhtseadmed ja täiturelemendid.

2.1.1 Juhtseadmed

Keskcontroller ja kasutajaliides

Hooneautomaatikasüsteemid arenevad kiirelt koos valgustuse juhtimisel kasutatavate täiturelementide sh kaugjuhitavate dimmerite ja reguleeritavate liiteseadistega. Koos sellega arendatakse ka uusi juhtimisalgoritme. Uute juhtimismeetodite arengut soodustab tehnoloogiline võimekus, uued nõuded hoonete energiatõhususele ning kindlasti ka kasutusmugavus, mida hästi juhitavate süsteemide kasutamine pakub. Hooneautomaatikasüsteeme, mille oluliseks osaks on valgustuse juhtimine, arendavad kõik suuremad ettevõtted üle maailma. Näitena saab tuua ABB-free@home [11], Siemens Synco living. [12]

Energiatõhususe kriteeriumid hoonetele sätestab standard EVS-EN 15232-1:2017 (Hoonete energiatõhusus. Osa 1: Hoone automaatika, juhtseadmete ja hoonehalduse toime. Moodulid M10-4,5,6,7,8,9,10). Standardi EVS-EN 15232-1:2017 moodul M9 seab energiamärgisele vastavad nõuded ka valgustuse juhtimisele hooneautomaatikasüsteemides. Nõuded on erinevad ja sõltuvad hoone energiamärgisest.

Nüüdisaegsetes ehitistes on kasutusel mitmeid erinevad tehnosüsteeme ja rakendusi. Nii on paljudes hoonetes näiteks kütte-, ventilatsiooni-, turva-, valgustus-, multimeedia- ja tulekustutussüsteem. [61] Energiaefektiivsuse ja mugavuse seisukohalt annab süsteemide omavahel integreerimine juhtimises uusi võimalusi. Näiteks turvasüsteemi häirega koos saab lülitada tööle korrakaugu hoone valgustuse. Samuti saab küttesüsteemi ja välistrepi küttegaabli tööd automaatselt seadistada välisõhu temperatuuri ja niiskuse järgi. Hooneautomaatikasüsteemide koostöö tugineb süsteemi keskcontrollerile ja juhtimisse on kaasatud ka süsteemi kasutaja koos mugava kasutajaliidesega (joonis 2.1).



a) ABB Busch-SmartTouch® 7" KNX standardiga
hoone keskkontroller[13]



b) Honeywell hooneautomaatika Tuxedo
Touch keskkontroller-kasutajaliides [56]

Joonis 2.1 Erinevate keskkontroller-kasutajaliideste näiteid

Joonisel 2.1 kujutatud kasutajaliideste ekraanid on mõlemad puuteetundlikud, alluvad häälkäsklustele ning kasutavad enda arendajate loodud operatsioonisüsteeme. Honeywell Tuxedo Touch keskkontroller ühildub lisaks näiteks otse Z-Wave tehnoloogias valgustite ja termostaatidega. Hooneautomaatika keskkontrollerisse integreeritud valgustuse juhtimine on efektiivne ning kasutajale ülevaatlik. Keskkontroller võimaldab valgustuse parameetrite lihtsat muutmist, lülitamisi, dimmerdamisi, energiatarbe jälgimist. Tarkvaraliselt on võimalik seadistada sätteid, mis võtavad arvesse kasutajate harjumusi ja ruumide kasutamise ajaplaani.

Rohkelt võimalusi hooneautomaatika juhtimiseks on loodud laialt tuntud Android, Windows operatsioonisüsteemidele. Need telefonides kasutatavad operatsioonisüsteemid koos sinna installeeritud rakendustega (knXpresso, BlueHome) võimaldavad ligipääsu süsteemidele kus ja millal iganes. [59,60] KNX hooneautomaatika standardi ja Androidi operatsioonisüsteemi ühildamist on põhjalikult uuritud ja arendatud just võimalusega distantsilt jälgida ning juhtida. [58]

Hooneautomaatikasüsteemides on võimalik luua ka kilbipõhiseid valgustuse juhtimise lahendusi, milles kogu juhtimine toimub valgustuse elektrikilbis paikenvast kontrollerist. Need on sobilikumad rohkem täisautomaatsetesse valgustuse juhtimise süsteemidesse nii elamutesse kui tööstushoonetesse. Kasutajaliideseks on sageli sellistes süsteemides mõni nutiseade või arvuti, läbi mille toimub süsteemi haldamine ja jälgimine. Lihtsam ja samas töökindel kilbipõhine juhtimine on võimalik luua ka kasutades valgusandureid, programmkellasid ning kontaktoreid.

Andurid

Hooneautomaatikasüsteem kaasab valgustuse juhtimisse erinevaid andureid, mis on oluline osa hästi toimiva süsteemi funktsioneerimises. Valgustuse juhtimisel kasutatakse peamiselt järgnevaid andureid:

- kohalolekuandur (*presence sensor, occupancy sensor*);
- liikumisandur (*motion sensor*);
- päevavalgusandur (*daylight sensor, photocell*)

Liikumisandurid on oma tööpõhimõttelt kas aktiivsed või passiivsed. Aktiivne andur (*HF sensor*) kasutab liikumise kindlakstegemisel kõrgsageduslike raadiolaineid (24,0 GHz) ning töötab Doppleri efekti tööpõhimõttel. Andurid on töö- ja temperatuurikindlad, laia haardeulatusega ning väga tundlikud liikumiste suhtes. Neid on võimalik paigaldada vajadusel märkamatult konstruktsioonidesse. Passiivsed andurid (*PIR*) mõõdavad levialas olevatelt objektidelt infrapunakiirgust ehk soojuskiirgust. Anduri muudab passiivseks see, et andur ise ei eralda mõõtmiseks kiirgust vaid tegeleb ainult mõõtmisega. Selliste andurite rakenduspiirkond ulatub ligikaudu 15 meetrini ning nad sobivad töötamiseks ka vibratsiooni tekitvas keskkonnas. Enamike liikumisandurite juures on võimalik seadistada reageerimise hetke liikumise tuvastamiseks, ümbritseva keskkonna valgustugevuse tundlikust ning valgustite lülitamise hetke. Viimane seadistus annab võimaluse luua ajalisi nihkeid valgustuse lülitamisel.

Kohalolekuandurid on oma olemuselt aktiivsed või passiivsed (või mõlemad koos) liikumisandurid aga palju tundlikumad reageerimaks väikseimale liikumisele. Kohalolekuandurid saavad täita ka liikumisanduri funktsiooni. Toodetakse ja kasutatakse samuti selliseid andureid, kus on kombineeritud nii liikumis- ja kohalolekuandur.

Päevavalgusandur mõõdab ruumis valgustihedust. Andurid võivad olla nii eraldiseisvad kui ka valgustitesse või kohalolekuanduritesse integreeritud, süvistatavad ja pinnapealsed.



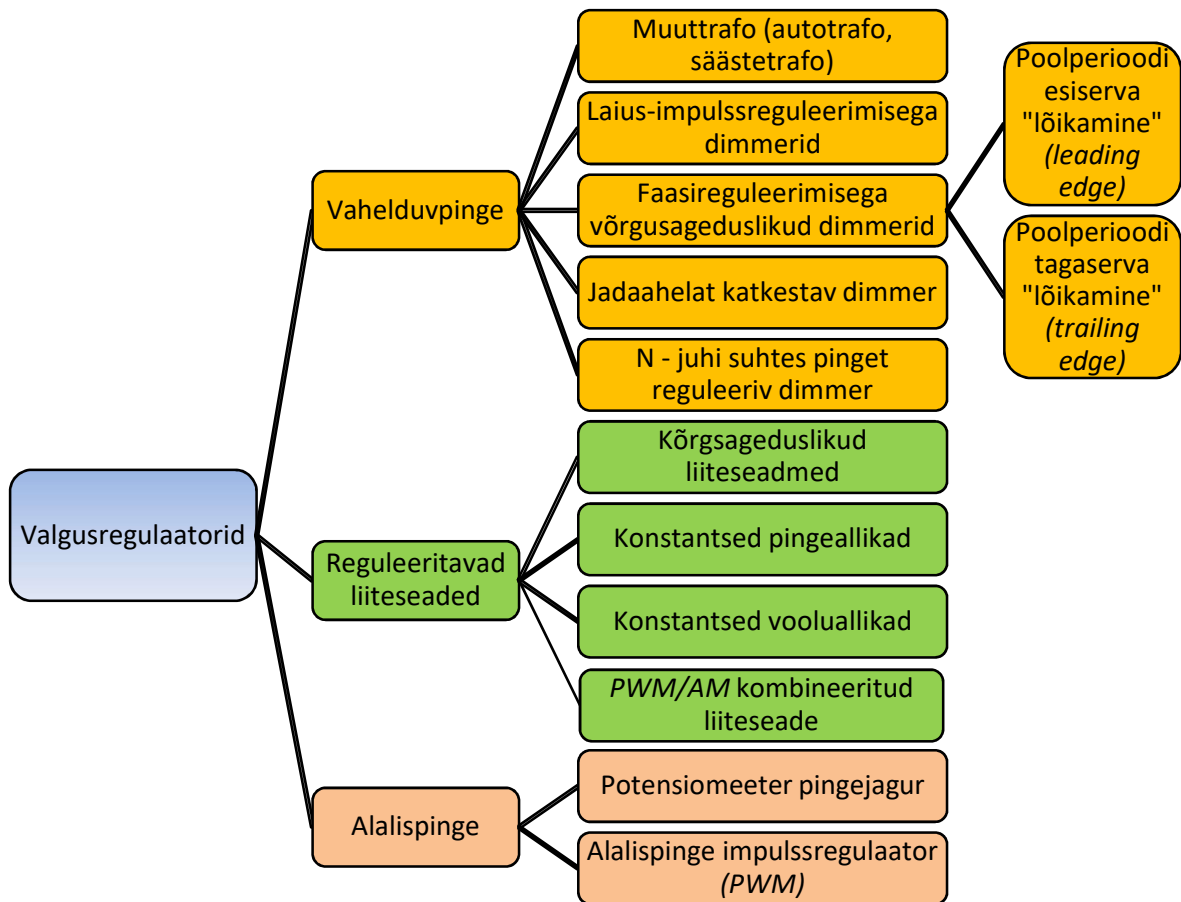
a) DALI LMS Digidim 312 Multisensor [14] b) KNX Steinel True Presence Multisensor [53]

Joonis 2.2 Kohalolekuandurite näiteid: a) DALI-liidesega andur, b) KNX protokolliga ühilduv andur

Joonis 2.2 kirjeldab kahte erinevat andurit, milledest vasakpoolne on DALI adresseerimisega PIR andur. Lisaks on temas päevavalguse andur ning lülitist on võimalik aktiveerida päevavalguse-, liikumise- ja kohalolekuandurit. Parempoolsel joonisel on kujutatud väga kaasaegne HF tehnoloogial digitaalne kohaloleku multifunktsionaalne kontrollsüsteem ehk multiandur, milles olevad seitse andurit mõõdavad inimese kohalolekut ruumis, valgustihedust, ruumi temperatuuri ja õhuniiskust, õhurõhku, CO₂ ja orgaaniliste ühendite sisaldust õhus. Andur suudab tuvastada inimese kauguse andurist, tema liikumissuuna, hingamise.

2.1.2 Valgusvoo juhtimise täiturelemendid ja tehnoloogiad

Lampide valgusvoo muutmine on aluseks ruumides või aladel sobiliku valgustiheduse saavutamisel. Realiseeritakse seda erinevate valgusregulaatoritega erinevatele lampidele. Alljärgnev joonis 2.3 kirjeldab erinevaid valgusregulaatoreid ning nendes kasutatavaid tehnoloogiaid.



Joonis 2.3 Valgusregulaatorid ja tehnoloogiad lampide valgusvoogude reguleerimisel

Valgustite valgusvoo juhtimisel kasutatakse sõltuvalt valgusti ehitusest erinevaid võimalusi. Juhul kui valgusti koosneb valgusallikast ja liiteseadmest, toimub reguleerimine liiteseadmega. Seejuures sõltub liiteseadme reguleerimisviis otseselt kasutatavast valgusallikast. Näiteks valgusdiodide puhul hoiab liiteseade konstantset voolu, mida on võimalik reguleerida. Juhul kui voolu piiravad elemendid (nt takistid) on LED-valgusallikasse (nt LED ribasse/linti) sisse ehitatud ja valgusallikas on mõeldud toitmiseks konstantse pingega, siis toimub valgusvoo reguleerimine pingega.

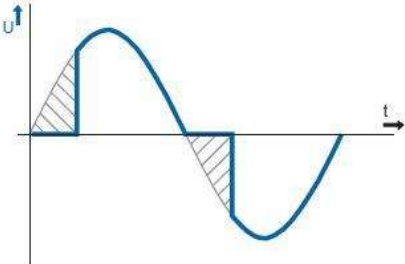
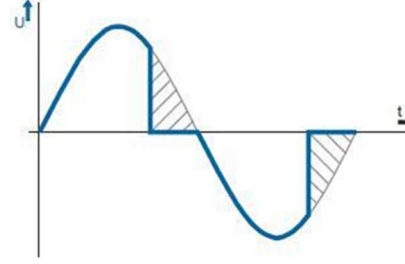
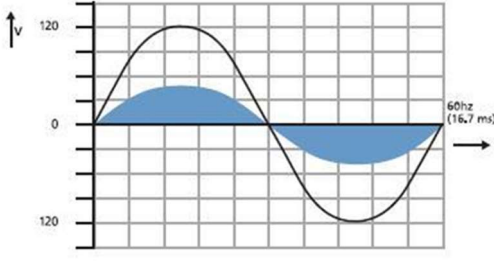
Vahelduvpinge dimmerid

Elektrivõrgus olev vahelduvpinge muutub ideaaljuhul siinusfunktsiooni järgi, selle reguleerimiseks on mitmesuguseid võimalusi, mida on oluline on teada. Hõõglambis eralduv energia sõltub seda läbiva voolu ruutkeskväärtusest ehk efektiivväärtusest. Hõõglamp silub oma soojusliku inertsiiga vahelduvvoolu pulseerumisest tingitud võnkumised ja silmale häirivat värelust see üldjuhul ei põhjusta. Seetõttu piisab hõõglambi reguleerimiseks lihtsamal juhul siinuse poolperioodi esimese

osa äralõikamisest. Keerukam on olukord valgusdiodidel põhinevate (LED) lampidega, mis peavad moonutatud kujuga toitepingest suutma tagada ka oma sisemisele juhtimiselektronikale vajaliku omatoite. Nende puhul võib sobivamaks osutada siinuse poolperioodi tagafrondi äralõikamitehnoloogiaid lampide valgusvoogude juhtimisel iseloomustab joonisel 2.4 toodud diagramm.

Dimmer on jõuelektroonikaseade, mille juhtimisahelad vajavad oma tarbeks samuti stabiilset elektritoidet. Seetõttu tuleks stabiilse reguleerimise huvides eelistada dimmereid, mis saavad oma toite sisendpingest neutraaljuhi suhtes, mitte toidetava koormuse jadaahelast dimmeri enda poolt tekitatavast pingelangust. Neutraaljuhi ühendust võimaldava dimmeri kasutamise puuduseks on vajadus neutraaljuhtme järele dimmeri asukohas ja seda tuleks seetõttu kavandada juba juhtmestiku projekteerimisel. Levinud on ka nn harutoosidesse paigutatavad impulss-dimmerid, mida saab hõlpsasti juhtida mitmest eraldi surunupplülitist. Need sobivad hästi ruumidesse milles on mitu sissepääsu ja seega vajadus valgustust lülitada ja reguleerida mitmest kohast.

Joonis 2.4 kirjeldab kolme enamlevinumat tehnoloogilist võimalust vahelduvpingeregulaatorites pinge efektiivväärtuse muutmisel. Esimesed kaks meetodit on faasireguleerimise tehnoloogiad, neist esimese realiseerimine toimub kasutades sümistoridel (*TRIAC*) põhinevat lülitust ning on valgusregulaatorites seniajani laialt levinud. Koormuseks sobivad suurema elektrilise võimsusega aktiiv- ja induktiivkoormused. Teise meetodiga faasisiinuse „lõikamine“ poolperioodi lõpust on keerukam ning teostatakse kasutades transistore. Kolmandaks meetodiks on kõrgsageduslike impulsside moduleerimise meetod. Viimane eeldab samuti täielikult juhitud jõupooljuhtseadistest jõutransistoride kasutamist. Impulssreguleerimise korral kasutatakse dimmerites impulsi laiusmodulatsiooni (PWM). Lihtsustatult seisneb see juhitud jõupooljuhtide lülitamises võrgupinge sagedusest tunduvalt suurema sagedusega sisse ja välja. Väljundpinge efektiivväärtuse reguleerimine toimub lülituskestuse muutmisega. Väljundpingeks võib olla ka alalispinge ning koormuseks sellisele tehnoloogile sobivad nii aktiiv-, induktiiv- kui mahtuvuslik koormus. Pulsilaiusmodulatsiooni tehnoloogial dimmerdamise peamine eelis on reguleerimise täpsus ja sujuvus. PWM signaal genereeritakse mikrokontrolleritega. PWM tehnoloogiat kasutatakse laialdaselt mitmesuguste lampide liiteseadmetes sh DALI-liidesega süsteemides. [43] Pinge reguleerimise viisidest tuleb ära märkida veel muutrafoga (autotrafo ehk säästetrafoga) ning takistitega reguleerimise võimalused, mida valgustustehnikas kasutatakse tänapäeval üsna vähe.

Jrk nr	Joonis	Kirjeldus
1		Faasisiinuse „lõikamine“ siinuse algusest, tõusvast faasist (<i>leading edge</i>) piki ajatelge. Viirutatud ala kujutab ala, mil pinge puudub, energiat ei tarbita.
2		Faasisiinuse „lõikamine“ siinuse lõpust, langevast faasist (<i>trailing edge</i>) piki ajatelge. Viirutatud ala kujutab ala, mil pinge puudub, energiat ei tarbita.
3		Modulatsioonimeetoditega (näiteks PWM) uue pingesignaali loomine. Sinine ala kujutab moduleeritud pingesignaali.

Joonis 2.4 Vahelduvpinge efektiivväärtuse muutmise tehnoloogilised võimalused [15]

Erinevad lambid vajavad erinevat tehnoloogiat valgusvoo muutmiseks. Oma ehituselt saame jagada lambid kolmeks suureks grupiks:

- hõõglambid, halogeenlambid
- lahenduslambid (madalrõhu- ja kõrgrõhulahenduslambid)
- LED lambid (ehk valgusdiodlambid)

Hõõglambid, halogeenlambid on ahelas elektrilise võimsusega aktiivtakistused ning reguleerimiseks sobivad türistoridel põhinevad valgusregulaatorid. Lahenduslambid jagunevad kõrgrõhu- ja madalrõhulahenduslampideks ning vajavad spetsiaalset liiteseadet oma tööks. Valgusvoo reguleerimine toimub liiteseadmes pinge või voolu reguleerimisega. Liiteseadmed võivad olla valgustisse sisse ehitatud, kui ka eraldiseisvad. LED lampide valgusreguleerimine toimub valdavalt konstantsete vooluga toiteallikatega. Kuna LED on oma olemuselt diod, siis liigne päriool põhjustab tema riknemise. Vooluga reguleerimine välistab valgusdiodide riknemise liigvooluga.

Konstantse vooluga toiteallikas kasutatakse enamasti impulssreguleerimisel pulsilaiusmodulatsiooni (PWM). Pulsilaiusmodulatsiooniga jäävad aga voolu amplituudväärtused pidevalt samaks (ka valguse värvustemperatuur), impulsi laiusega ajateljel muutub ainult voolu keskvärtus. Teoreetiliselt saab kasutada ka amplituudmodulatsiooni (AM), kuid selle tekitamine eeldaks keerukamat skeemilahendust või kõrgemat lülitussagedust ning silufiltrit. Pinge amplituudi muutmisega muutub paljudel juhtudel ka valgusallika värvustemperatuur kuna valgusdiodi pingevoolu tunnusjoon pole lineaarne. Kui valgusallika voolu reguleeritakse silumata impulsspingega, siis jäävad impulsside amplituudid konstantseks ja see mõjutab vähem värvustemperatuuri. Samas on niisuguse reguleerimise suureks probleemiks impulssidest põhjustatav värelus. Uuem tehnoloogia on kombineerida LED valgusregulaatorites PWM ja amplituudmodulatsiooni (AM) tehnoloogia, milles amplituudi reguleeritakse fikseeritud kõrgsagedusliku laiuse-impulssmodulatsiooniga (HF-PWM) ja impulsi laiust reguleeritakse samaaegselt madalasagedusliku laiuse-impulssmodulatsiooniga (LF-PWM). Selle meetodi kaudu on võimalik kontrollida ja täpsemalt tagada LED-valgusallika värvustemperatuuri etteantud väärtusi. [57]

Elektroonilised-, mehaanilised-, ja elektromehaanilised lülitid

Lisaks lihtsale ühte ahelat katkestavale lülitile kasutatakse valgusti(-te) lülitamiseks mitmesuguseid muid lülitite süsteeme. Laialt levinud on järgmised lülitid:

- rühma ehk grupilülitid, millega lülitatakse samast asukohast mitut valgustirühma või sama valgusti mitut valgusallikat.
- veksel- ja ristlülititest koosnev süsteem, mis võimaldab valgust lülitada mitmest erinevast asukohast
- impulsslülititega juhitud impulssrelee, mis võimaldab sama valgusti lihtsat juhtimist paljudest erinevatest asukohtades. Võrreldes veksel- ja ristlülititest koosneva süsteemiga on kaabeldus lihtsam. Puuduseks on impulssrelee (elektroonikaseade) olemasolu. Kasutatakse ka impulsigu juhitavaid aegreleeplokke, mis sobivad näiteks koridoridesse ja trepikodadesse.
- elektrooniliste anduritega juhitud nn „sensorlülitid“, mis ei nõua lülitamiseks mehaanilist jõudu.

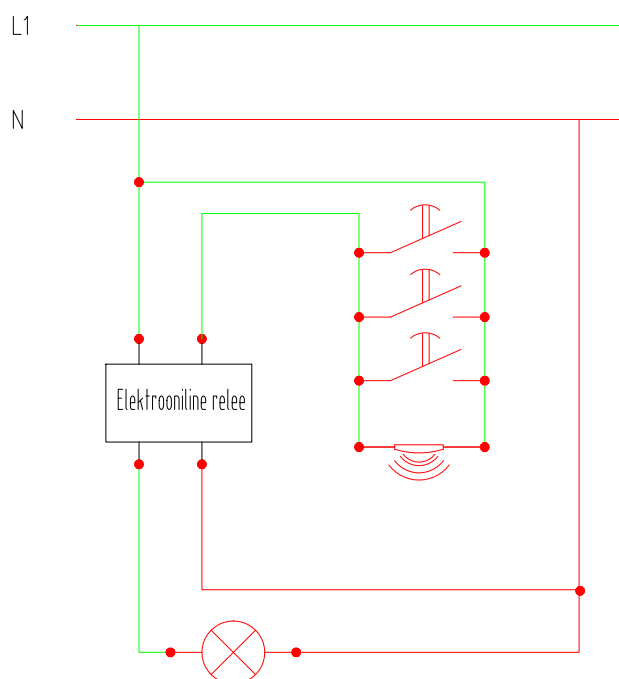
Rühma ehk grupilüliti võimaldab valgusteid ruumis grupeerida ning rühmadele vastavalt lülitada. Veksellülitite süsteem lubab valgusti või mõne muu tarbija lülitamist kahest erinevast kohast. Erinevalt tavalüliti kahest kontaktist on veksellüliti kolm kontakti ühenduste tegemiseks. Lülitile ei saa märkida „sisse-välja“ asendit, kuna oma olemuselt töötavad nad mõlemat pidi. Veksellülitid

saab kombineerida ka valgusregulaatoriga (dimmeriga) paindlikuma juhtimise saamiseks. Kui on vajadus valgusti lülitamiseks kolmest või enamast kohast, kasutatakse kahe veksellüliti süsteemis veel ristlüliteid. Ristlülitele on omane nelja kontakti olemasolu.

Traditsiooniste lülitilahenduste asendamine elektroonilise impulssjuhtimisega

Nüüdisaegsed elektroonika ja tarkvaralahendused võimaldavad hoonetes lisaks traditsioonilistele lülititele rakendada elektroonilisi impulssreleesid ja surunupp-dimmereid ning lüliteid. Veksellüliti ja ristlüliti lahenduse asenduseks on võimalik kasutada palju paindlikumat lülitust impulssreleed ja surunupplüliteid koos kombineerides. Paindlikkus tuleneb ennekõike faktist, et lülitite arv on peaaegu piiranguteta ning on võimalus lülitada suuremaid koormusi. Suurt hulka lüliteid koos impulssreleega kasutatakse näiteks trepikodade, spordisaalide valgustuse juhtimisel. Impulsslülitit kasutatakse valgustuse digitaalsel juhtimisel liiteseadete lülitamisel.

Impulsslülitit klahvi vajutamisel toimub kiire vooluringi ühendamine või katkestamine, pärast mida lüliti taastab oma algse oleku. Relee mähist läbib vool ning elektromagnetiline täitur liigutab kontaktid lülitatud asendisse või siis vooluringi katkestavasse asendisse. Impulssreleedes on sageli kombineeritud erinevaid („normaalselt avatuid“ ja „normaalselt suletuid“) kontakte erinevate võimalike lülitusskeemide tarvis.



Joonis 2.5 Elektrooniline impulssrelee ning surunupplülite ja anduri lülitamise skeem

Elektrooniline impulssrelee (joonis 2.5) on mikrokontrolleriga elektrooniline lülitus, kus puuduvad mehaanilised kontaktid ja elektromagnetiline mähis. Oma gabariitidelt on nad väiksemad kui mehaanilised impulssreleed, juhtimine on võimalik samuti impulsslülititega. Sageli on nendesse sisse ehitatud reguleeritavad aegviited väljundi lülitamiseks. Kuna koostematerjale on vähem on nad odavamad ning lisaks oma väikestele mõõtmetele saab neid kasutada seadmetes. Paljud impulssreleed ja impulssdimmerid vajavad neutraaljuhti sisemise elektroonikaosa tööks. Elektroonilisi impulssreleesid saab paigutada harukarpidesse ja lülitinuppude karpidesse, mehaaniline impulssrelee paigaldatakse oma suuruse tõttu üldjuhul kilpidesse.

Sensorlülitid on digitaalsed lülitid ja sobilikud digitaalsetesse valgustuse juhtimise süsteemidesse (näiteks KNX). Nad on kas ühe või mitmeklahvilised ning sageli ka puutevabad. Lülitite klahve programmeeritakse kasutajaliidesest täitma erinevaid funktsioone. Klahve seadistatakse lülitamiseks, dimmerdamiseks, loogikalülitusteks. Klahvid võivad olla erineva taustavalgusega, signaalidega, helidega. Väga sobilikud on juhtmevabadesse hooneautomaatika projektidesse.

KNX hooneautomaatikas on võimalik kasutada moodulseadmeid, mis on projekteeritud erinevateks lülitusteks. Sisendid kui väljundid saab seadistada erinevatele signaalidele. Väljundid on pooljuhtreleed, kus vahelduvvoolu lülitamised kütte ja ventilatsiooni juhtimiseks on teostatud türistoride (või sümistoride) baasil. Valgustuse juhtimiseks on võimalik kasutada kohaloleku ja liikumisanduritesse sisse ehitatud lülitusseadiseid (vahelduvvooluahelate lülitamiseks üldjuhul sümistore või releesid).

2.2 Andmesidevõrgud ja protokollid valgustuse juhtimisel

Käesolevas peatükis on kirjeldatud enimkasutatavaid süsteeme ja protokolle, mida valgustuse juhtimises kasutatakse. Ülevaate saamiseks alljärgnevas töös kirjeldatavatest sideprotokollidest, standarditest ning juhtimissüsteemidest annab kokkuvõtlikult tabel 2.1.

Tabel 2.1. Hooneautomaatikasüsteemide tehniliste andmete võrdlustabel

	KNX	DALI	Z-Wave	ZigBee
Taust	Hooneautomaatika standard	Valgustite juhtimissüsteem	raadioside protokoll	raadioside protokoll
Arendaja	KNX Association	DiiA	Z-Wave Alliance	ZigBee Alliance
Standard	EN50090; ISO/IEC14543-3	IEC 60929; IEC62386	ITU-T G.9959	IEEE 802.15.4
Võrgu topoloogiad	Puu, liin, täht ja nende kombinatsioonid	Liin, puu, täht ja nende kombinatsioon	Kärg	Kärg, täht, puu
Seadmete füüsilised ühendused	TP, PL, RF, IP (Ethernet, Wifi)	IP, TP, RF	RF	RF
Max liini pikkus	<1000m	<300m	-	-
Tööpinge	24 V DC (SELV),	9,5-22,4 V DC	-	0,2-3,6V
Seadmete arv	57 600	64 ühe liini kohta	232	64000
Tarkvara	ETS 5	DALI Cockpit; masterCONFIGURATOR V2.31, ABB i-bus tool	Z-wave Certified Installer Toolkit	-
Ühenduvus lüüside abil teiste süsteemide ja tarkvaravahenditega	DALI, BACnet, ZigBee, Modbus RTU	KNX; ZigBee,	Google Home, Amazon Assistant, Samsung SmartThings, FIBARO Home	KNX,DALI, Ethetnet, Apple HomeKit, Samsung SmartThings, Google Home
Andmete edastus kiirus	Keerdpaarvõrgus 9600 bit/s	1200 bit/s	40-100 kbit/s	20-250 kbit/s
Madal energiatarve	Keskmine	Keskmine	Jah	Jah
Turvalisus	Kõrge	Kõrge	Kõrge	Keskmine
Alginvesteeringu suurus	Suur	Keskmine	Keskmine	Väike
Turvalisus	Kõrge	Kõrge	Kõrge	Madal
Teadmiste, väljaõppe vajadus	Suur	Suur	Keskmine	Keskmine
Sertifitseeritud oskustöölise nõue	Jah	Ei	Ei	Ei
Seadmete valik	Suur	Keskmine	Suur	Keskmine
Suurte ja keerukate projektide võimalus	Suur	Suur	Väike	Väike
Nõuab litsentseeritud tarkvara	Jah	Ei	Ei	Ei

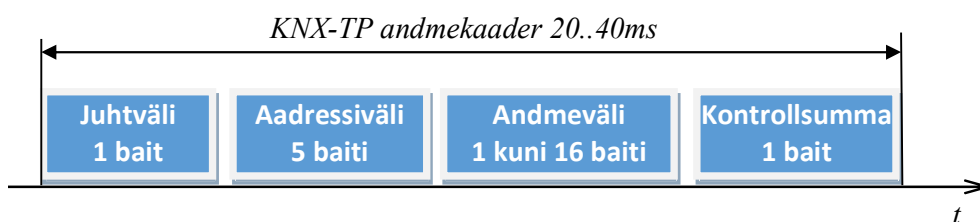
Lisaks tabelis toodutele on hooneautomaatika kasutusel ka teisi võrkusid nt. MQTT, DMX512 jt. Tabelis toodud süsteemidest väärub märkimist EIB (*European Installation Bus*), millest on välja arenenud ka KNX-võrk. Valgustite juhtimisel on Euroopas enamlevinud valgustite digitaalne juhtimissüsteem DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*), mida saab läbi andmesidelüüside ühendada ka teiste hooneautomaatikavõrkudega (sh KNX-võrguga).

2.2.1 KNX standard

KNX (Konnex) protokoll on avatud hooneautomaatika standard ja kinnitatud Euroopa (CENELEC EN 50090 ja CEN EN 13321-1) ning rahvusvahelise (ISO/IEC 14543-3) hooneautomaatika standardiga. KNX võrgus saab kasutada seadmeid, mis on toodetud erinevate tootjate poolt. Tänapäevaks on maailmas üle 420 tootja, kes toodavad seadmeid KNX standardile. Erinevaid seadmeid, mis ühilduvad standardiga on üle 7000. KNX on loonud üle 459 koolituskeskuse 68 riigis. [16] KNX on mitmeotstarbeline hooneautomaatika standard ning temaga saab juhtida valgustust, kütet, kliimaseadmeid, aknakatteid ning ventilatsiooni, mõõteseadmeid, samuti multimeedia- ja turbetehnikat. KNX on sobilik kasutamiseks nii eramajades kui ka tööstuses. KNX läbi raadioside on ideaalne olemasolevate hoonete renoveerimisel. Süsteemi kuuluvad nelja liiki seadmed:

1. Toiteseadmed ja lüüsid;
2. Operaatorpaneelid;
3. Andurid (temperatuur; valgus; kohalolek; kliima);
4. Täiturid (valgustid, releed, mootorid). [17]

Andmevahetus KNX võrgus on asünkroonne (*UART*). Asünkroonses suhtlusprotokollis on kindlaks määratud ajavahemik, mille jooksul toimub ühe andmehulga edastamine. Kui üks UART andmehulk, milles on kokku 11 bitti, on ära saadetud ootab sõnumi saatja kahe biti saatmiseks kuluva ajahulga jagu ning alustab uue UART paketi saatmisega. Ehk kokku läheb ühe sõnumi saatmiseks 13 biti jagu aega. [17] Andmeedastuses kasutatakse CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) pöördusmeetodit. Kui kaks seadet samal ajal edastavad andmeid, siis tuvastatakse kokkupõrge ja madalama prioriteediga andmepaketi andmeedastamine katkestatakse. KNX võrgu andmevahetus algab ainult siis, kui ilmub päring. Võrgu seadmete suhtluses on kasutusel andmeraamid. Võrgus on kasutusel kahte sorti andmeraame. Ühed on andmed, mis edastatakse anduritelt täiturile ning teised andmed on need, mis täitur edastab andurile kinnitamaks, et sai info kätte. Andmekaadrid kokku moodustavad telegrammi vormi, mis on KNX võrgu andmeedastuse kirjeldamisel kujutatud joonisel 2.6



Joonis 2.6 Telegrammi ehk teate struktuur KNX keerdpaarvõrgus [17]

Telegrammi edastamise aeg on 20-40 ms. KNX-telegrammil on järgnevad andmeväljad.

- Juhtväli (*control field*) – ühebaidine väli, mis näitab ära andmete prioriteetsuse ning oleku andmete edastuses.
- Aadressiväli (*address field*) - 5 baidine väli, millel alal kirjeldatakse erinevate andurite ja täiturite aadresse. Sellel alal asuvad andmeloendurid, mis võrdlevad edastatud ja kohale jõudnud andmete hulkasid.
- Andmeväli (*data field*) - 1 kuni 16 baidine väli, mis sisaldab vajalikku informatsiooni nagu käsud, sõnumid, parameetrite seaded. Kontrollsumma väli on andmehulga terviklikkuse ja vigade kontrollimise väli.
- Kontrollsumma (*checksum field*) – on ühebaidine kood, mis arvutatakse igale edastatavale andmepaketile, mida arvutatakse ja võrreldakse ka vastuvõtja poolt. See võimaldab tuvastada andmeedastusvigasid.

2.2.2 Adresseerimise põhimõtted KNX võrgus

Seadmete paiknemine KNX võrgus on üles ehitatud kolmele sambale – seade, liin ja ala. Niisugust ülesehitust nimetatakse võrgu struktuurseks topoloogiaks. Seadmeid saab KNX liinil olla 1-256, liine 1-15 ja alasid 1-15. Alasid saab omavahel ühendada magistraalliini (BL, *backbone line*) kaudu veelgi suuremaks (kuni 15 ala hõlmavaks) võrguks. Magistraalliini ehk nn võrgu „selgroo“ ja alade seadmeliine ühendavate pealiinide (ML, *main line*) omavaheliseks sidumiseks kasutatakse ala ühenduslüli mooduleid (*backbone coupler, BC*). Iga ala pealiinilt hargnev seadmeliin ühendatakse omakorda läbi liiniühendaja (*line coupler, LC*). [18]

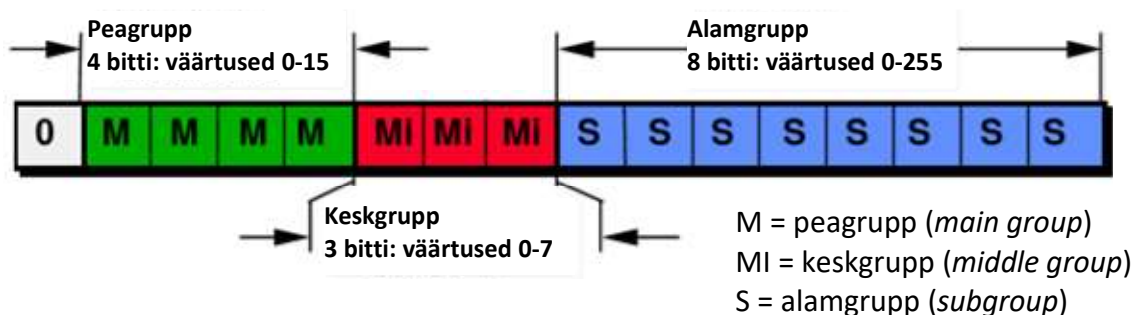
Näitena võib tuua seadme füüsilise aadressi KNX võrgus 1.1.64. Nende numbritega on määratud, et seade asub esimesel alal (esimene number), esimesel liinil (teine number) ning seadme number on 64 (kolmas number). Füüsiline aadress on kodeeritud 16 bitisesse andmevälja, milles 4 bitti määravad liini numbri, 4 bitti ala numbri ja 8 bitti seadme numbri. Seadmevõrgu topoloogiaks saab olla puu, täht, liin ja nende kombinatsioonid.

Suurim vahemaa kahe KNX seadme vahel võib olla 700 meetrit, maksimum distants seadme ja toiteallika vahel on standardiga määratletud 350 meetrit. Kui liinil on mitu toiteplokki, siis distants nende vahel peaks olema vähemalt 200 meetrit. Kaabelduseks seadmete vahel on võimalik kasutada erinevaid viise. Levinumaks on lihtsuse, odavuse ja töökindlusega on keerdpaarkaabluga (*TP*) kaabeldus. Standard võimaldab veel kasutada toitejuhtmete kaudu (*PL*) kaabeldust ning raadivõrgu (*RF*) kaudu ühendamist.

Lisaks seadmete füüsilistele aadressidele kasutatakse KNX võrgus seadmetest ja nende funktsioonidest lähtuvalt grupiaadresse. Grupiaadresside kaudu toimub kogu infovahetus KNX võrgu seadmete vahel. Seadmed grupeeritakse tarkvaraliselt funktsionaalsuse alusel, näiteks mingi ruumi tervikliku lülituse saamiseks. Üks seade võib kuuluda mitmesse gruppi, mis ei pruugi olla seotud füüsiliste liinidega. Andur saab saata informatsiooni ainult ühte gruppi, aga täiturseadmed (nt valgustid) võivad võtta informatsiooni vastu mitmest grupist (nt mitmest lülitist, andurist vms.) samaaegselt.

Grupiaadressid võivad olla kahe- või kolmeastmelised. See, kas kasutatakse kahe- või kolmeastmelist grupiaadressi sõltub enamasti projekti suuruselt ja määratakse ära uue projekti loomisel ETS programmis. Kolmekohalise (kolmeastmelise) grupiaadressi (joonis 2.7) loomisel alustatakse peagrupi (*main group*) defineerimisest, selleks võib olla näiteks terve väiksema hoone korrus või koridor, millele antakse vastav nimi nt „2. korrus“. Seejärel defineeritakse keskmine grupp (*middle group*) ja antakse sellele nimi, näiteks „elutuba“. Lõpuks määratakse alamgrupp (*subgroup*), milleks võib olla näiteks mingi tegevus vastavasse rühma kuuluvate seadmetega (näiteks „valguse lülitamine“, „valguse dimmerdamine“, „ruloo juhtimine“ vms.).

Kolmekohaline grupiaadress



Joonis 2.7 Kolmeastmelise grupiaadressi selgitus [18]

Kaheastmelise grupiaadressi (joonis 2.8) kujunemine toimub sarnaselt, puudub ainult keskgrupp.

Kahekohaline grupiaadress



Joonis 2.8 Kaheastmelise grupiaadressi selgitus [18]

Programmis ETS5 loodud grupiaadresse on võimalik juhtida ja võrgus toimuvat infovahetust jälgida erinevate seadmetega sh Linux operatsioonisüsteemi kasutatavate arvutitega. Arvuti ühendatakse sel juhul kas läbi KNX/USB liidese või läbi KNX/Ethernet liidese.

LINUX-operatsioonisüsteemides on KNX võrguga sideks taustal töötav ja ühendust liidestav arvutiprogramm KNXD (KNX daemon). Selle liidestava programmi konfiguratsioonifail *knxd* paikneb kasutas */etc/default* ja seda saab redigeerida tekstiredaktoriga. Ühenduse seadistamise järel läbi kasutatava liidese (nt USB liidese) on võimalik sama arvutiga vastuvõetavaid KNX andmepakette jälgida, sisestades operatsioonisüsteemi käsuviibale käsu „*vbusmonitor1 ip:localhost*“.

Vastuvõetud andmed kuvatakse järgnevas vormis (vt. joonis 2.9).

```
LPDU: BC 11 03 09 00 E1 00 81 38 :L_Data low from 1.1.3 to 1/1/0 hops: 06 T_DATA_XXX_REQ A_GroupValue_Write (small) 01
LPDU: BC 11 03 09 00 E1 00 80 39 :L_Data low from 1.1.3 to 1/1/0 hops: 06 T_DATA_XXX_REQ A_GroupValue_Write (small) 00
LPDU: BC 11 03 09 01 E1 00 89 31 :L_Data low from 1.1.3 to 1/1/1 hops: 06 T_DATA_XXX_REQ A_GroupValue_Write (small) 09
LPDU: BC 11 03 09 01 E1 00 88 30 :L_Data low from 1.1.3 to 1/1/1 hops: 06 T_DATA_XXX_REQ A_GroupValue_Write (small) 08
LPDU: BC 11 03 09 01 E1 00 89 31 :L_Data low from 1.1.3 to 1/1/1 hops: 06 T_DATA_XXX_REQ A_GroupValue_Write (small) 09
LPDU: BC 11 03 09 01 E1 00 88 30 :L_Data low from 1.1.3 to 1/1/1 hops: 06 T_DATA_XXX_REQ A_GroupValue_Write (small) 08
LPDU: BC 11 03 09 01 E1 00 81 39 :L_Data low from 1.1.3 to 1/1/1 hops: 06 T_DATA_XXX_REQ A_GroupValue_Write (small) 01
LPDU: BC 11 03 09 01 E1 00 80 38 :L_Data low from 1.1.3 to 1/1/1 hops: 06 T_DATA_XXX_REQ A_GroupValue_Write (small) 00
LPDU: BC 11 03 09 01 E1 00 81 39 :L_Data low from 1.1.3 to 1/1/1 hops: 06 T_DATA_XXX_REQ A_GroupValue_Write (small) 01
LPDU: BC 11 03 09 01 E1 00 80 38 :L_Data low from 1.1.3 to 1/1/1 hops: 06 T_DATA_XXX_REQ A_GroupValue_Write (small) 00
LPDU: BC 11 03 09 01 E1 00 81 39 :L_Data low from 1.1.3 to 1/1/1 hops: 06 T_DATA_XXX_REQ A_GroupValue_Write (small) 01
LPDU: BC 11 03 09 01 E1 00 80 38 :L_Data low from 1.1.3 to 1/1/1 hops: 06 T_DATA_XXX_REQ A_GroupValue_Write (small) 00
LPDU: BC 11 03 09 01 E1 00 81 39 :L_Data low from 1.1.3 to 1/1/1 hops: 06 T_DATA_XXX_REQ A_GroupValue_Write (small) 01
```

Joonis 2.9 Grupiaadresside ja füüsiliste andmete kujutamine programmis KnxTool vbusmonitor

Füüsiliste seadmete aadressiosad eraldatakse punktidega aga grupiaadressid eraldatakse kaldkriipsude või tühikutega.

Joonisel punase joonega ümbritsetud real toimub andmete edastamine füüsiliselt seadmelt aadressiga 1.1.3 grupiaadressile 1/1/3.

Oluline on teada ka KNX süsteemis kasutatavaid andmevorminguid, milledest enimkasutatavaid on kirjeldatud tabelis 2.1. Andmevormingud kirjeldavad andmeväljade suurusi edastatavates andmepakettides. Näiteks lülitamiseks on vajalik andmemahut 1 bitt, valgustugevuse reguleerimiseks aga juba 4 bitti. Andmeväljade suurusi on vajalik jälgida samuti ETS5 tarkvaras projektis grupiaadresside loomisel. Sarnase andmemahuga andmeväljad saavad kuuluda ühte grupiaadressi, erinevuse korral andmevälja grupiaadressile lisada pole võimalik. Olukorda kirjeldab näitena joonis 3.13, kus ühes grupiaadressis asuvad kõik 4 bitise andmeväljaga objektid.

Tabel 2.1 Näiteid andmevormingutest KNX standardis [18]

Andmemaht bittides	Kombinatsioone (väärtuste vahemik)	Nimetus	Funktsioon	Andmetüübi nimi
1	2	Bitt (<i>bit</i>)	Lülitamine	EIS 1 / DPT1
2	4	-	Prioriteet	EIS 8 / DPT2
4	16	Poolbait (<i>nibble</i>)	Dimmer	EIS 2 / DPT3
8	256	Bait (<i>byte</i>)	Suhteline väärtus 0..100 %	EIS 6 / DPT5
16	65 536	Sõna (<i>word</i>)	16-bitine ujukomaarv	EIS 5 / DPT9
32	4 294 967 296	Topeltsõna (<i>double word</i>)	32-bitine väärtus (nt lonedur)	EIS 11 / DPT12/13

2.2.3 Digitaalselt adresseeritav valgustuse juhtimisliides

Digitaalselt adresseeritav valgustuse juhtimisliides DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*) on digitaalsel juhtimisel põhinev valgustite juhtimissüsteem, mis võimaldab kahepoolset suhtlemist valgustiga. DALI-liides on välja arendatud Philipsi poolt aastatel 1996 a. kuni 1999 a.

Tänapäeval on see üheks enamlevinud andmesidevõrguks valgustite liiteseadmete juhtimisel. DALI süsteemi suurimaks eeliseks on võimalus valgustite ja muude samasse võrku ühendatud seadmete täielikuks kontrolliks, kuna igat valgustit käsitletakse ja kontrollitakse eraldi.

DALI süsteemi komponendid ja adresseerimine

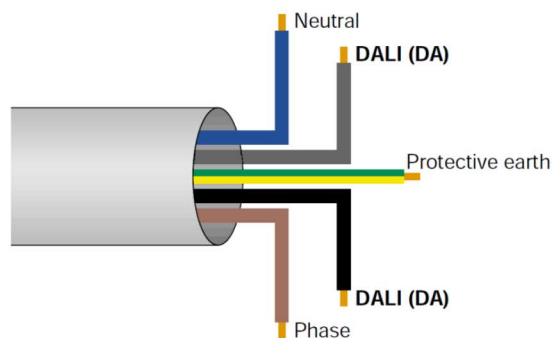
DALI süsteemis määratakse igale valgustile eraldi aadress, mis võimaldab üksikute liiteseadmete digitaalset juhtimist. Topoloogia järgi saab kasutada ühes võrgus 64 seadme aadressi, 16 gruppi ja 16 stseeni. Sellest suurema aadresside vajaduse korral tuleb lisada süsteemi marsruuter. [19] Lisaks saab DALI seadmeid programmeerida ka tööks gruppides. See tagab suurepärase paindlikkuse, kuna valgustussüsteeme saab tarkvara ümberplaneerimise abil ümber konfigurereerida, ilma et oleks vaja kaabeldust muuta. Ehitiste erinevates ruumides või piirkondades on võimalik luua erinevad valgustuse stseene, mida saab seejärel kergesti muuta ja optimeerida. Valgustite valgustugevuse muutmine on võimalik logaritmilise või lineaarse tunnusjoone alusel. DALI digitaalne olemus võimaldab kahepoolset sidet seadmete vahel nii, et seade suudab rikkelt teavitada ja vastata tema olekut („Sees“ või „Väljas“) või muud infot (näiteks dimmerdamise taset) puudutavale päringule.[20] Süsteemi uueks arenguetapiks on teise põlvkonna DALI-2 standard, mis aitab täita eelnevas standardis esinevaid lünki. Selle tulemusel paraneb koostalitlusvõime ja süsteemi liidetavate tuvastamine. DALI-2 lisab mitmeid uusi funktsioone valgustite juhtimises. [20, 21]

Näiteid DALI süsteemi kuuluvatest seadmetest:

1. Juhtimispaneelid
2. Toiteplokid
3. Lüüsid, järgurid ehk repiiterid
4. Lülitid, andurid

DALI kaabeldus ja võrgutopoloogiad

DALI signaali ning valgusti toitekaablina on sobilik kasutada ühte 5-soonelist 1,5 mm² kaablit.

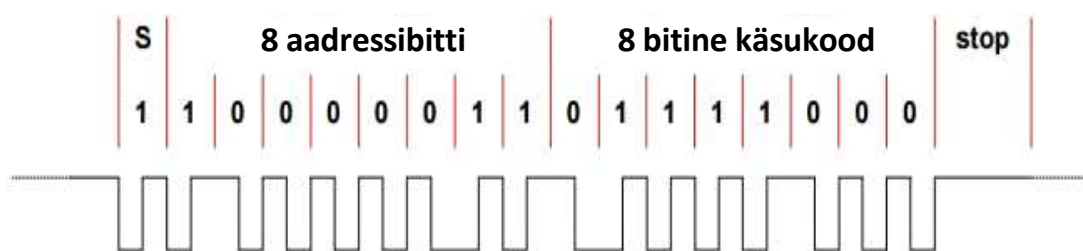


Joonis 2.10 Näide DALI kaabelduseks sobivast elektrikaablist [22]

DALI standard IEC 62386 ei sätesta eraldi andmekaablit ja liiteseadme toitekaablit. Selline ühe kaabliga ühendamine võimaldab süsteemi kaabelduse lihtsamaks ja odavamaks ning võimaldab jooksvalt ilma kaabeldust muutmata tarkvaraliselt muuta valgustite grupeerimist ning valgustseene. DALI siinil olevate juhtmete ühendamisel ei ole oluline polaarsus. [22] DALI andmesignaali on kahepoolne digitaalsignaali, mis teeb temast tugeva ja häirekindla signaali võrreldes analoogsignaali. Erinevad signaalid ühes kaablis ei tekita võimalust interferentseteks häiringuteks ning annab võimaluse koos eksisteerimiseks.

Andmesideprotokolli ülevaade

DALI signaali modulatsioon toimub Manchesteri koodis. Andmebiti edastamine toimub kahe takti jooksul ning andmete edastamisel ei teki elektrijuhis alalisvoolu komponenti. Kõige olulisem bitt MSB (*Most Significant bit*) saadetakse välja kõigepealt. Andmed liiguvad juhtseadme valgustisse andmepaketis (joonis 2.11), mis koosneb ühest „Start“ bitist, kaheksast aadressi bitist, kaheksast andmete bitist ja kahest „Stop“ bitist. Paketi edastamiseks kulub aeg on 15,83 ms. [24, 25]



Joonis 2.11 DALI pärisuunalise andmeedastuse vorming [23]

Valgustist tagasi juhtmesse liiguvad andmed andmepaketis (joonis 2.12), mis koosneb ühest „Start“ bitist, kaheksast andmete bitist ning kahest „Stop“ bitist. Paketi edastamiseks kuluv aeg on 9,17 ms.



Joonis 2.12 DALI andmetagastuspaketi (*backward frame*) vorming [23]

2.2.4 ZigBee lühikirjeldus

ZigBee on traadita kõrgtasemeliste sideprotokollidele avatud standard (IEEE 802.15.4), millega saab luua võrke madala energiatarbimisega digitaalsetest raadiovõrku. ZigBee-taoliste võrkude loomist alustati juba 1999. aastal, kui tekkis vajadus iseorganiseeruvate digitaalraadiovõrkude järele. ZigBee standardi tehniline kirjeldus kinnitati 2004. aastal ja esimest standardit nimetatakse ZigBee 2004. 2002.a. loodud globaalne ühendus ZigBee Alliance koondab üle 430 liikme (sh Schneider Electric, Siemens, Legrand, jpt.) kogu maailmast. Toodete valik koos kirjelduste ja projektilahendustega täieneb pidevalt. [55]

ZigBee on mõeldud kasutamiseks madala andmeedastuskiirusega lihtsatesse juhtmevaba ühendust nõudvatesse seadmetesse, näiteks infotabloodesse, tööstuslikku- ja koduautomaatikasse, meditsiiniseadmetesse. Seda raadioside tehnoloogiat kasutatakse ka paljudes asjade interneti (Internet of Things, IoT) lahendustes. ZigBee töötab sagedusalades 2,4 GHz enamikes maailma piirkondades 868 MHz Euroopas, 915 MHz USAs ja Austraalias, 784 MHz Hiinas. Andmeedastuskiirus sõltub sagedusalast võimaldades leviala 10 -100 meetrini.

Sagedusriba 2,4 GHz on sarnane Wi-Fi ja Bluetooth töösagedustega mis loob võimaluse häiringute tekkeks ZigBee süsteemidesse. Andmete saatmiseks suurte vahemaade taha luuakse detsentraliseeritud võrgustik, kus andmed liiguvad läbi mitme ZigBee ruuteri ja koordinaatori.

ZigBee traadita võrgu omaduseks on unikaalne ise-seadistus ja ise-taastumine sel hetkel, kui eraldiseisvad võrguseadmed lülituvad võrku, identifitseerides üksteist. Mõne sellise seadme vea korral taastab võrk ennast ja alustab andmete ülekannet uut marsruuti pidi. ZigBee sõlmed väljuvad unerežiimist vähem kui 30 millisekundiga ning seetõttu võimelised kiiresti reageerima. Iseloomuliku tunnuseks võimaldab ZigBee turvalist ühendust, kaitstes krüptograafiliste võtmete kehtestamist ja transporti ning edasist ühendust krüpteerides. ZigBee laiendab IEEE 802.15.4-s defineeritud turvalisuse raamistikku. [26,27]

2.2.5 Z-Wave lühikirjeldus

Z-Wave on juhtmevaba võrgu sideprotokoll kasutamiseks hooneautomaatikas seadmete monitoorimiseks ja juhtimiseks. Protokoll arendati välja 1999. aastal firmas Zensys. 2005. aastal loodi konsortsiumina Z-Wave Alliance. Liit on ametlik ühendus, mis on pühendunud Z-Wave tehnoloogia arendamisele ja laiendamisele erinevatesse nutiseadmetesse ja võrkudesse. Liikmete arv on üle 700 ning suureneb pidevalt. Liitu kuuluvad näiteks firmad Honeywell, Yale, Ecolink, Jasco jt. Erinevaid seadmeid on üle 2400 ühiku, millesse on integreeritud Z-Wave tehnoloogia. [28]

Z-Wave võrku iseloomustab madala energiatarbimisega raadioside suhtluseks erinevate seadmete vahel. Võrgu loomisel kasutatakse kärgtopoloogiat. Selline võrgu ülesehitus tekitab selle, et iga võrku installeeritud seadmest saab signaali järgur ehk repiiter ning mida rohkem on seadmeid, seda tugevam on võrk. Lisaseadmeid võib süsteemi lisada igal ajal ning seadmed seadistuvad võrguga iseseisvalt. Võrgus peab olema üks peakontroller, mis on võrgu koordinaator. Peakontroller allutab endale teisi võrgu sõlmed, loob nendele aadressid. Võrk töötab kuni 1,0 GHz sagedusalas ning leviala on kuni 100 meetrit. [28,29]

Eelkirjeldatud hooneautomaatika standardid ja tehnoloogiad on kõik arvestatava ajalooga ning jätkuvalt kiire tehnoloogilise arenguga arvestades muutuvaid olusid ja võimalusi maailmas. See tagab jätkusuutlikkuse ja kindluse süsteemide ehitamisel.

3.PROJEKTEERIMINE

3.1 Näidisruumi valik ja iseloomustus

Käesoleva töö näidisruumiks KNX-DALI süsteemis valgustuse juhtimise projekteerimiseks on valitud Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi ruum nr NRG-430. Ruum on oma kasutusotstarbelt õpperuum ja aktiivses kasutuses loengute läbiviimisel. 2013. aastal näiteks toimus seal 48,0 % instituudi õppetegevusest. [30]



Joonis 3.1 Ruum NRG-430 asukoht korruse plaanis [30]

Õppeklassi eripäraks oma asendi osas on, et õppetöö toimub õpilastel seljaga akende poole. Senine valgustuslahendus on ehitatud 2004. aastal ning põhineb kaheksal luminofoorlampidega valgustil T8 2x58W. Valgustus on paigutatud neljale siinile ning jagatud kahte gruppi. Ruumi pindala on 62,2 m², kõrgus 2,8 m. Siseviimistlus on teostatud heledates pastelsetes toonides. Ruumis on 6 akent pindalaga 33,0 m², suunaga SE. Päevavalgustegur õpperuumis on 1,95 %. [30] Standard EVS 894:2008+A2:2015 sätestab normina, et keskmine päevavalgustegur ruumis peaks olema vähemalt 2-5 %. Päevavalgustegurit ei saa hinnata ilma päevavalgustuse ühtlust arvestamata. Halva ühtlusega ruumides tunduvad kaugemal asuvad piirkonnad pimedamana ning on vajalik

suurendada kunstliku valgustuse intensiivsust eemal akendest. Päevavalguse ühtlus loetakse mitterahuldavaks, kui akendest valgustatava ruumi sügavus on liiga suur võrreldes akende kõrguse ja laiusega. Ruumi maksimaalse sügavuse arvutus on kirjeldatud standardis EVS 894:2008+A2:2015 järgneva võrratusega.

$$a_{D,max} \leq 2,5 (h_{Li} - h_{Ta}) \quad (3.1)$$

kus $a_{D,max}$ – ruumi sügavus akna sisepinnast, m ,

h_{Li} – aknaava ülemise ääre kõrgus põrandast, m ,

h_{Ta} – tööpinna kõrgus, m .

Vastavalt valemile (3.1) ja lähteandmetele, kus aknaava ülemise ääre kõrgus põrandast on 2,63 m ning tööpinna kõrgus 0,8 m saame arvutuse tulemuseks 4,57. Teades ruumi sügavust akna sisepinnast, mis on 10,2 m saame teha järelduse, et võrratuse (3.1) tingimus ei ole täidetud ja ruumi päevavalguse ühtlus on mitterahuldav. Seda on oluline teada ja vajalik arvestada valgustite valikul ja juhtimise planeerimisel.

Uue valguslahenduse loomisel eeldame, et olemasolevad valgustite siinide asukohad jäävad muutumatuks.

3.2 Valgustehnilised eesmärgid ja projekteerimise standardid

Valgustus ruumis on hea, kui inimene end seal mugavalt ja turvaliselt tunneb. Ruumi valguskeskkonna kujundamisel on oluline arvestada päeva- ja tehisvalgusvalgust ning neid koos kombineerida. Valguskeskkonda iseloomustavad alljärgnevad põhinäitajad :

- Valgustihedus, E_m
- Valgusjaotus, E_{min}/E_m
- Valguse värviesitus ja näiv värv
- Valguse suund ja ruumiline valgustus
- Rägus, UGR_L
- Valguse värelus (*flikker*)

Arvestades antud töös kasutatava ruumi ehituslikku eripära ning sellest lähtuvaid päevavalgustingimusi, saame seada eesmärgid valgustuslahenduse loomiseks:

1. Valgustite valikul pidada oluliseks optika valikut ja valgustugevuse jaotusdiagrammi parima ühtluse saavutamisel;
2. Valgustuse juhtimisel kasutada automaatset dünaamilist juhtimist võimalusega käsijuhtimisega sekkumisel

Teades aga ruumi kasutusotstarvet, saame kirjeldada valgustuse nõudeid läbi standardite ja õigusaktide. Valgustusele esitatavad nõuded on esitletud standardis EVS-EN-12464-1-2011 ja välja toodud alljärgnevas tabelis.

Tabel 3.1 Valgustuse nõuded õppehoonete auditooriumitele

Jrk nr	Hoone tüüp	Ruum	E_m lx	E_m lähiümbrus	U_0	R_a	UGR_L
1	Õppehoone	Auditoorium, loengusaal	500	300	0,6	80	19
2	Õppehoone	Valged tahvlid	500	300	0,7	80	19

Valgustiheduse E_m väärtus on ette antud tööpiirkonnale laudadel, mille kõrguseks arvutustes kasutame 0,8 m. Lähiümbruse all mõistetakse ümber tööpiirkonna nägemisvälja ulatuses vähemalt 0,5 m laiust riba. Värviedastusindeks R_a kirjeldab lambi võimet edastada värve korrektselt, loomutruult. Teda mõõdetakse suhtarvuna etalonallika suhtes. Mida suurem on R_a väärtus (max=100), seda kvaliteetsem on värviedastus. Valgustuse rägus on aisting, mida kutsuvad esile nägemisvälja liigheledad alad. UGR_L piirväärtused on standardi järgi vahemikus 10-28.

Valgustuse planeerimisel arvestame samuti MTM määruse nr 52:2015 [44] nõudeid, mis sätestab lampide valikul arvestama valgustuse erivõimsust ruumile. Määruses on öeldud, et haridus- ning teadushoone tööruumis, kus valgustihedus ei ületa 500 lx, ei tohi valgustuse erivõimsus ületada 10 W/m² ning üldvalgustuse juhtimine peab võimalusel toimuma automaatselt.

Elektervalgustuse arvutused ja simulatsioonid on aluseks projekteeritava valgustuslahenduse loomiseks ja juhtimiseks käesoleva tööülesande sooritamisel. Arvutusteks on kasutatud programmi DIALux evo 8.1, mis on eelnevalt seadistatud silmas pidades kõiki vajalike standardite nõudeid valgustusele ja energiatõhususele õpperuumides.

3.3 Valgustuse arvutused

Valgustuse arvutused arvutusprogrammis on läbi viidud kolmede erinevate valgustitega parima lahenduse leidmise eesmärgil. Ühe tüübi valgustitega on simuleeritud ka olukord, kus valgustite arv on suurem. Valgustite valiku eeltingimuseks lisaks võimsusele, optikale ja valgusjaotusdiagrammidele oli LED valgusallika olemasolu ning DALI juhtimisega liiteseade.



Joonis 3.2 Tallinna Tehnikaülikooli ruumi NRG-430 mudel programmis DIALux 8.1 evo

Valikuse on kaasatud teadlikult erinevaid valgustite valgusjaotudiagramme. Näiteks valgustil nr 1 on suhtarv 20/80, ehk et 20% valgusest on suunatud ülesse ja 80% alla. Valgustil nr 4 on suhtarv 50/50, valgustil nr 3 on aga kogu valgus suunatud alla. Valgusti nr 1 on lisaks võimalusega muuta valguse värvustemperatuuri (2700-6500 K). Sellel on positiivne mõju inimeste päevarütmile, tööviimele, mugavustundele. Valgustite tehnilised iseloomustused on välja toodud alljärgnevas tabelis.

Tabel 3.2 Valgustite tehnilised andmed

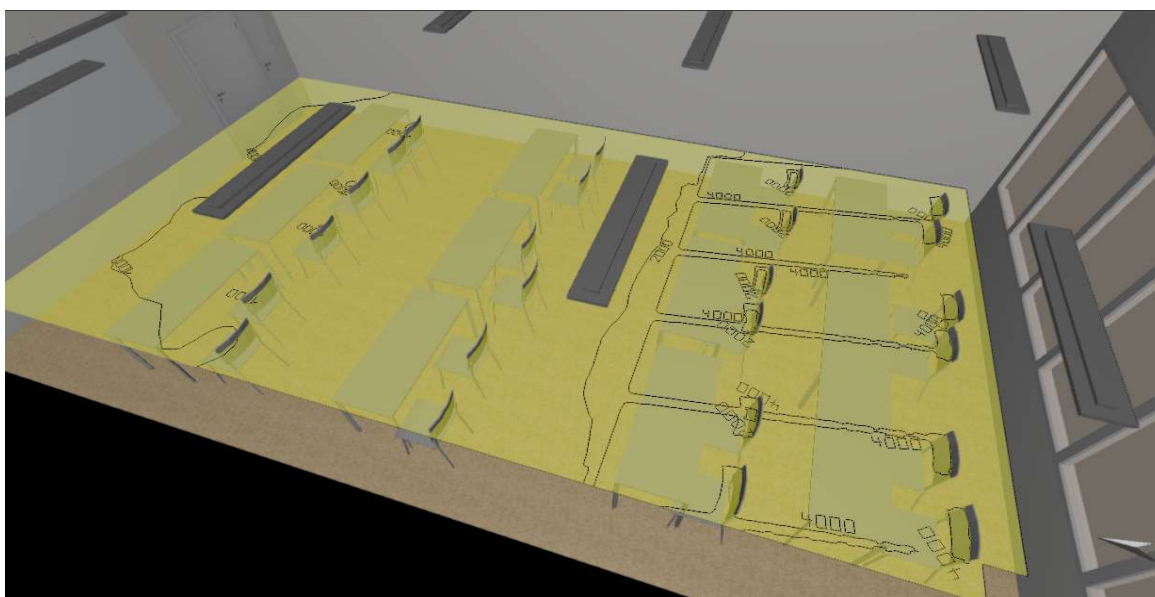
Jrk nr	Valgusti markeering	Võimsus W	Lambi valgusvoog lm	Valgusviljakus lm/W	Värvus-temp. K	Järgneva arvutuse number
1	GLAMOX C95-P240x1500 20/80 LED 4800 840 MP	36,0	4795	133,2	4000	1
2	GLAMOX C50-PS 180 SA 1xT5	80,0	6150	63,2	4033	1, 2,3,4
3	ENSTO AV15 LLRED	42,0	5400	128,6	4000	4
4	GLAMOX X-TYPEEP 50/50 830 SL	59,0	6289	106,6	3000	3

Valgustuse erivõimsus ruumile vastavalt arvutustele jäi normpiirangute alasse ning oli järgmiste väärtustega:

1. Arvutus nr 1 – 4,79 W/m², laevalgustuse koguvõimsus 288,0 W
2. Arvutus nr 2 – 7,19 W/m², laevalgustuse koguvõimsus 432,0 W
3. Arvutus nr 3 – 7,85 W/m², laevalgustuse koguvõimsus 472,0 W
4. Arvutus nr 4 – 5,59 W/m², laevalgustuse koguvõimsus 336,0 W

Energiakulu arvutuste juures tuleb ära märkida, et arvutusprogramm DIALux ei arvesta valgustseene aga lampide hämardatud olekuid.

Stsenaariumite valikul oli oluline teadvustada päevavalguse olemasolu ning uurida tema mõju. Sellest lähtuvalt sai simuleeritud olukordi, kus erinevad valgustite read olid lülitatud erineva valgusvoo tugevusega. Olukorda, kus aknad oleksid kaetud kardinatega ning päevavalguse mõju väiksem arvutusprogrammis ei simuleeritud. Arvutusprogrammi väljastatud tulemused on lisatud lisadena magistritöö juurde.



Joonis 3.3 Päevavalguse mõju kujutamine töötasapinnal samavalgustiheduse joontena (isojoontena)

Kogu arvutuse tulemused on kirjeldatud tabelis 3.3. ning DIALux programmis läbi viidud simulatsioonid ning arvutused on magistritööle lisatud andmekandjal kättesaadavad.

Tabel 3.3 Valgusarvutuste tulemused erinevate stsenaariumitega ruumile NRG-430

Jrk nr	Stsenaarium	Arvutus nr 1			Arvutus nr 2			Arvutus nr 3			Arvutus nr 4		
		$U_0 (E_{min}/E_m)$	E_m /lx	UGR _L	$U_0 (E_{min}/E_m)$	E_m /lx	UGR _L	$U_0 (E_{min}/E_m)$	E_m /lx	UGR _L	$U_0 (E_{min}/E_m)$	E_m /lx	UGR _L
1	Lülitatud kõik valgustid, pime taevas	0,60	561	14,3	0,56	836	14,4	0,53	678	16,4	0,58	736	17,8
2	Lülitatud kõik valgustid, keskmine taevas	0,21	3428	14,3	0,20	4225	14,4	0,21	3568	16,4	0,22	3641	17,8
3	Lülitatud kõik valgustid 78% valgustugevusega, keskmine taevas	0,19	3305	13,4	0,19	4041	13,5	0,19	3419	15,5	0,21	3479	17,0
4	Lülitatud kõik valgustid koos tahvli valgustusega, pime taevas	0,59	701	18,5	0,55	971	17,1	0,53	781	16,6	0,56	878	18,3
5	Lülitatud 2 esimest rida 100%, 3. rida 60 %, 4. rida 30 %, keskmine taevas	0,21	3288	13,9	0,21	4016	14,1	0,21	3399	16,7	0,23	3457	17,3
6	Lülitatud 2 esimest rida 100%, 3 rida 40%, 4.rida 20%, keskmine taevas	0,21	3314	13,7	0,21	3954	14,1	0,21	3416	16,8	0,29	3762	18,4
7	Lülitatud esimene rida 100%, 2. rida 80%, 3.rida 36%, keskmine taevas	0,20	3423	13,7	0,20	4137	13,8	0,20	3515	17,1	0,22	3566	17,4
8	Päevavalguse valgusstseen (lambid välja-lülitatud)	0,18	264	<10	0,18	308	<10	0,18	267	<10	0,18	269	<10

DIALUX-mudelite simulatsioonitulemuste analüüsi põhjal saame teha mitmeid järeldusi valgustuse juhtimispehmoötete valikuks süsteemi projekteerimisel:

1. Valgustiheduse ühtlus (U_0) on hea ilma päevavalgusega, seega päevavalguse segav mõju on otseselt olemas. U_0 päevavalgusega kõigest 0,19 – 0,29.
2. Päevavalguse kompenseerimine valgustiheduse ühtluse saavutamiseks sellise võimsusega valgustitega ei ole võimalik. Vajalik leida teisi variante (aknakatted, võimsamad valgustid). Suurema võimsusega valgustite kasutamine ei pruugi olla ka majanduslikult sh energiatõhususe saavutamise seisukohalt otstarbekas.
3. Dünaamiline st automaatselt dimmerdatav valgustuse juhtimine on põhjendatud arvestades halbasid päevavalgustingimusi ja ruumi maksimaalse sügavuse mittevastavust standardile EVS 894:2008+A2:2015.
4. Suurema valgusvooga valgustid ei paranda valgustiheduse ühtlust, küll aga võimaldavad saada suuremat valgustihedust töötasapinnal.
5. Valguse rägus sõltub valgustuse valgusjaotusdiagrammist ning valgusti optika eripäradest.

Käesoleva magistr töö ei keskendu otstarbekamate valgustite valimisele, vaid valgustite juhtimise projekti kavandamiseks vajalikele arvutustele ja nende analüüsil tehtud järeldustele.

3.4 Valitud seadmed

Valgustuse juhtimise toimimise oluliseks osaks on automaatjuhtimissüsteemi jaoks sobilike seadmete kindlaksmääramine ja valimine. Seadmete valikul on oluline oli jälgida aparaatide funktsionaalsust, otstarbekust, ühilduvust (kokku sobivust) ning analüüsida seejuures ka tulevikuperspektiivis süsteemi muutmise ja edasiarendamise võimalusi. Elektrikilpi paigutatavate seadmete osas on jälgitud kinnituse võimalust nn 35mm DIN kandeliistule (EVS-EN 60715).

KNX hooneautomaatikastandardi ja DALI valgustite juhtimise ja kontrollimise süsteemi sobivalt kokku integreerides saab luua tõhusa valgustuse juhtimise süsteemi. Integreeritud süsteem võimaldaks luua just suuri, paindlike, hästi hallatavaid automaatseid valgustuse juhtimissüsteeme. Suurema ala valgustuse energiatõhusa juhtimisega on võimalik saavutada ka suuremat energia kokkuhoidu. Seda toetab KNX-siini struktuur ja topoloogia (alapeatükk 2.2.2), milles ühel alal (alapid kuni 15) saab olla maksimaalselt 57500 seadet. Üks osa seadmetest oleksid KNX/DALI lüüsid. Seejuures DALI võrgustruktuur ja topoloogia (alapeatükk 2.2.3) võimaldab luua 16 gruppi, igasse nendest 64 seadet. Niisuguste mastaapidega on võimalik keskselt hallata üsna suuri hooneid, alapid

või asulaid. KNX hooneautomaatikastandardi võrkusid kasutatakse seetõttu „selgroona“ (*backbone*) DALI liiteseadmetega valgutite juhtimisel.

3.4.1 KNX andmesidelüüsid

Lüüsid on ühendusliidesed KNX protokollide ning teiste protokollide ja standardite vahel. KNX ja standardite vahelised liidesed on KNX/USB liides ja KNX/Ethernet liides. Läbi nende liideste on võimalik teha süsteemi seadmete muudatusi, neid ümber programmeerida ja seadistada. Ethernet liides võimaldab KNX võrguga sidet pidada distantsilt, üle interneti. Võimalus on süsteemile lisada veel KNX/IP marsruuter (*router*), mis annab võimaluse üle võrgu kokku ühendada mitmed KNX liinid.

Erinevate tööstusautomaatika protokollide ühendamiseks KNX-võrguga on olemas samuti toetavad lüüsimoodulid. Võimalik on sidestada järgnevaid mooduleid:

- KNX/DALI lüüs
- KNX/Modbus lüüs
- KNX/Mbus lüüs
- KNX/Modbus RTU lüüs
- KNX/DMX lüüs

Käesolevasse projekti on valitud KNX/USB liides ABB USB/S 1.1. [32] Seadme maksimaalne voolutarve KNX siinilt on kuni 12 mA. Seade tuvastatakse ja installeeritakse automaatselt arvuti operatsioonisüsteemi poolt, lisatarkvara pole vajalik. USB liides seadmel on USB standard 1.1, maksimaalne andmete edastamise kiirus 12 Mbit/s. Esipaneelil asuvad kaks signaaltuld. Ülemine tuli signaliseerib USB siinil andmete liikumist ning alumine tuli annab märku andmete liikumisest KNX siinil. Nagu eelneval seadmel, on ka temal esipaneeli alumises ääres surunupp, millele vajutades seatakse seade programmeerimisrežiimi. Sellele vajutades süttib kohe punane märgutuli.

KNX-DALI liideste valikul on oluline pidada silmas järgmist:

- DALI väljundite arv
- KNX siini voolutarve, mA

Antud projekti on valitud liideseks ABB DG/S 1.64.1.1. [33, 34] Liides on ühe väljundiga, võimaldades ühendada 16 DALI gruppi või 64 üksikut DALI valgustit ning luua 16 stseeni. Seadme tehnilised andmed on järgmised:

- Seadme $I_N = 25 - 48$ mA
- KNX siini $I_N = 10$ mA

Seadmete esipaneelil asuvad seadme tööd iseloomustav roheline ja kollane märgutuli. Rohelisel tulel on kolm erinevat olekut:

- Roheline põleb – liidese ja KNX pinge olemas, seade töövalmis
- Vilgub kiirelt – KNX pinge on olemas, liidese pinge puudub
- Vilgub aeglaselt – käsirežiimis juhtimine

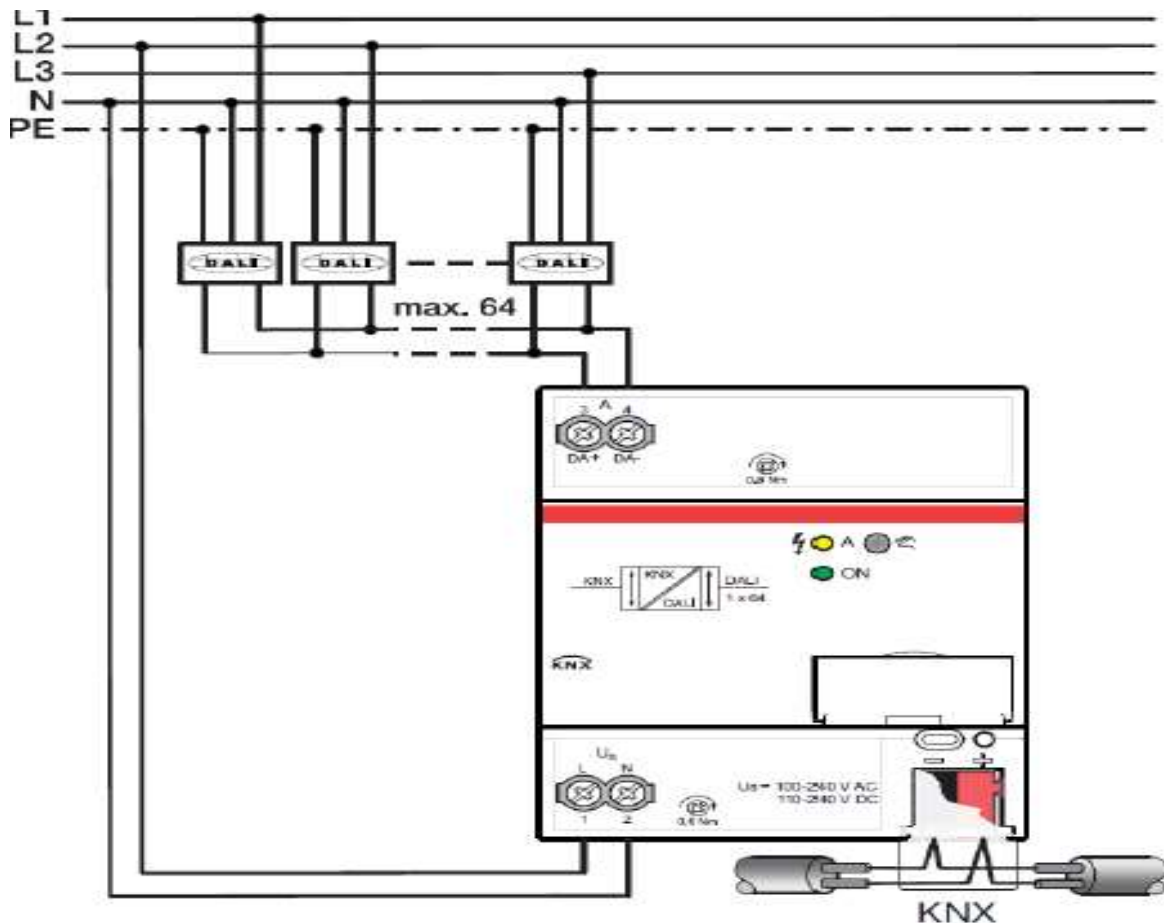
Kollane LED-indikaator iseloomustab DALI süsteemi tööd ning on olemas kolm erinevat olekut:

- väljalülitatud – DALI töötab normaalrežiimis
- sisse lülitatud – viga DALI süsteemis (lühis, lambi või liiteseadme rike)
- vilgub kiirelt – toimub lampide initsialiseerimine. Kui on ühendatud rohkem kui 64 lampi, vilgub kollane pidevalt.

Käsirežiimist väljumiseks tuleb hoida surunuppu pikemalt lülitatud olekus ja vabastada siis, kuni hakkab roheline signaaltuli pidevalt põlema.

All paremas nurgas asub samuti seadme programmeerimisrežiimi viimise nupp, millele vajutamisel süttib tema kõrval punane LED märguandeks. Programmeerimisrežiimi seatakse seade siis, kui toimub seadistuste ja programmi laadimine arvutis kasutatavast tarkvarast seadmesse. Lisaks kasutatakse seda nuppu ja märgutuld olukorras, kui on vajalik KNX võrgus seadmete aadresside tuvastamine.

Must nupp käe (🖐️) sümboliga on manuaalseks DALI seadmete lülitamiseks. Seda on võimalik kasutada kontrollimaks näiteks DALI juhtmestiku õigsust ja vigaste DALI seadmete tuvastamiseks, mis ei reageeri edastuskäskudele. Manuaalset režiimi kasutamise eelduseks on toitepingete olemasolu nii liidesel endal, kui ka KNX siinil.

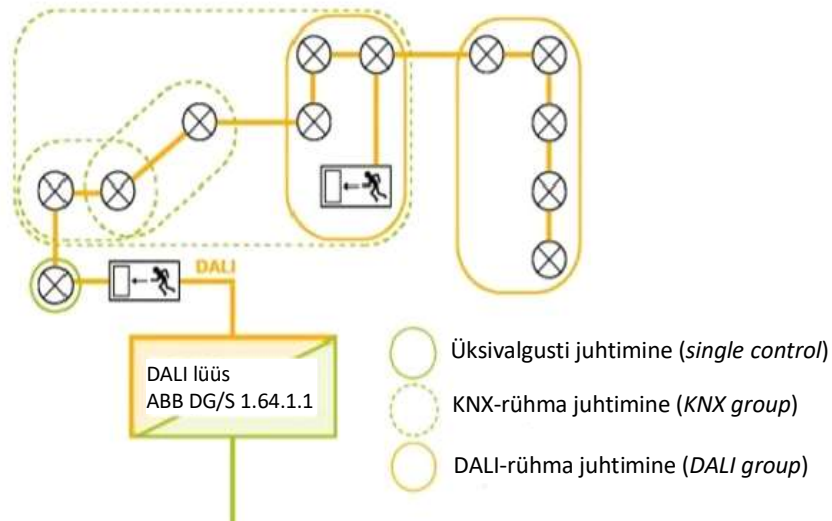


Joonis 3.4 Andmesidelüüsi KNX/DALI DG/S 1.64.1.1 ülevaade ja põhimõtteline ühendusskeem [33]

KNX/DALI andmesidelüüs on väga mitmekülgne seade paljude võimalustega valgustuse juhtimiseks ja kontrollimiseks. Süsteemi parameetreid on võimalik seadistada kahe programmiga – KNX võrgu töövahendiga ETS5 või ABB seadistusprogrammiga i-bus® Tool. Valgustite rühmade seadistamine DALI-võrgus toimub ainult ABB programmiga i-bus® Tool. Järgnev loetelu kirjeldab liidese tehnilisi võimalusi valgustuse juhtimiseks [35]:

- Valgustite lülitamine
- Valgustite dimmerdamine (muutumise kiirus, valgusvoo tugevus, vahemik)
- Täpsed veateated valgustite ja süsteemi operatiivseks hoolduseks
- Trepikoja valgustuse funktsioon
- Valgustite värvide juhtimine RGB (*red, green, blue*) tehnoloogial
- DALI valgustite automaatse adresseerimise keelamine või lubamine

Joonis 3.5 kirjeldab valgustite ühendamise võimalusi ja grupeerimistest kasutades KNX/DALI andmesidelüüsi.



Joonis 3.5 KNX/DALI võrgu ülesehitust ja ühendusi seletav joonis [33]

Skeem kirjeldab kolme valgustite grupeerimise näidet. Andmesidelüüs võimaldab juhtida DALI valgustite gruppi (*DALI Group*), eraldi KNX valgustite gruppi (*KNX Group*) ning koos kombineerides neid kahte gruppi. DALI valgustite grupp on võimalik luua kasutades tarkvara i-Bus Tool (punkt 3.7). KNX valgustite grupp luuakse andmesidelüüsi seadistuses võimalusega juhtida igat liiteseadet eraldi. Gruppide loomisel on oluline teadmine, et loodud DALI grupi juhtimine toimub lähtuvalt KNX standardi andmevahetusest (punkt 2.2.1) ühe telegrammi saatmisega kogu grupile ning näiteks suured grupid lülitatakse viivitusega. Suure arvu KNX gruppide korraga lülitamisel tekivad viivitused, kuna telegrammi edastuse aeg on 20 – 40 ms. Samas suurendab selline võimalus valgustuse juhtimise paindlikkust juhtida korraga KNX ja DALI valgustite gruppe. [33]

3.4.2 KNX toiteplokk

Toiteplokkide valikul on oluline teada:

- väljundi voolutugevust, I_N
- vajadusel väljundi olemasolu lisatoitepinge saamiseks

Toiteplokk on valitud ABB SV/S 30.160.1.1.[31] Toiteplokil on SELV (*Separated Extra Low Voltage*) kaitsevääikepingega väljund. KNX siin on galvaaniliselt eraldatud toiteploki toitepingest. See loob kaitse, et näiteks primaarahela lühise või liigpinge (ülepinge) korral ei saa kahjustada sekundaarahelasse ühendatud KNX seadmed. Toiteploki tehnilised andmed on järgmised:

- $U_n = 30 \text{ V DC } +1/-1 \text{ V}$, SELV
- $I_N = 160 \text{ mA}$, ülekoormus $I_{OVI} = 0,3 \text{ A}$, lühisvool $I_{Sc} = 0,5 \text{ A}$

Toiteploki väljund on lühise ja ülekoormuse kaitsega. Esipaneelil oleval indikaatoril on kolm olekut toiteploki väljundi seisundile:

- Roheline – kõik korras, $I_N < I_{OVI}$
- Punane – ülekoormus, $I_{OVI} < I_N < I_{Sc}$
- Punane vilgub – vool piiratud, väljundpinge langeb

Seadme esipaneelil all, paremas ääres on surunupp millele vajutades seatakse seade programmeerimisrežiimi. Sellele vajutades süttib kohe kõrval ka punane märgutuli. Selle režiimi kasutamine võib osutada vajalikuks seadme tuvastamiseks või füüsilise aadressi määramisega ETS5 arvutiprogrammis.

3.4.3 Surunupplülititega KNX andurimoodul

Vajalikeks sekkumisteks valgustuse käsitsi juhtimisel on tähtis lisada projekti lüliti või lülitid. Arvestades ruumis olevaid valgustuse ridasid ning erinevate lisaväljundite võimaliku vajadust oleks otstarbekas kasutada lüliti, millega saaks juhtida nelja valgustite rühma. Lisafunktsioonidena on võimalik teostada kardinade, ventilatsiooni, vms. juhtimist samast lülitist. Lülitiks on valitud mitmete funktsioonidega süvistatav surunuppudega KNX andurimoodul ABB 6127/01-84-500. [35] Niisugust moodulit saab kasutada erinevates rakendustes erineval otstarbel. Funktsioonid seadistatakse surunuppudega andurimoodulisse arvuti abil ETS5 tarkvaraga igale klahvile eraldi. Klahve saab kasutada näiteks alljärgnevate toimingute teostamiseks:

- a) Lülitina valgustite sisse või välja lülitamiseks
- b) Valgusregulaatori nupuna juhivate valgustite dimmerdamiseks
- c) Rulookardinade juhtimiseks
- d) Ettemääratud valgustusstseenide lülitamiseks
- e) Lülitusjärjestuse seadmiseks
- f) Erinevate väärtuste („1“ või „0“) saatmiseks mingitele täiturseadmetele

Klahvidel paiknevad LED märgutuled annavad informatsiooni lüliti asendist ja tööst. Klahve saab markeerida erinevate logodega (valgusti, kardin, ventilatsioon, jne.) juhivatest süsteemidest. Lüliti programmeerimisrežiimi seadmiseks tuleb eemaldada väline raam ja klahvid. Nende alt tuleb nähtavale üleval vasakul süvistatud surunupp ning kõrval punane LED.

3.4.4 KNX konstantse valgustiheduse andur

Valgustuse automaatse juhtimise ja reguleerimise eelduseks on andurite kasutamine süsteemis. Andurid on oma olemuselt seadmed, mis muudavad mingi füüsilise suuruse (näiteks valgus, rõhk, temperatuur) enamasti elektriliseks suuruseks, mida saab mõõta, töödelda, võrrelda.

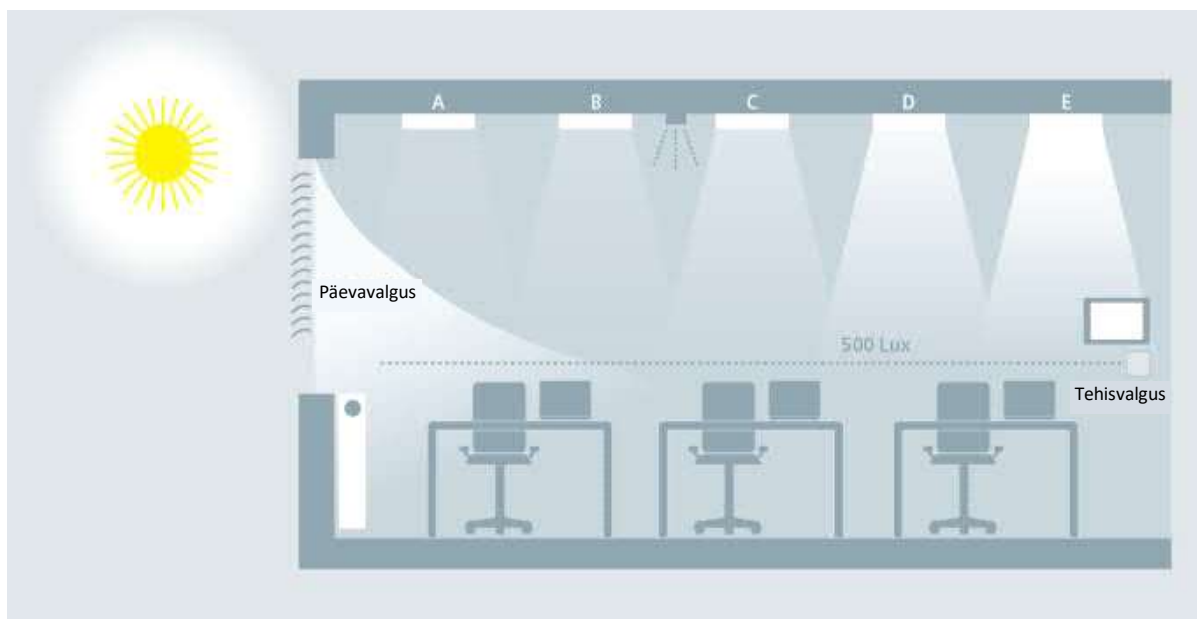
Arvestades alapunktis 3.2 valgustusele seatud eesmäärke ja punktis 3.3 tehtud arvutustulemusi on anduri valikul üks tähtsamaid tingimusi tema võimekus valgustuse dünaamiliseks juhtimiseks konstantse valgustiheduse tagamisel töötasapinnal. Anduriks on valitud Siemens UP 255D21. [36]

Andurit saab iseloomustada järgmiselt:

- Integreeritud IR vastuvõtja funktsioon (puldiga juhtimise võimalus)
- Vahemikupõhine valgustiheduse kontroll (ainult sisse/välja lülitamine)
- Konstantse valgustiheduse kontroll viie valgustirühma juhtimisega
- Võimalus anduri pindmiseks paigalduseks
- Valgustiheduse mõõtevahemik 20 - 1000 Lx
- KNX siinilt $I_N = 10 \text{ mA}$

Programmeerimisrežiimi viimiseks tuleb andurilt eemaldada väline kaitsevõru ning selle alt tuleb nähtavale surunupp koos läheduses oleva LED lambiga. Kiire (< 2 sek) nupule vajutus viib anduri programmeerimisrežiimi ning punane LED süttib. Teistkordne kiire vajutus lõpetab programmeerimisrežiimi. Selle nupu pikalt all hoidmine (> 20 sek) taastab anduri tehasesätteid.

Konstantse valgustiheduse hoidmise põhimõtet kirjeldab joonis 3.6.



Joonis 3.6. Päevavalgust arvestav konstantse valgustiheduse juhtimise põhimõte [37]

Anduri soovituslik paigalduskõrgus on 2,4 -3,0 m, kaugus aknast ei ole määratud. Loomuliku valguse mõju objektiivsema mõõtmise tagamiseks on tootja poolt soovitatud paigaldus akendele lähemale, ruumi esimesele kolmandikule akendest. Konstantne valgustihedus anduri parameetrites on võimalik valgustihedus töötasapinnal seadistada kas kindla väärtusena või ka dünaamilise suurusena. Üks valgustite rida (sageli akendele lähim) sätestatakse põhireaks (liider, *master*) ning teised read sätestatakse alluvateks (*slave*). Valgusvoo tugevuste muutmine valgustitel toimub primaarsel real lähtuvalt ruumi valgustihedusest ning alamatel ridadel eelseadistatud parameetritega sünkroonselt primaarse reaga. Seadistamise aluseks on vajalikud valgustiheduse mõõtmised ruumi erinevates osades, valgustiridade all ja ainult päevavalguses. Võimalik on lülitada ühekaupa valgustite alluvridasid ka dimmerdamise suhteliste väärtusena (protsentides) valgustite põhirea valgusvoo väärtuse suhtes.

Kõik projektis kasutatavad seadmed koos iseloomustatavate markeeringute ja piltidega on kujutatud tabelis 3.4.

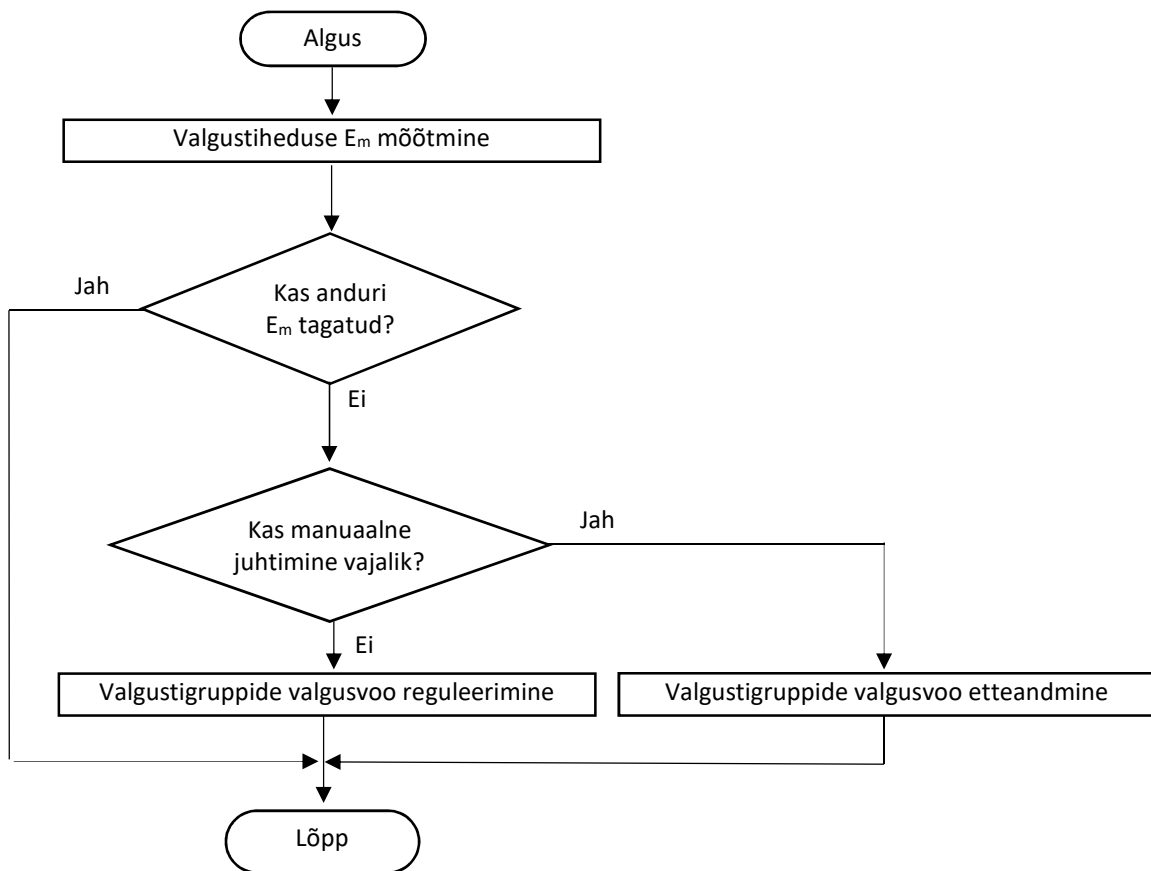
Tabel 3.4 Näidissüsteemis kasutatavaid KNX seadmeid iseloomustav tabel

Jrk nr	KNX seadme funktsioon	Valitud tüübitähis	KNX seade
1	KNX siini toiteplokk	ABB SV/S 30.160.1.1. [31]	
2	KNX/USB liides	ABB USB/S 1.1 [32]	
3	KNX/DALI liides	DG/S 1.64.1 [33]	
4	Sensorlüüti	ABB 6127/01-84-500 [35]	
5	Andur	Siemens UP 255D21 5WG1 255- 2DB21 [36]	

3.5 Juhtimisalgoritm

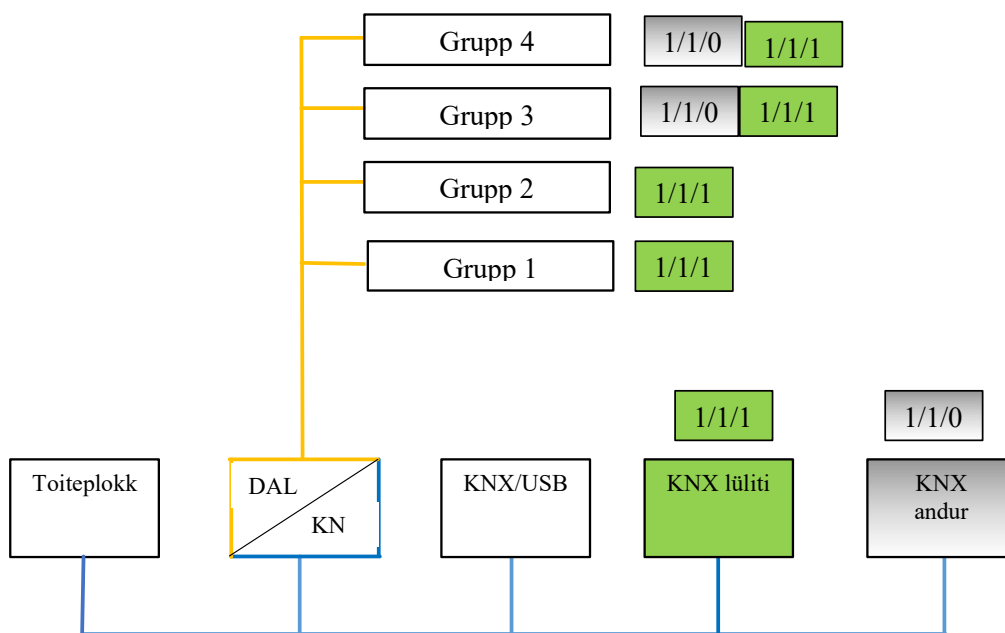
Valgustuse juhtimissüsteemi loomine eeldab juhtimisalgoritmi koostamist. Algoritm määrab juhtimistoimingute järjekorra ajas, arvestades seejuures kõiki seatud eesmarke väljundsuuruse saavutamisel. Väljundsuuruseks antud tööülesandes on konstantse valgustiheduse (E_m) tagamine

töötasapinnal automaatjuhtimisega valgustusega. Paindlikkuse suurendamiseks on lisatud manuaalselt sekkumise võimalus valgustigruppide valgusvoo reguleerimiseks. Valgustigruppe on kokku neli, iga rida eraldi. Manuaalsel sekkumisel lülitub automaatjuhtimine välja ning selle taastamiseks tuleb valgustus esmalt välja lülitada ning siis uuesti lülitada. Oma olemuselt on valgustuse automaatrežiimis toimimine suletud juhtimissüsteem, kus tagasiside saadakse valgustiheduse summana valgustitelt ja päevavalguselt. Manuaalsel sekkumisel muutub valgustuse juhtimissüsteem avatud süsteemiks. Automaatjuhtimisega valgustuse toimimist koos manuaalse sekkumise võimalusega on kirjeldatud juhtimise algoritmiga, mis on kujutatud joonisel 3.7.



Joonis 3.7 Näitlik valgustuse juhtimise algoritm

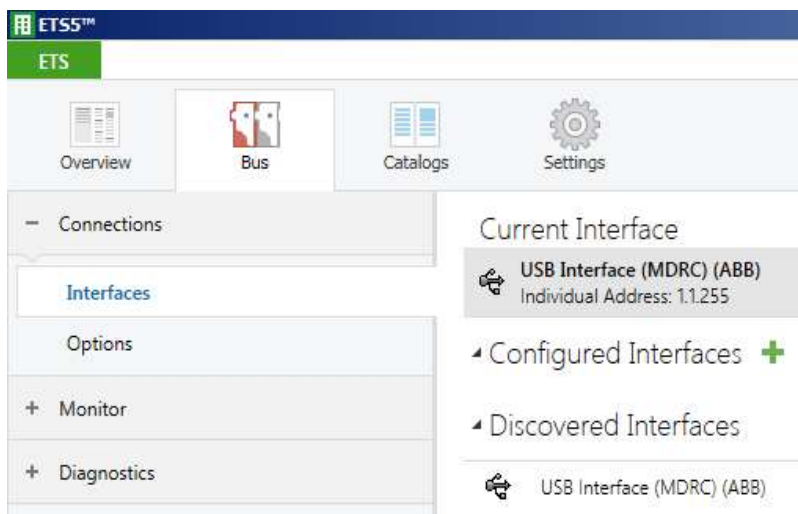
Joonis 3.8 kirjeldab seadmete paiknemist plokskeemina ning selgitab näitena KNX gruppide adresseerimise olemust. Joonisel on kujutatud olukord, kus lülitiga kontrollitakse kõiki grappe, anduriga aga lisaks veel grappe 3 ja 4. Näiteks lülitustega seotud gruppides on alati minimaalselt 2 parameetrit, kus üks on lülitilt ja teine on kontrolleri jaoks. Kolmas muutuja saaks olla samuti liikumisandurilt. Kuna sellises grupis oleks kaks võimalust kontrolleri lülitamiseks, tuleb seadetes määrata üks sisend primaarseks. Grupiaadressis võib olla ka ainult üks objekt. Näiteks olukord, kus valguse andur mõõdab tsükliliselt valgustihedust ruumis.



Joonis 3.8 Seadmete plokskeem KNX gruppide adresseerimise põhimõttelise olemuse näitega

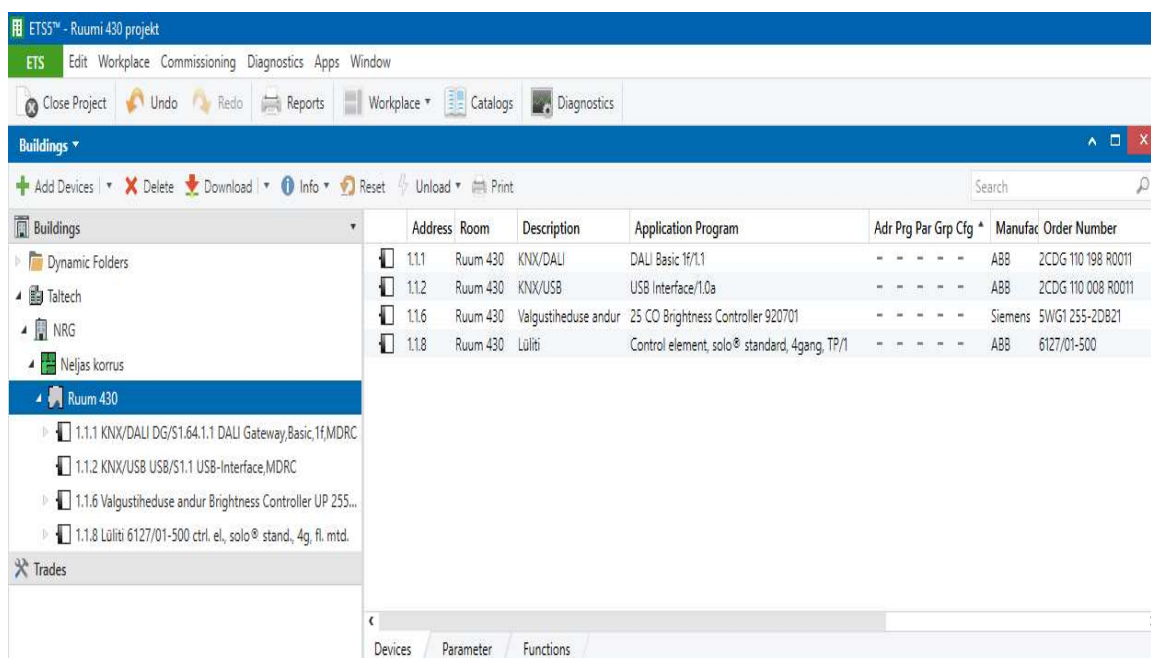
3.6 Valgustuse juhtimine ETS5 arvutiprogrammiga

KNX seadmete ning DALI valgustite valgustuslahenduse toimimiseks luuakse tarkvaralises keskkonnas programm valgustuse juhtimiseks. Selliseks keskkonnaks sobib ETS5 tarkvara, mis on saadaval väikeste projektide (kuni 5 KNX seadet) vabavarana. Projekti loomine algab arvuti ja KNX/USB liidese ühendamise ja programmi ETS5 käivitamisega. Korrekse ühenduse korral peab ilmuma aknasse liidese KNX aadress 1.1.255 (joonis 3.9) ning peale seda saab seadistustega edasi minna.



Joonis 3.9 Ühendatud liidese kuvamise näide programmis ETS5

Järgnevalt tuleb programmil lasta leida kõik seadmed ning tuvastada nende füüsilised aadressid. Kasutades „Line Scan“ käsku tuleb reale „Line Adress“ kirjutada liini number, mis antud juhul on 1.1. Kuna liin ei saa olla ilma „alata“, siis esimene number tähendab „ala“ numbrit ning teine number on „liini“ number. Programmi leitud ja määratud seadmete füüsilisi aadresse on võimalik vajadusel ka hiljem muuta. Kui kõik seadmed on leitud järgneb edasi projekti loomine kasutades selleks üleval vasakus servas olevat „+“ sümboolit. Defineerides ära nõutud väljad kuni väljani „Ruum 430“ järgneb vajalike seadmete lisamine ruumi nupuga „Add Devices“. Vajutades nupule avaneb aken „Catalog“ ning leides sealt eespool kirjeldatud seadmed tootjate järgi, tuleb nad lisada ruumile.



Joonis 3.10 Ruumi NRG-430 lisatud seadmete loetelu

Järgneb grupiaadresside loomine, mis on valgustuse juhtimise alus. Vajalik avada kõikide lisatud seadmete aken „Parameter“ ning seadistada parameetrid vastavalt projekti vajadustele. KNX/DALI liidese „DALI Output A“ parameetrites on vajalik ära määrata lubamine valgusti gruppide juhtimiseks ning seejärel lubada nelja grupi kasutamine. Alternatiiv oleks igat valgustit eraldi kontrollida, juhtida. Samuti annab võimaluse programmil endal automaatselt adresseerida DALI seadmed. Neid on võimalik hiljem soovi korral ümber nimetada. Gruppide seadustuse juures on tähtis veel grupid 2 – 4 määrata olema „alamateks“. Valgustite grupeerimise täpsemad võimalused on kirjeldatud käesoleva magistritöö punktis 3.7.

Lüliti parameetrite juures tuleb ära määrata klahvide funktsioonid. Lüliti ülemisele klahvile anname käsu toimida lülitina. Teised klahvid saavad valgusregulaatorina toimimise käsud.

Valgustiheduse anduri parameetrites tuleb esmalt aktiveerida valikutest konstantse valgustiheduse kontroll. Anduri kalibreerimise võimalustes kasutame korrektsiooniteguri valikut (*with adjustment factor*), mille saab vabalt valida. Mõõdetud valgustiheduse väärtus väljastatakse siis korrektsiooni tegurist ning anduri mõõdetud suuruse korrutisest. Konstantse valgustiheduse parameetrites määrame ainult ruumis mõõdetava valgustiheduse suuruse analüüsimise aluseks valgustihedusele. Võimalus on määrata ka kombineerides päevavalgusega. Selline määrang on põhjendatud pideva päevavalguse puudumisega ruumi kasutamise ajal. Järgnevas valikus määrame valgustiheduse sättepunkti, mida soovime hoida ruumi töötasapinnal. Tabeli 3.1 andmete põhjal on selleks väärtuseks 500 lx. Kontrolleri parameetrites tuleb seadistada hüstereesi väärtus valgustiheduse sättepunktile (5%-20%), valgustiheduse väärtuste saatmise sagedus (1-20 sek) ja KNX telegrammi tüüp („lülitus“ või „valgusregulaator“) konstantse valgustiheduse kontrolli käivitamiseks. Kontrolleri väljundi parameetrites määrame millise maksimaalse astmega valgusregulaator muudav valgusvoogu (0,5% - 3,9%), põhivalgustigrupi (*master*) maksimaalse valgusreguleerimise väärtuse (1 – 255) ja kas võimaldame „ülem“/“alam“ stiilis juhtimise. „Alamate“ seadistuses on oluline teha valik, millise seaduspärasuse järgi toimub nende valgusreguleerimine. Valikus on kaks võimalust:

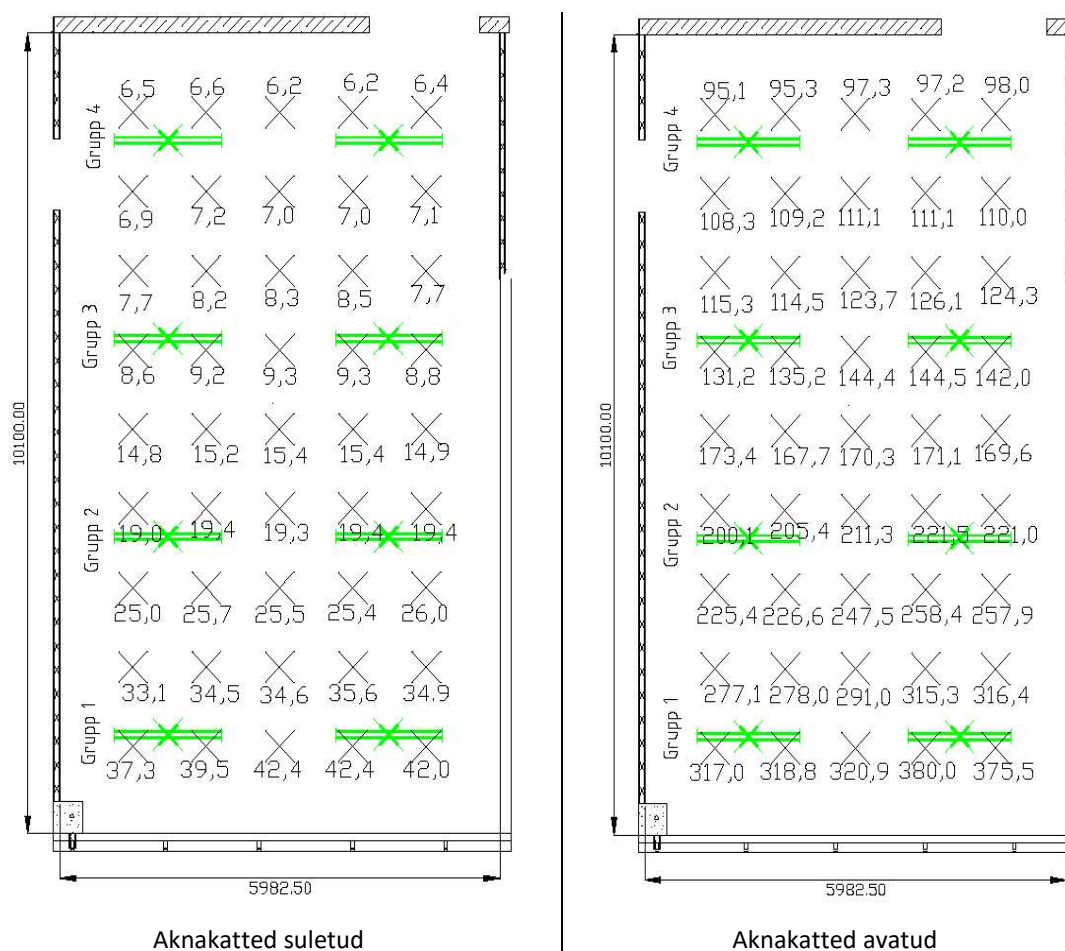
- Alamgruppide valgusreguleerimine toimub sisestatud nihke järgi peagrupi valgusvoo väärtusesse. Väljendatakse 0% - 100%.
- Alamgruppide valgusreguleerimine toimub mõõtetulemuste põhjal, mis saadud alamgruppide all valgustiheduse mõõtmisel. Väljendatakse valgustiheduse mõõtühikutes (lx).

On oluline mõista, et valides emba-kumba neist valikutest, peaks eelnema valgustiheduse mõõtmine töötasapinnal. Saadud tulemuste põhjal saab välja arvutada nii protsentides erinevuse peagrupi suhtes (kasutades „esimest“ valikut reguleerimise seaduspärasuses), kui ka keskmise valgustiheduse väärtuse alamgruppide all (kasutades „teist“ valikut reguleerimise seaduspärasuses).

Valgustiheduse mõõtmine ruumis NRG-430 on teostatud mõõteseadega Gigahetz-Optik, BTS256-EF, BiTec Sensor LuxMeter. Mõõtmise aeg oli 01.04.2019, kell 17.30 – 17.50. Otsene päikesevalgus ruumis puudus, pilvitu taevast.

Valgustiheduse mõõtmise korra ruumis sätestab standard EVS_EN 12464_1_2011. Seal kirjeldatud nõuete kohaselt peab mõõtepunktide raster kokku langema valguspaigaldise projekteerimisel kasutatud rastriga. Arvestades ruumi NRG-430 mõõtmeid ning arvutusprogrammis DIALux 8.1 evo

koostatud eelnevat valgustiheduse arvutuste rastrit on punktide suurim vahekaugus ruumis 1,0 meetrit. Mõõteandmed on mõõdetud 45 punktis ning kujutatud joonisel 3.11.



Joonis 3.11 Valgustiheduse mõõtmistulemused ruumis NRG- 430, (lx)

Täpsemate andmete saamiseks valgusregulaatori seadistustele on teostatud mõõtmine suletud ja avatud aknakatetega. Arvutades aritmeetilisi keskmisi valgustiheduse väärtustest saame vajalikud tulemused parameetrite jaoks. Gruppide 1, 3 ja 4 arvutuste aluseks on kasutatud andmeid kümnest lähimast mõõtepunkti, grupi 2 arvutused on viieteistkümnest mõõtepunkti. Tulemused on kirjeldatud tabelis 3.5.

Tabel 3.5 Valgustiheduse arvutuste andmed ruumis NRG-430 töötasapinnal valgustigruppide lõikes

Jrk nr	Grupp nr	Aknakatted avatud		Aknakatted suletud	
		Valgustihedus lx	Väiksem 1. grupist %	Valgustihedus lx	Väiksem 1. grupist %
1	1.	319,1	100	37,6	100
2	2.	208,5	34,7	19,9	47,1
3	3.	130,1	59,2	8,6	77,1
4	4.	103,3	67,6	6,7	82,2

Analüüsid tabelis kujutatud andmeid, saab järeldada, et valguse ühtlus on parem avatud aknakatetega ruumis ning valgustiheduste erinevused valgustigruppide all väiksemad. Väiksemad erinevused on väljakutseks täpsematele seadistustele ja kalibreerimistele.

Lähtuvalt võimalusest kasutada alamate gruppide seadistusel mõlemaid variante oleks otstarbekas neid ka kasutada ning tulemuste põhjal teha valik kumba eelistada.

KNX grupiaadresside loomist alustatakse akna „Group Addresses“ avamisega ETS5 programmis. Vasakul olevas menüüs tuleb defineerida peagrupp (*Main Group*), siis keskgrupp (*Middle Group*) ja edasi alamgrupid ehk grupiaadressid. Grupiaadresside moodustamisel programmis tuleb avada korraga nii aken „Building“ kui „Group Addresses“, kuna objektide lisamine aadressidele toimub lohistamise teel ühest aknast teise. Aadresside nimetamine on vabalt valitav ning pidevalt muudetav, samuti ei oma tähtsust nende järjekord loomisel.

Oluline on samuti ära märkida grupiaadresside loomise hierarhiline süsteem või loogika. See on programmi looja poolt loomingukselt ja vabalt valitav ja põhineb konkreetsele projektile. Näiteks tähendab see seda, et ei pea defineerima aadresse läbi ehitise osade, stiilis „korrus → ruum 1, ruum 2, jne → kõik seal toimuvad lülitused“. Mõnikord on otstarbekas grupeerida funktsioonide põhised. Näiteks, „ruum → küte, ventilatsioon, valgustus lülitused, valgustuse dimmerdamised, jne → kõik seal toimuvad lülitused“.

Piltlikult kujutab grupiaadress lihtsalt loogilist ühenduslüli kahe (või rohkema) seadme vahel, mis on loodud lülituse teostamiseks. Sellise ühenduslüli loomise tähtsaim põhialus on mõlema seadme ühe suurusega andmete (bitt ja bitt või bait ja bait) paigutamine gruppi.

Group	Length	C	R	W	T	U	Data Type	Priority
43	2 bytes	C	R	-	-	-	lux (Lux)	Low
53	1 bit	C	-	W	T	-	switch	Low
54	1 bit	C	R	-	T	-	switch	Low
57	1 bit	C	-	W	T	-	switch	Low
58	4 bit	C	-	W	T	U	dimming control	Low
59	1 byte	C	-	W	T	U	percentage (0.1...)	Low
60	1 bit	C	-	W	T	-	switch	Low
61	1 byte	C	-	W	T	U	percentage (0.1...)	Low
62	1 byte	C	R	W	T	U	percentage (0.1...)	Low
63	1 bit	C	-	W	T	-	switch	Low

Address	Name	Desc	Central	Pass 1	Data Type	Length	No. of Associations	Last Value
1/1/0	Põhigrupi auto dimmer	No	No	percentage (0.100..)	1 byte	2		
1/1/1	Konstantse valgustugevuse autoreguleerimise lülitamine	No	No	switch	1 bit	2		
1/1/2	Teine grupp auto dimmer	No	No	percentage (0.100..)	1 byte	2		
1/1/3	Valgustugevus	No	No	lux (Lux)	2 bytes	1		
1/1/4	Kalibreerimine	No	No	start/stop	1 bit	1		
1/1/5	Kolmas grupp auto dimmer	No	No	percentage (0.100..)	1 byte	2		
1/1/6	Neljas grupp auto dimmer	No	No	percentage (0.100..)	1 byte	2		
1/1/7	Manuaalne dim 1 ja 2 grupp	No	No	dimming control	4 bit	4		
1/1/8	Manuaalne dim 3. grupp	No	No	dimming control	4 bit	3		
1/1/9	Manuaalne dim 4. grupp	No	No	dimming control	4 bit	3		
1/1/10	Manuaalne on/off 1 ja 2 grupp	No	No	switch	1 bit	5		
1/1/11	Manuaalne on/off 3. grupp	No	No	switch	1 bit	3		
1/1/12	Manuaalne on/off 4. grupp	No	No	switch	1 bit	3		
1/1/13	DALI monitoring	No	No	start/stop	1 bit	2		

Joonis 3.12 ETS5 grupiaadresside kujutamine

Jooniselt 3.12 nähtub, et on loodud kokku 14 aadressi valgustuse juhtimiseks ruumile. Aadresside hulk ei ole kunagi lõplik suurus. Grupiaadressid on sisuliselt loogilised ühendused seadmete vahel mida alati on võimalik muuta. Muutusi võivad esile kutsuda näiteks vajadus teistsuguseks valguslahenduseks antud või lisanduvate valgustitega, uute seadmete (näiteks juhitavad aknakatted) paigaldamine. Selline paindlikkus ja avatus on omane KNX protokollile.

Ruumi NRG-430 valgustuse juhtimiseks on loodud järgnevad grupiaadressid koos kirjeldustega:

- 1/1/0 – Toimub põhigrupi valgustite automaatne dimmerdamine. Andmed liiguvad andurilt KNX/DALI liidese 1. grupile.
- 1/1/1 – Toimub konstantse valgustugevuse automaatse reguleerimise lülitamine. Andmed (1 bit) liiguvad lüliti esimese klahvi parempoolsele otsale vajutades (loogiline „1“) valgustiheduse andurile, mis seejärel mõõdab valgustihedused aja alustab konstantset valgustiheduse reguleerimist. Lüliti teine ots (loogiline „0“) lülitab kontrolleri välja ning seadeväärtust ja tegelikku väärtust enam ei võrrelda. Lüliti vajutamine taastab näiteks peale manuaalset valgustite juhtimise sekkumist automaatse reguleerimise uuesti.
- 1/1/2 – Toimub 2. valgustite grupi automaatne dimmerdamine
- 1/1/3 – Toimub valgustiheduse pidev automaatne mõõtmine
- 1/1/4 – Toimub valgustiheduse anduri kalibreerimine

- 1/1/5 – Toimub 3. valgustite grupi automaatne dimmerdamine
- 1/1/6 – Toimub 4. valgustite grupi automaatne dimmerdamine
- 1/1/7 – Toimub manuaalne 1. ja 2. grupi suhteline dimmerdamine lüliti teise klahviga
- 1/1/8 – Toimub manuaalne 3. grupi suhteline dimmerdamine lüliti kolmanda klahviga
- 1/1/9 – Toimub manuaalne 4. grupi suhteline dimmerdamine lüliti neljanda klahviga
- 1/1/10 – Toimub manuaalne „sisse“ – „välja“ 1. ja 2. grupi lülitamine lüliti teise klahviga
- 1/1/11 – Toimub manuaalne „sisse“ – „välja“ 3. grupi lülitamine lüliti kolmanda klahviga
- 1/1/12 – Toimub manuaalne „sisse“ – „välja“ 4. grupi lülitamine lüliti neljanda klahviga
- 1/1/13 – Annab võimaluse DALI valgustite monitoorimiseks

The screenshot shows the 'Group Addresses' window in a software application. The window has a menu bar with 'Add', 'Delete', 'Download', 'Info', 'Reset', 'Unload', and 'Print'. Below the menu bar is a search field. The main area is divided into a left sidebar and a main table. The sidebar shows a tree view of folders: 'Dynamic Folders', '1 Neljas korrus', and '1/1 Ruum 430'. Under '1/1 Ruum 430', there are several sub-items, with '1/1/7 Manuaalne dim 1 ja 2 grupp' selected. The main table has columns: Object, Channel, Device, Sending, Data Type, Product, Program, Length, Priority, Group, Room, and Description. The table contains three rows of data:

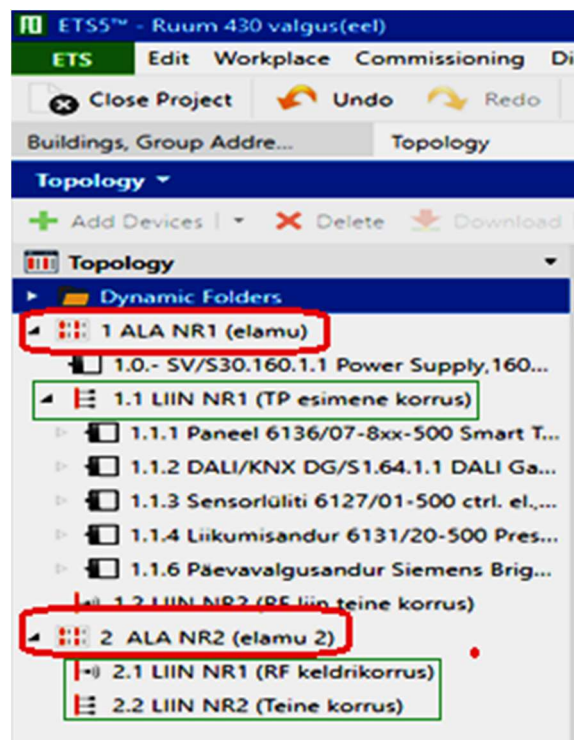
Object	Channel	Device	Sending	Data Type	Product	Program	Length	Priority	Group	Room	Description
16: S2.1: Relative dimming - Output	Rocker switch 2	1.1.8 Lüüti 6127/01-500 ctrl. el...		dimming control	6127/01-500 ctrl. el...	Control element, solo® st...	4 bit	Low	1/1/7	Ruum 430	Manuaalne dim 1.
51: Output A - group 1 - Relative dimm...	DALI output A	1.1.1 KNX/DALI DG/S1.64.1.1 D...	S	dimming control	DG/S1.64.1.1 DALI G...	DALI Basic 1f/1.1	4 bit	Low	1/1/7	Ruum 430	Manuaalne dim 1.
58: Control stop, dimming (continuous...		1.1.6 Valgustiheduse andur Bri...	S	dimming control	Brightness Control...	25 CO Brightness Control...	4 bit	Low	1/1/7	Ruum 430	Manuaalne dim 1.

Joonis 3.13 Grupiaadress 1/1/7 lisatud objektidega

Peale grupiaadresside loomist järgneb seadistuste üleslaadimine seadmetele. Seda on otstarbekas teha läbi *Building* paneeli (vaata joonis 3.14), aktiveerides esmalt seadme ning edasi klõpsates hiire paremat klahvi ning valides *Full Download*. Seade tuleb viia esmalt programmeerimisrežiimi (punktid 3.4.2 – 3.4.4). Nii tuleb see teha kõikide seadmetega. Oluline on teada seadistuste üleslaadimisel, et programmeerimisrežiimis saab olla ainult üks seade korraga. Vastasel juhul üleslaadimine ebaõnnestub. Seadistusi on võimalik seadmetesse laadida ka läbi *Group Addresses* paneeli sarnaselt eelkirjeldatud hiireklõpsudega, nüüd siis grupiaadressidel klõpsates. Pärast üleslaadimisi on süsteem valmis valgustuse juhtimiseks. ETS5 arvutiprogrammiga loodud valgustuse juhtimise fail on lisatud andmekandjal lõputööle.

Oluline on teada ETS5 programmi võimalusi KNX võrgu diagnostikaks ja topoloogia vaatlemiseks. Aken „*Topology*“ võimaldab hallata ülevahtlikult suuri projekte, nende alasid, liine ja seadmeid.

Seadistustes on vajalik esmalt määrata peamagistraalliini (*backbone*) nimetus ja meediumi tüüp (IP või TP) ja võrgu latentsusaeg. See oleneb, millist tehnoloogiat kasutatakse andmevahetuses. LAN tehnoloogiat kasutades on latentsusaeg näiteks < 400ms, satelliitsidet kasutades < 8,0 s. Kasutades meediumi tüübina IP – d, näeb sealt ja saab seadistada IP aadressi KNX võrgule. Seadmed paigutuvad topoloogiasse vaikimisi ning sellistele liinidele ja aladele, mille projekti loomise algul määrame (kirjeldatud punktis 3.6). See aken annab aga võimalusi seadmete asukohta muuta alade ja liinide vahel, lohistades neid lihtsalt ühest kohast teise. Selle käigus muutub automaatselt seadme aadress. Selline muutmine võib tulla vajalikuks projekti ümberseadistamise või ehitamise käigus. Toiteseadmete valikul on vajalik jälgida liinil olevate seadmete voolutarvet. Klõpsates ja aktiveerides programmis näiteks „LIIN NR1 (TP esimene korrus)“ , saame paremas servas olevas aknas „Information“ näha automaatselt arvatud sellel liinil olevate seadmete arvu (5 seadet) ning liini voolu (48 mA). Kui „liinide“ voolutarbed muutuvad suuremaks „ala“ toiteallika väljundi voolutugevusest, tuleb lisada täiendavaid toiteseadmeid.



Joonis 3.14 KNX topoloogia ülesehitus ETS5 programmis

Joonis 3.14 kirjeldab, kuidas näitena toiteseadme on paigutatud alale „ALA NR1 (elamu)“ ning „ALA NR2 (elamu2)“ võimaldab liinides kasutada erinevaid meediumi tüüpe RF ja TP. Selline erinevate meediumitüüpide kasutamine on väga paindlik lahendus automatikasüsteemide ehitamisel, kuna annab näiteks võimaluse valida ja paigaldada RF meediumiga seadmed nendesse piirkondadesse, kus on halb kasutada kaabliga seadmeid.

Aken „Diagnostics“ võimaldab jälgida ja analüüsida KNX telegrammide liikumist. See on vajalik häirete tuvastamiseks, süsteemi paremaks häälestamiseks. Võimalik on lasta luua automaatne logifail, mida hiljem analüüsida. Andmete diagnostikat on saab jälgida kahel viisil:

- Grupiaadressi põhisel
- KNX siini põhisel

Mõlemad diagnostikad on sarnased, grupiaadresside põhisel analüüsil on lisaks veel kaks funktsiooni. Seal on võimalik uuesti esitada andmetelegramme ning grupeerida andmeid. Siini ja grupiaadresside põhine diagnostika on kõikide siinil liikuvate andmetelegrammide esitamine, sealhulgas erinevates värvides vigaste telegrammide kuvamine. Defineerides näiteks grupiaadressi ning käivitades „Start“ nupust diagnostika, näeme toimunud lülituste andmetelegramme erineva infoga (joonis 3.15).

#	Time	Service	Flags	Prio	Source Addr.	Source Name	Destination	Destination Name	Rout.	Type	DPT	Info
19	16.04.2019 15:42:17,286	from bus		Low	11.3	6127/01-500 ctrl. el., solo® stand...1/1/0		Valguse lülitamine	6	Group/ValueW...	1.001 switch	\$00 Off
18	16.04.2019 15:42:13,636	from bus		Low	11.3	6127/01-500 ctrl. el., solo® stand...1/1/5		grupp 1 lülitamine	6	Group/ValueW...	1.001 switch	\$01 On
17	16.04.2019 15:41:27,023	from bus		Low	11.3	6127/01-500 ctrl. el., solo® stand...1/1/5		grupp 1 lülitamine	6	Group/ValueW...	1.001 switch	\$00 Off
16	16.04.2019 15:41:25,459	from bus		Low	11.3	6127/01-500 ctrl. el., solo® stand...1/1/5		grupp 1 lülitamine	6	Group/ValueW...	1.001 switch	\$01 On
15	16.04.2019 15:41:21,025	from bus		Low	11.3	6127/01-500 ctrl. el., solo® stand...1/1/0		Valguse lülitamine	6	Group/ValueW...	1.001 switch	\$01 On
14	16.04.2019 15:41:17,669	from bus		Low	11.3	6127/01-500 ctrl. el., solo® stand...1/1/0		Valguse lülitamine	6	Group/ValueW...	1.001 switch	\$00 Off
13	16.04.2019 15:41:16,397	from bus		Low	11.3	6127/01-500 ctrl. el., solo® stand...1/1/0		Valguse lülitamine	6	Group/ValueW...	1.001 switch	\$01 On
12	16.04.2019 15:41:15,583	from bus		Low	11.3	6127/01-500 ctrl. el., solo® stand...1/1/1		Valguse dimmerdamine	6	Group/ValueW...	3.007 dim...	\$08 Increase, Break
11	16.04.2019 15:41:15,541	from bus		Low	11.3	6127/01-500 ctrl. el., solo® stand...1/1/1		Valguse dimmerdamine	6	Group/ValueW...	3.007 dim...	\$09 Increase, 100 %
10	16.04.2019 15:40:28,437	from bus		Low	11.3	6127/01-500 ctrl. el., solo® stand...1/1/5		grupp 1 lülitamine	6	Group/ValueW...	1.001 switch	\$01 On
9	16.04.2019 15:40:28,013	from bus		Low	11.3	6127/01-500 ctrl. el., solo® stand...1/1/5		grupp 1 lülitamine	6	Group/ValueW...	1.001 switch	\$01 On
8	16.04.2019 15:40:27,035	from bus		Low	11.3	6127/01-500 ctrl. el., solo® stand...1/1/5		grupp 1 lülitamine	6	Group/ValueW...	1.001 switch	\$00 Off
7	16.04.2019 15:40:26,547	from bus		Low	11.3	6127/01-500 ctrl. el., solo® stand...1/1/5		grupp 1 lülitamine	6	Group/ValueW...	1.001 switch	\$00 Off
6	16.04.2019 15:40:22,701	from bus		Low	11.3	6127/01-500 ctrl. el., solo® stand...1/1/5		grupp 1 lülitamine	6	Group/ValueW...	1.001 switch	\$00 Off
5	16.04.2019 15:40:20,875	from bus		Low	11.3	6127/01-500 ctrl. el., solo® stand...1/1/5		grupp 1 lülitamine	6	Group/ValueW...	1.001 switch	\$01 On
4	16.04.2019 15:39:37,990	from bus		Low	11.3	6127/01-500 ctrl. el., solo® stand...1/1/5		grupp 1 lülitamine	6	Group/ValueW...	1.001 switch	\$01 On
3	16.04.2019 15:39:36,000	from bus		Low	11.3	6127/01-500 ctrl. el., solo® stand...1/1/5		grupp 1 lülitamine	6	Group/ValueW...	1.001 switch	\$00 Off
2	16.04.2019 15:39:29,936	from bus		Low	11.3	6127/01-500 ctrl. el., solo® stand...1/1/5		grupp 1 lülitamine	6	Group/ValueW...	1.001 switch	\$01 On
1	16.04.2019 15:38:47,302	Start										

Joonis 3.15 Andmetelegrammide kuvamine diagnostikaks programmis ETS5 grupiaadressi näitel

3.7 Valgustite adresseerimine ja grupeerimine

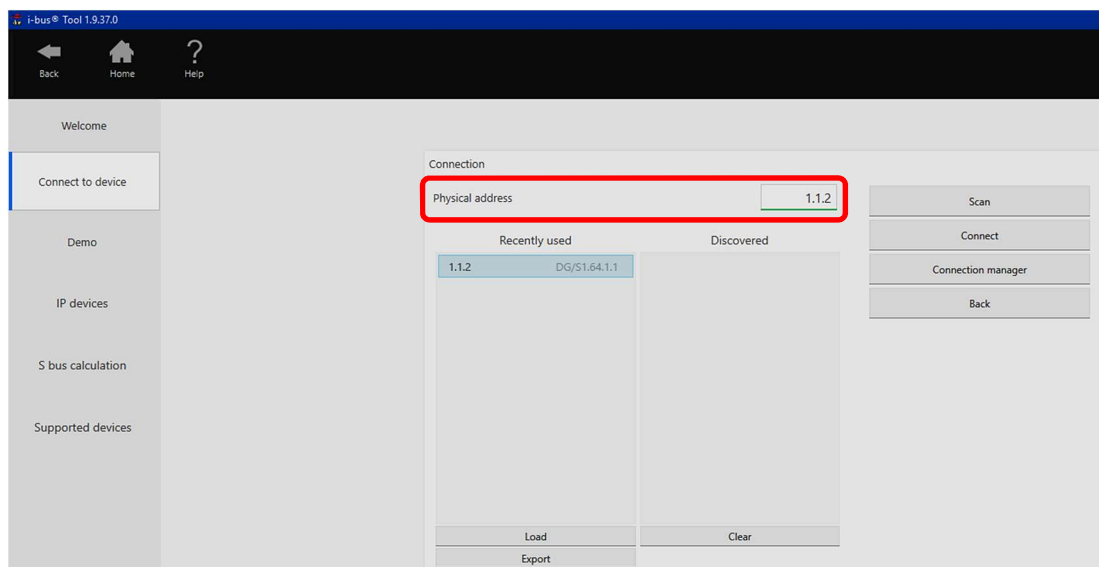
Valgustite adresseerimine ja grupeerimine on valgustuse juhtimise planeerimisel väga oluline, kuna tarkvaraliselt määratakse ära konkreetsete valgustite lülitamised. Antud magistritöö uuritavas näites on ruumile 430 projekteeritud neli valgustite gruppi, kasutades selleks kaheksat valgustit.

DALI adresseerimine ja grupeerimine KNX projektides on otseselt seotud süsteemi valitud KND/DALI liidesega, ehk et erinevatel tootjatel on see erinev. Võimalusi on enamasti kaks:

1. Adresseerimine ja grupeerimine on läbi viidav otse KNX süsteemi ETS5 tarkvaras
2. Vajalik lisatarkvara kasutamine

Esimene variant on mugavam, kuna lisatarkvara installeerimise ja kasutamise vajadus puudub. Sellise variandiga liidesed on tootevalikus näiteks Siemens AG - I [50] ja Zennio Avance –I [51]. Vajaliku lisatarkvaraga liideseid kasutab firma ABB. Tema tootevaliku liideste kasutamiseks on vajalik installeerida vabavarana saadaolev tarkvara *ABB i-bus Tool* [52].

Magistritöö uuritavas projektis on kasutusel ABB liides DG/S 1.64.1.1 ning adresseerimise alustamiseks tuleb esmalt käivitada ETS5 ning siis *ABB i-bus Tool* arvutiprogrammid. ETS5 abil on vajalik luua ühendus seadmetega ning kontrollida üle nende aadressid ning olemasolu. Peale seda jääb programm taustale avatud olekusse ning käivitatakse *ABB i-bus Tool* arvutiprogramm. Programmi avanemisel tuleb esmalt luua ühendus KNX/DALI andmesideliidesega. Vajutades nupule *Connect*, on oluline teada liidese KNX aadressi siinil, mis tuleb kirjutada nõutavale väljale (joonis 3.16). Teine võimalik tee liidese leidmiseks on kasutades *Scan* nuppu. Korduval sisenemisel on mugav, et aadress jääb sagedasti kasutatavate aadresside aknasse.



Joonis 3.16 Liidese KNX aadressivälja sisenemisel *ABB i-bus Tool* arvutiprogrammi

Pärast sisenemist avaneb aken „General“, kus on kuvatud liidese väljundist leitud DALI seadmete arv, lisaks nende võimalikud veateated, lambi või liiteseadme mittekorrasoleku näol. Et oleks võimalik üldse lampe seadistada ja juhtida, tuleb valida ülevalt menüüribalt esmalt „*Select Configuration Mode*“. Teine võimalus on „*Display Mode*“, mis võimaldab ainult vaatlemise.

Valgustite adresseerimine ja grupeerimine saab võimalikuks, kui avada vasakult menüüst „*DALI*“ aken.

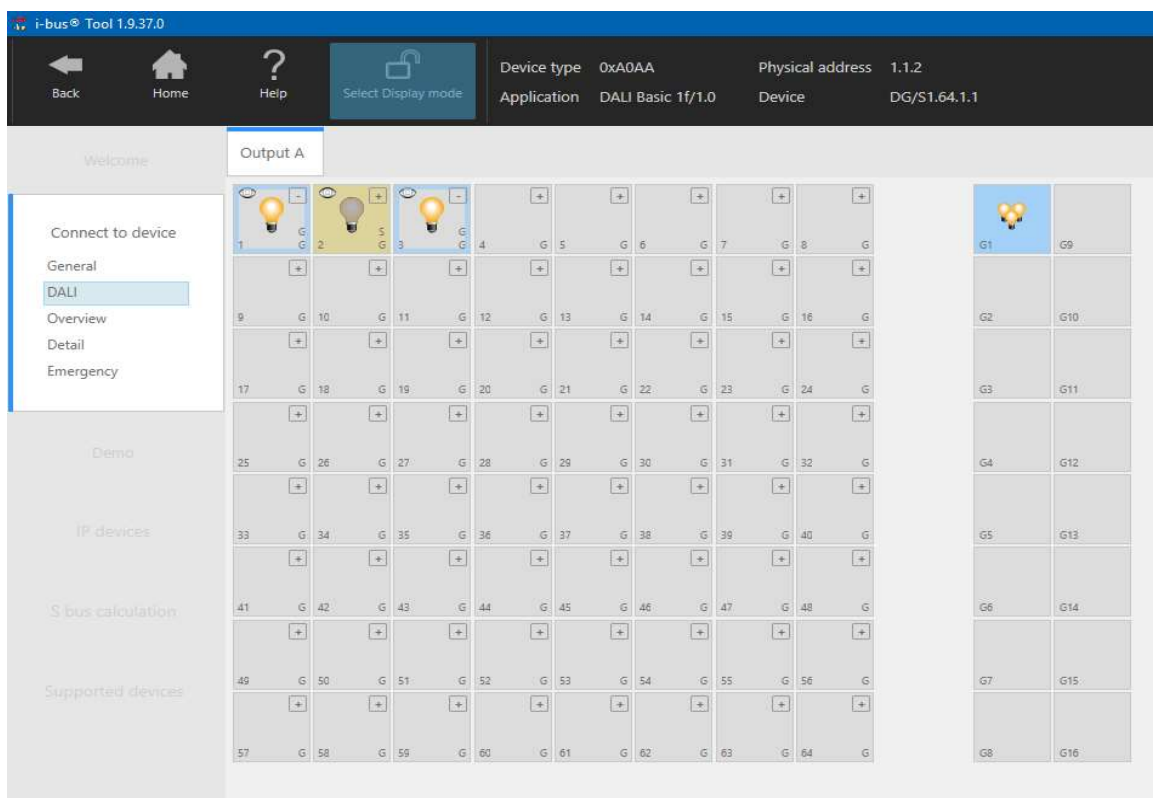
Oluline on lubada ETS5 programmi seadetes valgustite automaatne adresseerimine, siis on võimalik käivitada nupuga „*Trigger DALI addressing*“ adresseerimine. Peale adresseerimist jäävad valgustid tööle valgustugevusega, mis on seadistatud menüüs „*General*“. Avatud „*DALI*“ menüüs on kuvatud

64 välja DALI igale üksikule valgustile (liiteseadmele) ning 16 välja grupiaadressidele. Leitud valgustid tekivad kastidesse ning on adresseeritud kujul, näiteks väljal „nr 1“ seade „EVG01“. Valgusti ikoonile vajutades saab valgustit lülitada ning leida selliselt ta reaalne asukoht ruumis.

Valgustite grupeerimine toimub järgmiselt:

1. Aktiveerida grupiaadress (näiteks „G1“), vajutades ikoonile. Valgustite aadressiväljadele tekivad sel hetkel ülesse paremasse nurka "+“ märgid.
2. Vajutada sobiva valgusti „+“ märgile ning valgusti lisandub gruppi. Lisada selliselt sobiv arv valgusteid. Valgustite lisamine on võimalik ka hiirega haarates ja lohistades valgusti sobivale grupiaadressile.

Valgusti eemaldamine grupist toimub vastupidiselt. Esmalt aktiveeritakse grupp ning seal asuvate valgustite ülesse paremasse nurka tekib „-“ märk. Vajutades eemaldatava valgusti sellele märgile valgusti eemaldatakse grupist. Valgustite aadresse saab mugavalt muuta, lohistades neid lihtsalt ühelt aadressiväljalt teisele. Selles menüüs tuleb tähele panna veel nuppe „Use gateway values“ ja „Use DALI device values“. Kui KNX/DALI lüüsi seadetes tehtud seadistused on sobivad, siis tuleks vajutada nupule „Use gateway values“.



Joonis 3.17. DALI valgustite grupeerimise ja adresseerimise näide arvutiprogrammis ABB *i-bus Tool*.

Joonisel 3.17 kujutatud näites on kirjeldatud, kuidas näiteks valgustid „nr 1“ ja „nr3“ on lisatud gruppi „G1“ . Valgusti nr2 on üksik.

Menüüs „*Overview*“ saab lugeda infot valgustite ja gruppide kohta. Saab näha ja muuta protsentides valgustugevusi, vigaseid valgusteid. Oluline on märkida, et näiteks tekkival vajadusel valgusteid nimetada enda määratud nimedega, tuleb need ära määrata ETS5 arvutiprogrammi KNX/DALI seadme seadetes. Menüü „*Detail*“ võimaldab üksikute valgustite või gruppide seadeid detailsemalt jälgida ja seadistada. Ennekõike on need seadistused seotud valgustugevuse väärtustega.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli energiatõhusa valgustuse automaatjuhtimise lahenduse disainimine kasutades KNX automaatikavõrgu ja DALI liidese võimalusi. Hooneautomaatikavõrk KNX ja valgustuse juhtimisliides DALI on nüüdisaegsete hoonete valgustuse juhtimisel väga levinud. Nende võimalustega saab tutvuda Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi vastavas valgustuse juhtimise õppestendis. Töö käigus koostati Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi õpperuumi NRG-430 jaoks valgustuse automaatjuhtimise projektlahendus. Süsteemi projekteerimisel ja juhtimisel arvestatakse õppeklassi päevavalgusetingimusi ning ehituslikku eripära. Töö jaoks teostati vajalikud mõõdistused ja simulatsioonid. Töös uuriti ja koostati ülevaade olulistest seadustest ja standarditest. Töös uuriti seadmete ning valgustuse automaatjuhtimise põhimõtteid ning analüüsiti nende sobivust töö eesmärgi saavutamiseks.

Töö **esimene peatükk** kirjeldab valgustuse juhtimise vajadust seoses energiatõhususe nõuetega. Peatükis analüüsiti elektrienergia tarbimist maailma regioonides ning Eesti Vabariigis, valgustuse energiasäästu olulisust globaalses mõttes. Selle peatüki kaudu saadi teada energiatõhususe olemusest ning teda iseloomustavast energiatõhususarvust. Samuti saadi teada valgustuse juhtimise vajadusest ja valdkonda reguleerivatest seadustest ning normatiividest.

Teine peatükk kirjeldab hooneautomaatikat ja tehnoloogilisi võimalusi valgustuse juhtimisel ning uurib teemasse kuuluvaid enimkasutatavaid andmesidevõrke ja -protokolle. Selle peatüki kaudu saadi teada lampide valgusvoogude muutmise tehnoloogilised meetodid ja valgustite juhtimiseks kasutatavad andmesideprotokollid ja sidevõrgud. Lisaks anti ülevaade valgustuse automaatjuhtimises kasutatavatest anduritest.

Kolmas peatükk käsitleb detailselt energiatõhusa valgustuse projekteerimist KNX/DALI süsteemis. Kogu projekteerimist uuriti ja kirjeldati peatükis protsessina, millesse kuuluvad ruumi valik, õigusaktid, valgustehnilised arvutused, projekteerimise eesmärgid, seadmete valik ning paigaldamine. Erinevaid lahenduskäike ja seadmete valikupõhimõtteid on peatükis läbivalt kirjeldatud ja põhjendatud. Seoses Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudis oleva õppestendi kasutamisega on seadmete valikul kasutatud valdavalt firma ABB seadmeid. Käesolev magistritöö võiks olla teoreetiliseks aluseks ka nimetatud hooneautomaatika õppestendi rakendamisel valgustuse juhtimisega seotud õppetöös. Selles peatükis analüüsitud mõõtmis- ja arvutustulemused ning seadmete tehnilised iseloomustused olid paljuski aluseks magistritöös seatud eesmärgi saavutamisel.

Autori arvates on seatud eesmärgid ja ülesanded täidetud ning tulemus vastab ootustele. Autor peab valitud lahendamise meetodikat õigustatuks, kuna töö käik andis uusi võimalusi aruteluks,

diskussioonideks ning lisaküsimusteks. Oluline oli teadvustada esmalt energiatõhususe nõuded ja valgustuse juhtimise vajadust, edasi analüüsida tehnoloogilisi võimalusi ning lõpuks projekteerida ja luua eeldused projekti elluviimiseks. Teemaga seotud erialase kirjandusega läbitöötamine ja tehnilise info analüüs andis ülevaate hetkeolukorrast ja uutest arengusuundadest hooneautomaatika, valgustite, lampide ja infotehnoloogia valdkonnas.

Magistritöö koostamise järel on autor seisukohal, et valgustuse projekteerimine ja ehitamine hoonetes läbi KNX hooneautomaatika standardi koos DALI valgustite juhtimissüsteemiga annab tulemuseks energiatõhusa ja inimesele mugava valgustuslahenduse. Energiatõhusus on eriti oluline just suurte hoonete ja rajatiste valgustuse puhul ning KNX ja DALI süsteemide koostöö seda suurepäraselt võimaldab (alapunkt 2.2.3).

Käesolevas magistritöös kirjeldatud õpperuumi jaoks disainitud lahendust saaks valgustuse juhtimise osas edasi arendada lisades nii valgustiheduse välisanduri kui ka elektriliselt juhitavad aknakatted. Aknakatete juhtimine tuleks seejuures integreerida projekteeritud valgustite juhtimise KNX süsteemi. Töös toodud näites on analüüsitud mõned valgustitüübid, kuid vajadusel saab tüüpide valikut laiendada tehes samad arvutused teiste valgusti mudelitega ning täpsustada detailideni parimate valgustite ja nende paigutuse valik valitud ruumile. Valgusarvutuste DIALux failid on lisatud andmekandjal lõputööle. Pärast valgustitüüpide täpsustamist ja hinnapäringuid saaks teha täpsema majandusliku analüüsi tasuvusperioodi väljaselitamiseks. Lõpliku projekti valmimise järel vajaks läbi töötamist näidislahenduse KNX ja DALI süsteemide kaughaldus ning kasutajaliidesed. Töö paberversiooni juurde kuulub lisana andmekandja CD (*Compact Disc*) DIALux valgustuse arvutuse mudelitega ja ETS5 valgustuse juhtimise failiga.

SUMMARY

The goal of this thesis was to design an energy efficient solution for automatic lighting control integrating features of the building automation network KNX and the lighting control interface DALI. KNX and DALI are widely used in the lighting control designs in modern buildings. Both of these networks are available at the lighting control training stand at the Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics at Tallinn University of Technology. The work on this project involved creating a design for the automatic light control of classroom no NRG-430. The system design and its control functions take into account the daylight condition and the architectural characteristics of the space. All the corresponding measurements and simulations have been detailed in this thesis with an overview of the important laws and standards related to the field. The automatic control principles and the suitability of these principles for the goals of lighting control were analysed.

The first chapter explains the necessity of lighting control in relation to energy efficiency regulations. It contains an analysis on the electricity consumption in Estonia and in other regions of the world and on the global importance of energy savings in lighting, in addition to an overview of the nature of energy efficiency and its main quantifier - the energy performance indicator (EnPI). The chapter also covers why lighting control is necessary and what regulations and norms apply to it.

The aim of the second chapter was to describe the systems of building automation and the technological possibilities used in lighting control, including commonly used data communication networks and protocols. It details the technological methods, data exchange protocols and communication networks that are used when modifying the luminous flux of lamps and gives an overview of the sensors used in automatic control.

The third chapter provides a detailed explanation on how energy efficient lighting can be designed in the KNX/DALI systems. The design was studied and described as a process which consisted of choosing a space, examining relevant regulations, doing technical calculations, setting out the goals of the design and selecting and setting up the necessary devices. The different possible solutions and the device selection criteria have been thoroughly explained in the chapter. Most of the devices used were designed by ABB, as those were available at the training stand at the Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics. This thesis could also provide the theoretical basis for teaching related to lighting control using the building automation training stand. The

measurements, calculations and device specifications analysed in this chapter were essential for achieving the goals of this thesis.

As a result the author finds that applying the KNX automation standard and the DALI lighting interface in lighting systems designs for buildings enables a solution that is both energy efficient and convenient, especially for large buildings and facilities. The design described in this thesis could be further improved by adding an external daylight density sensor or electric window shutters. The latter should then be integrated into the KNX system. A few types of lights have been analysed in this paper, but the selection can be expanded by repeating the calculations with other models and by determining the best lights and their position in the selected space. A CD containing DiaLux models and ETS5 project has been added to this paper.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Enerdata energeetika statistika 2018. <https://yearbook.enerdata.net/electricity/electricity-domestic-consumption-data.html> (03.02.2019)
2. Eesti Vabariigi energiamajanduse arengukava. https://www.mkm.ee/sites/default/files/enmak_2030.pdf (22.02.2019)
3. Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika. <https://www.riigiteataja.ee/akt/109062015021> (26.02.2019)
4. Energiasäästust elektriajamisüsteemides. J.Joller, R.Jansikene. <http://www.ene.ttu.ee/Elektriamid/personal/jjoller/artiklid/energiakokkuhoid/index.html> (15.04.2019)
5. Rahvusvaheline Energiagentuuri kliimasoojenemise raport 2050. <https://www.iea.org/newsroom/news/2017/march/deep-energy-transformation-needed-by-2050-to-limit-rise-in-global-temperature.html> (26.02.2019)
6. A. Kaminska, A. Lighting Control Including Daylight and Energy Efficiency Improvements Analysis. <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/8/2166/htm> (26.02.2019)
7. IEA Energy Efficiency 2018 analysis. <https://webstore.iea.org/market-report-series-energy-efficiency-2018> (26.02.2019)
8. Eurostat. Energy consumption in households. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_consumption_in_households (26.02.2019)
9. LED ja valgusallika efektiivsus. <https://glamox.com/ee/ledi-phimte> (26.02..2019)
10. Valgustuse juhtimine. <https://glamox.com/ee/lighting-control> (27.02.2019)
11. ABB-free@home. <https://new.abb.com/low-voltage/products/building-automation/product-range/abb-freeathome> (27.02.2019)
12. Siemens Synco Living. <https://www.buildingtechnologies.siemens.com/bt/global/en/buildingautomation-hvac/hvac-products/home-automation-system-synco-living/about-synco-living/pages/about-synco-living.aspx> (03.03.2019)
13. ABB Busch-SmartTouch® 7" kontrollerr. <https://new.abb.com/products/2CKA006136A0205/6136-07-811-500-busch-smarttouch-7> (03.03.2019)
14. Päevalgusanduri iseloomustus. <https://glamox.com/ee/dali-addressable> (05.03.2019)
15. Dimmerdamise meetodid. <http://www.silman.ee/wp-content/plugins/download-attachments/includes/download.php?id=422> (20.03.2019)
16. KNX Sector Coupling. https://www.knx.org/wAssets/docs/downloads/Marketing/KNX-Journal/International-Journals/English/KNX-Journal-2019_en.pdf (28.03.2019)
17. KNX Basics. http://knx.fi/doc/esitteet/KNX-Basics_en.pdf (25.03.2019)
18. KNX. Prof. Renato Nunes. https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/282093452017636/AI_10_KNX.pdf (25.03.2019)
19. DALI. <https://glamox.com/ee/dali> (30.03.2019)
20. Tridonic luxCONTROL DALI manual. https://www.tridonic.se/se/download/technical/DALI-manual_en.pdf (31.03.2019)
21. Introducing the DALI. https://www.digitalilluminationinterface.org/data/downloadables/1/0/2/1903_diia-introduction-v22_mar2019.pdf (01.04.2019)

22. Webinar “DALI – Digital Addressable Lighting Interface“ / Jürgen Schilder and Thorsten Reibel, ABB STOTZ KONTAKT, 08.07.2015,
<https://library.e.abb.com/public/b7e1c2a59d1c4c7691a0a8f64eaabdea/Webinar%20Interfac e.pdf> (22.03.2019)
23. DALI controller. <https://www.hackster.io/NabiyevTR/simple-dali-controller-506e44> (03.04.2019)
24. DALI transmission. <https://www.mouser.ee/applications/lighting-digitally-addressable/> (06.04.2019)
25. DALI master controller unit with a wireless connection and application software / Mika Maaspuro. Aalto University, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, VOL. 10, NO 20, NOVEMBER, 2015,
<https://pdfs.semanticscholar.org/4e43/c32c2073093cf76f54d0387c68cc243e87e2.pdf> (06.04.2019)
26. ZigBee Alliance. <https://www.zigbee.org/zigbeealliance/our-members/> (20.02.2019)
27. Introduction to Zigbee Technology /Ankur Tomar, Element14 Design Center, 2011, 24lk.,
<https://www.cs.odu.edu/~cs752/papers/zigbee-001.pdf> (25.03.2019)
28. Z-Wave Alliance overview. <https://z-wavealliance.org/z-wave-alliance-overview/> (20.02.2019)
29. Z-Wave Basics. <https://www.z-wave.com/faq> (20.02.2019)
30. Ühiskondliku hoone üldvalgustus ja selle energiaefektiivsuse parendamine / S. Levašov, magistritöö, Tallinna Tehnikaülikool 2014, <https://digi.lib.ttu.ee/i/?1133> (10.02.2019)
31. Detailed information for: SV/S 30.160.1.1.
<https://new.abb.com/products/2CDG110144R0011/sv-s30-160-1-1-power-supply-160-ma-mdrc> (09.04.2019)
32. Detailed information for: USB/S1.1. <https://new.abb.com/products/2CDG110008R0011/usb-s1-1-usb-interface-mdrc> (09.04.2019)
33. Webinar DG/S x.64.1.1 –Part 2. ABB. 2017. <https://library.e.abb.com/public/be1202.pdf> (09.04.2019)
34. KNX DG/S x.64.1.1 DALI-Gateway.
[https://library.e.abb.com/public/bcbf525bf896452492af98bc723c6e86/DGS_x6411 PH EN](https://library.e.abb.com/public/bcbf525bf896452492af98bc723c6e86/DGS_x6411_PH_EN) (09.04.2019)
35. Control element, 4gang. <https://www.busch-jaeger-catalogue.com/2CKA006117A0200,artikel.html> (09.04.2019)
36. UP 258E22 constant light level control. <https://hit.sbt.siemens.com/RWD/> (10.04.2019)
37. Brightness Controller 920702 Application program.
https://www.hqs.sbt.siemens.com/cps_DS01.pdf (01.04.2019)
38. Kaalutud energiaerikasutuse ja energiatõhususarvu klassi määramine.
https://www.riigiteataja.ee/aktiivisa/1180/1201/9013/MKM_11012019_m3_lisa3.pdf# (25.03.2019)
39. Light and lighting - Lighting system design process. <https://www.evs.ee/tooted/cen-ts-17165-2018> (26.03.2019)
40. Hoonete energiatõhusus. Energianõuded valgustusele. <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-15193-1-2017> (26.03.2019)
41. Valgus ja valgustus. Töökohavalgustus. <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-12464-1-2011> (26.03.2019)
42. Hoonete energiatõhusus. <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-15232-1-2017> (26.03.2019)
43. Loomulik valgustus elu- ja bürooruumides. <https://www.evs.ee/tooted/evs-894-2008+a2-2015> (26.03.2019)

44. Olulise energiatarbega tehnosüsteemile esitatavad nõuded. MTM määrus nr 52 02.06.2015
<https://www.riigiteataja.ee/akt/105062015002> (26.03.2019)
45. DIALux 8.1 evo. <https://www.dial.de/en/dialux-desktop/download/> (15.04.2019)
46. CADS Electric 18. <http://www.cads.fi/et/cads-electric-18> (15.04.2019)
47. AutoCAD 2016. <https://www.autodesk.com/education/free-software/autocad> 15.04.2019)
48. ETS5 arvutiprogramm. <https://www.knx.org/knx-en/for-professionals/software/ets-5-professional/index.php> (15.04.2019)
49. Improvements in or Applicable to Switches or Circuit Closers for Electrical Conducting Apparatus. J.H. Holmes. GB Patent.
<https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=GB&NR=188403256A&KC=A&FT=D&ND=5&date=18840929&DB=&locale=#> (15.04.2019)
50. Siemens KNX/DALI andmelüüs 5WG1141-1AB03. <http://bemco-ext.co.uk/knx/SIEMENS/5WG1141-1AB21.pdf> (16.04.2019)
51. Zennio ZDI-DLB4 KNX/DALI andmelüüs. <https://www.zennio.com/products/lighting/dalibox-broadcast-4ch> (16.04.2019)
52. ABB i-bus Tool tarkvara. <https://new.abb.com/low-voltage/products/building-automation/news-and-highlights/i-bus-tool> (16.04.2019)
53. Steinel True Presence Multisensor KNX. <https://www.steinell.de/en/trade-professional/sensors/presence-detectors/true-presence-multisensor-knx-056353.html> (18.04.2019)
54. LED Light Dimming. N.Davis. <https://www.powerelectronicsnews.com/problems-solutions/what-you-need-to-know-before-your-next-led-design> (20.04.2019)
55. Zigbee Certified Products. <https://www.zigbee.org/zigbee-products-2/#zigbeecertifiedproducts/> (20.04.2019)
56. Honeywell Tucsedo Touch keskkontroller.
<https://www.security.honeywellhome.com/hsc/products/intruder-detection-systems/keypad/graphic-touchscreen/786167.html> (21.04.2019)
57. „Spectral and power characteristics under hybrid PWM/AM dimming strategy“ . Aalborg Universitet. Beczkowski, Szymon; Munk-Nielsen, Stig Leid.
https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/195762100/LED_spectral_and_power_characteristics_under_hybrid_PWM_AM_dimming_strategy.pdf (03.05.2019)
58. KNX-Based Home Automation Systems for Android Mobile Devices.
<https://pdfs.semanticscholar.org/bbb3/3290f515212dcdf18f7f5ef87f43b5c8920d.pdf> (05.05.2019)
59. knXpresso.https://play.google.com/store/apps/details?id=com.knxpresso.knxpresso&hl=en_US (05.05.2019)
60. BlueHome. <https://play.google.com/store/apps/details?id=biz.seys.bluehome> (05.05.2019)
61. Elektriprojekterimise käsiraamat. Autio, I.; Harsia, P.; Leskinen, M.; Piikkilä, V.; Savuoja, P.; Välimäki, E.; Harsia, P.; Metsikkö, A. Peatükk 3 lk 23-28 ja joonis 10.1 lk 132. (05.05.2019)
62. Hoone energiatarbuse miinimumnõuded¹. Määrus, RT I, 13.12.2018, 14
<https://www.riigiteataja.ee/akt/113122018014> (05.0519)

LISAD

Lisa 1 DIALux valgusarvutuste mudelid ja ETS5 valgustuse juhtimise failid

Töö juurde on lisatud andmekandja mudelite failidega:

1. „430 1.arvutus.evo“ , 26,1 MB
2. „430 2.arvutus.evo“ , 24,3 MB
3. „430 3.arvutus.evo“ , 29,4 MB
4. „430 4.arvutus.evo“ , 25,2 MB
5. „NRG 430 KNX valgustus.knxproj“ , 766 KB