



Design av smarthus

Henriette Ellingsrud

Master i energi og miljø

Innlevert: juni 2015

Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, ELKRAFT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for elkraftteknikk



MASTEROPPGAVE

Kandidatens navn : Henriette Ellingsrud
Fag : ELKRAFTTEKNIKK
Oppgavens tittel (norsk) : **Design av smarthus**
Oppgavens tittel (engelsk) : Design of Smart House
Oppgavens tekst : Det er forventet at smartgridteknologi vil gi store endringer i dagens infrastruktur og metodikk. Med dette som grunnlag ønsker NTNU og SINTEF Energi å utvikle et nasjonalt smartgrid-laboratorium for å øke den norske ekspertisen innen smartgrid-feltet. Det er forventet at dette vil bidra til økt kunnskap og større utvikling av teknologien i Norge.

Som en del av dette laboratoriet skal det også bygges ut en egen smarthusdel. Det eksisterer svært mange systemer og komponenter for styring av smarthus på markedet, og automatikk får en stadig større markedsandel, også i privat-markedet. Smarthuset som skal utvikles skal innredes som en normal leilighet, men vil benyttes til forsknings- og utviklingsformål.

Kandidaten skal:

- Vurdere aktuelle funksjoner som kan implementeres i et smarthus
- Vurdere aktuelle komponenter til bruk i smarthus-laboratoriet
- Implementere løsninger for smarthuslaboratoriet

Oppgavens gitt : 15.01.15
Besvarelsen leveres innen : 11.06.15
Besvarelsen levert : 10.06.15
Utført ved (institusjon, bedrift) :
Kandidatens veileder :

Trondheim, 15.01.15

faglærer

Forord

Formålet med denne oppgaven har vært å kartlegge mulige komponenter og sammenkoblinger av disse for å danne stammen i smarthuslaboratoriet ved NTNU Gløshaugen. Oppgaven fokuserer på komponenter og styring av disse, andre aspekter ved smarthus er dermed ikke omtalt, slik som for eksempel egenproduksjon av elektrisk energi. Oppgaven er en videreføring av min prosjektoppgave fra høstsemesteret 2014 hvor aktuelle styringssystemer ble drøftet. Dermed faller det naturlig at en del av teorien i denne masteroppgaven vil være hentet fra prosjektoppgaven. Med unntak av arbeidet med prosjektoppgaven hadde jeg ingen kunnskap om hverken smarthus, styringssystemer eller smarte komponenter forut dette arbeidet.

Jeg vil rette en takk til min veileder, Eilif Hugo Hansen, for god oppfølging og faglige innspill. Til Kjell Sand for hans engasjement rundt min oppgave, samt faglige innspill og tilrettelegging rundt AMS og kraftnettet. Til Nariman Fakhraee hos Schneider Norge, for god hjelp vedrørende alle Schneiders komponenter og assistanse i LonMaker. Til hele min familie for støtte, og til min far spesielt for korrekturlesing og gode innspill.

I tillegg vil jeg takke: Håvard Valøen, Therese Troset Engan og Jan Andor Foosnæs hos NTE, Dirk A. Dronia hos LOYTEC, Radoslav Rachev hos Biodit, Ståle Killie, Victor Berrios hos ZigBee Alliance og Mark Buckland hos Echelon.

Sammendrag

Formålet med dette arbeidet har vært å kartlegge aktuelle smarte komponenter samt implementere løsninger til bruk i smarthuslaboratoriet som skal utvikles på NTNU. Laboratoriet skal fungere som en nasjonal testingsplattform for uttesting av smarte komponenter samt kartlegging av effektiv energibruk i smarthus.

I sin videste forstand er et smarthus et hus eller en bolig med smarte elektriske installasjoner. En smart, elektrisk installasjon er definert som «Elektriske installasjoner utstyrt med et kommuniserende og strukturert installasjonsnettverk hvilket gir beboerne eller operatører muligheten til å fjernstyre og/eller programmere de elektriske apparatene» [1]. Et smarthus kan brukes innen mange sektorer, og det satses i dag mye midler på å utvikle smartboliger, eller livsløpsboliger, til folk med spesielle pleiebehov slik som for eksempel kognitiv svikt. Formålet med smarthuslaboratoriet er dog fokus på effekt- og energiforbruk og –besparelse, samt uttesting av nye komponenter og løsninger fra industrien.

Denne oppgaven tar for seg ulike komponenter som kan være med på å danne en grunnmur i det fremtidige smarthuslaboratoriet. Det fysiske systemet som legges frem baseres på styringssystemet LonWorks, grunnet NTNUs kjennskap til systemet og dets gode markedsposisjon. I tillegg legges det frem forslag til ytterligere komponenter fra trådløse styringssystemer, ZigBee og EnOcean, som kan benyttes dersom laboratoriet skal ha et trådløst alternativ.

Opgavens hovedfunn kan oppsummeres som følger:

- Smarthuslaboratoriet må baseres på åpne, standardiserte løsninger og interoperabilitet mellom disse.
- Per dags dato fremstår EnOcean som et bedre supplement til LonWorks enn ZigBee, grunnet manglende interoperabilitet mellom ZigBee og LonWorks.
- Komponentene i dagens system vil kunne benyttes videre, dog krever det anskaffelse av flere komponenter for å danne et komplett system.
- Planlegging og utvikling av et smarthus er mer tidskrevende og utfordrende enn et konvensjonelt hus, dette medfører at det er mye arbeid igjen før smarthuset vil bli komplett. Mye av dette arbeidet har vært umulig å gjennomføre i forbindelse med denne oppgaven grunnet manglende tilgang til ulike systemer i det som skal bli smarthuset.

Abstract

The goal of this work has been to identify smart components of interest and to implement solutions for usage in the smart house laboratory that will be developed at NTNU. The laboratory will act as a national research platform for testing of smart components and research within efficient energy usage in a smart house.

In its widest sense a smart house is a house or residence with smart, electrical installations. A smart, electrical installation is defined as: “electrical installation equipped with a communicating and structured “installation area network” permitting customer/operation staff to remotely control and/or program electrical devices” [1]. A smart house can be used in several sectors, and today a lot of capital is invested into smart residential buildings, “lifetime homes”, for people with special nursing needs such as for example cognitive impairment. However, the focus of the smart house laboratory will be effect- and energy usage and saving, as well as testing new components and solutions from the industry.

This paper addresses the various components that may contribute to form a foundation for the future smart house laboratory. The presented physical system is based on the control system LonWorks, due to NTNUs knowledge of the system and its market position. Additional components from the wireless control systems ZigBee and EnOcean will also be presented, these components can be used if the laboratory is to be equipped with a wireless solution.

The reports main findings can be summarized as following:

- The smart house laboratory must be based on open, standardized solutions and interoperability between these.
- At present time EnOcean appear to be a better supplement for LonWorks than ZigBee, due to missing interoperability between ZigBee and LonWorks.
- The components in the current system can be used in further development; however, more components must be acquired to form a complete system.
- Planning and development of a smart house is more time consuming and challenging than a conventional house. Because of this much work remains before the laboratory is completed. A lot of this work could not be completed at this stage due to missing access to different systems in the different areas that will form the smart house.

Innhold

1	Innledning.....	1
2	Bakgrunn	3
3	Bruksområder for den nasjonale smartgridlaboratoriet	7
4	Oppbygning av laboratoriet	9
5	Smarthus	13
6	Planlegging av smarthus.....	15
6.1	Komponenter.....	18
6.1.1	Multimedia	18
6.1.2	Varme	19
6.1.3	Lysavskjerming	19
6.1.4	Klimaanlegg	20
6.1.5	Belysning	20
6.1.6	Sensorer.....	21
6.1.7	Baderom/Vaskerom	22
6.1.8	Alarmer.....	22
6.1.9	AMS	23
6.1.10	Kommunikasjon.....	23
6.1.11	Adgang.....	23
6.1.12	Kjøkkenutstyr	24
6.1.13	Utendørs.....	24
6.1.14	Kontrollpanel.....	25
6.2	Mulige styringskombinasjoner	26
7	Avanserte måle- og styringssystemer (AMS)	27
7.1	AMS-arkitektur	30
7.2	Leverandør av avanserte måle- og styringssystemer	31
8	Utforming	33
8.1	Styringssystem	33
8.2	Komponenter.....	36
8.2.1	SE7200 serien	36
8.2.2	LON Multi-Sensor ILA-22	37
8.2.3	LON Indoor Temperature Sensor AP RTS-10.....	38
8.2.4	LON System-M Room Control Unit	38

8.2.5	LON System-M Temperature Controller	39
8.3	Muligheter for komponentene.....	39
9	Oppkobling	41
9.1	Lysdimming med knapper	42
9.2	Lysstyring med multisensoren.....	43
9.3	Skifte av global status med knapper	44
9.4	Styring av global status med multisensoren	46
10	Videreutvikling av smarthuslaboratoriet	49
10.1	Styringssystem	49
10.1.1	ZigBee	50
10.1.2	EnOcean.....	51
10.2	Komponenter	52
10.2.1	Styringspanel	52
10.2.2	Automasjonsserver.....	53
10.2.3	Værstasjon.....	56
10.2.4	CO ₂ sensor	56
10.2.5	Kontaktsensorer	57
10.2.6	Adgang.....	58
10.2.7	Belysning	58
11	Interoperabilitet mellom styringssystemer	59
11.1	Object Linking and Embedding for Process Control (OPC)	59
11.2	Gateway	60
11.3	openHAB	60
12	Diskusjon	61
13	Konklusjon	65
14	Videre arbeid	67
15	Referanser	69

Figurliste

Figur 1: Informasjonsoverføring og protokoller i det smarte nettet [5]	4
Figur 2: Det nye, smarte strømnettet [6]	5
Figur 3: Dagens smartgridlaboratorium	9
Figur 4: Fysisk utforming av det fremtidige smartgridlaboratoriet	10
Figur 5: Andel barn, unge og eldre i befolkningen [7]	13
Figur 6: Hierarkiet i et smarthus.....	17
Figur 7: Informasjonsstrøm for fullstendig utbytte av AMS	28
Figur 8: NTEs AMS arkitektur for Demo Steinkjer	30
Figur 9: AiDONs innsamlingssystem for AMS [16]	32
Figur 10: Mulige komponenter i et smarthus [20]	36
Figur 11: SE7200 serien [21].....	36
Figur 12: De ulike SE7200 modellene [22]	37
Figur 13: LON Multi-Sensor ILA-22 [23]	37
Figur 14: LON Indoor Temperature Sensor AP RTS-10 [24]	38
Figur 15: LON System-M Room Control Unit [25]	38
Figur 16: LON System-M Temperature Controller [26].....	39
Figur 17: Schneider Universal Plug-In	41
Figur 18: Programmering av LON System-M Room Control Unit sine knapper	42
Figur 19: Styring av lyset med trykknappene på romkontrolleren	43
Figur 20: Styring av belysning ved hjelp av tilstedeværelse- og lyssensor	43
Figur 21: LonMakers browser-funksjon	44
Figur 22: Styring av global status ved hjelp av romkontrolleren	44
Figur 23: Browsefunksjonen til tilstedeværelsessensoren	45
Figur 24: Styring av global status ved hjelp av multisensoren	46
Figur 25: Hele styringssystemet i LonMaker	47
Figur 26: Funksjonsblokken "Occupancy Controller" [23]	48
Figur 27: L-VIS touch panel [31]	53
Figur 28: L-INX automasjonsserver (LINX-100/101) [32]	54
Figur 29: LOYTECs LonWorkskomponenter [33]	55
Figur 30: IAQPoint2 [36]	56
Figur 31: NYCE dør-/vindussensor [39]	57
Figur 32: Smart Door Lock - 365plus [43]	58

Begrep og forkortelser

AES	Advanced Encryption Standard, en krypteringsalgoritme.
AMS	Avanserte måle- og styringssystemer.
Automatikk	Selvvirkende mekanikk.
Blåtann (Blue tooth)	Radiooverføringsprotokollen som brukes til å sende og motta data trådløst mellom enheter som datamaskiner, telefoner, nettbrett, etc.
CPU	Central Processing Unit er det primære elementet som gjennomfører datamaskinens funksjoner.
Ethernet	Ethernet er den mest benyttede LAN-teknologien, og er spesifisert i IEEE 802.3.
Gateway	En «tolk» som benyttes for å få ulike protokoller til å kommunisere med hverandre.
GPRS	General Packet Radio Service (GPRS), en standard for trådløs dataoverføring med mobilkommunikasjon over mobiltelefonnettet.
HEMS	Home Energy Management System.
IEC	International Electrotechnic Commission.
IP	Internett protokollen.
ISO	International Organization for Standardization, en internasjonal standardiseringsorganisasjon som formulerer standarder innenfor en rekke områder.
JVM	Java Virtual Machine, en virtuell maskin.
LAN	Local Area Network, et datanettverk som er geografisk begrenset.
LON	Local Operating Network. Lon refererer til et intelligent styringsnettverk som fasiliteter kommunikasjon mellom enheter eller noder som kommuniserer med hverandre ved hjelp av LonTalk-protokollen.
NTE	Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk.
NTNU	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
OPC	The Object Linking and Embedding for Process Control (OPC) Foundation.
OSI	Open Systems Interconnection, OSI-modellen er en referansemodell for datakommunikasjon.
PIR	Passiv Infrared Receiver. En detektor baser på PIR-teknologien har et pyroelement som reagerer på varme (stråling i det infrarødespekteret).
PLC	Programmable Logic Controller
P-P	Peer-to-Peer, en måte å organisere ressursdeling på i et datanett.
Protokoll	Fastlagt sett av regler for informasjonsutveksling mellom kommuniserende digitale enheter.
RF	Radiofrekvens.
RFID	Radiofrekvensidentifikasjon. En RFID-brikke kan festes til eller bygges inn i et produkt. Brikken inneholder antenner som gjør dem i stand til å motta og svare på radiofrekvenssignaler fra en RFID-sender.
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition, mye brukt innen automasjon som en betegnelse for systemer for styring og overvåking.
SNVT	Standard Network Variable Types.
TCP	Transmission Control Protocol, en nettverksprotokoll for overføring av informasjon, og opererer på transportlaget i OSI-modellen for datanett.
Tvunnet trådpar	En signalkabel som består av tvinnede ledere. Tvunnet trådpar benyttes for eksempel til Ethernet og telefoni.
VNC	Virtual Network Computing er et system som gjør det mulig å fjernoperere en datamaskin over internett.
VPN	Virtual Private Network anvendes for å skape «punkt-til-punkt»-forbindelser gjennom datanettverk.

1 Innledning

Kraftinfrastrukturen står overfor store endringer i løpet av de neste tiårene. Produsentene og kraftselskapene vil få stadig større innblikk i den enkelte husstands forbruk ved hjelp av avanserte måle- og styringssystemer (AMS), samtidig som vi går mot et smartere og mer robust nett, smartgrid.

Som en del av utviklingen innen smartgridteknologi har NTNU og SINTEF Energi besluttet å bygge ut det eksisterende laboratorieområdet mot smartgridkonseptet. Laboratorieområdet vil bestå av flere ulike deler, blant annet et smarthus. Målet med denne oppgaven har vært å kartlegge mulighetene for det fremtidige smarthuslaboratoriet på NTNU. Laboratoriet vil utformes som en normal leilighet, dette inkluderer, men er ikke begrenset til, husholdningsartikler som tv, kjøleskap og vaskemaskin. Det er ønskelig at smarthuslaboratoriet skal benyttes til å demonstrere og visualisere nye konsepter for aktiv lastkontroll, teste og overvåke menneskelig oppførsel og nye løsninger som vil være aktuelle for videreutvikling av smarthuskonseptet.

Denne rapporten er begrenset til å omhandle mulig komponenter og samspill mellom disse i et smarthus. Mulige styringssystemer vil også legges frem kortfattet, da dette var hovedtemaet for prosjektoppgaven denne masteroppgaven bygger på. Rapporten vil både ta for seg generelle løsninger og konkrete systemer og komponenter for bruk i smarthuslaboratoriet. Grunnet manglende tilgang til varme-, ventilasjon- og airconditionanlegg har kartleggingen av komponenter dedikert til styring av disse anleggene vært vanskelig.

Første del av oppgaven omhandler smarthus generelt, og hvilke muligheter en slik installasjon kan gi dersom man ønsker å benytte seg av intelligens distribuert i alle husets apparater. Ulike styringskombinasjoner legges frem og sammenfattes så i en oversiktstabell. Videre fokuseres det på laboratoriet spesielt, hva slags utfordringer man står ovenfor i utviklingen av smarthuset og hvordan ulike problemstillinger kan løses. Det vil bli fremlagt aktuelle komponenter for bruk, i tillegg til generelle anbefalinger innen visse områder. Et grunnleggende komponentsystem legges så frem. Dette systemet kan benyttes for belysningskontroll, både til styring av lysanlegg, men også lysavskjerming. I tillegg har systemet statusstyring, hvilket medfører at man kan innføre ulike scenarier avhengig av hvorvidt man for eksempel er tilstede, borte eller sover. Avslutningsvis vil ulike videreutviklingsmuligheter presenteres. LonWorks benyttes foreløpig som eneste styringssystem i laboratoriet grunnet systemets markedsposisjon og NTNUs kjennskap til systemet. Grunnet intensjoner om å installere flere styringssystemer vil systemer som kan komplimentere LonWorks og komponenter tilhørende de ulike protokollene diskuteres.

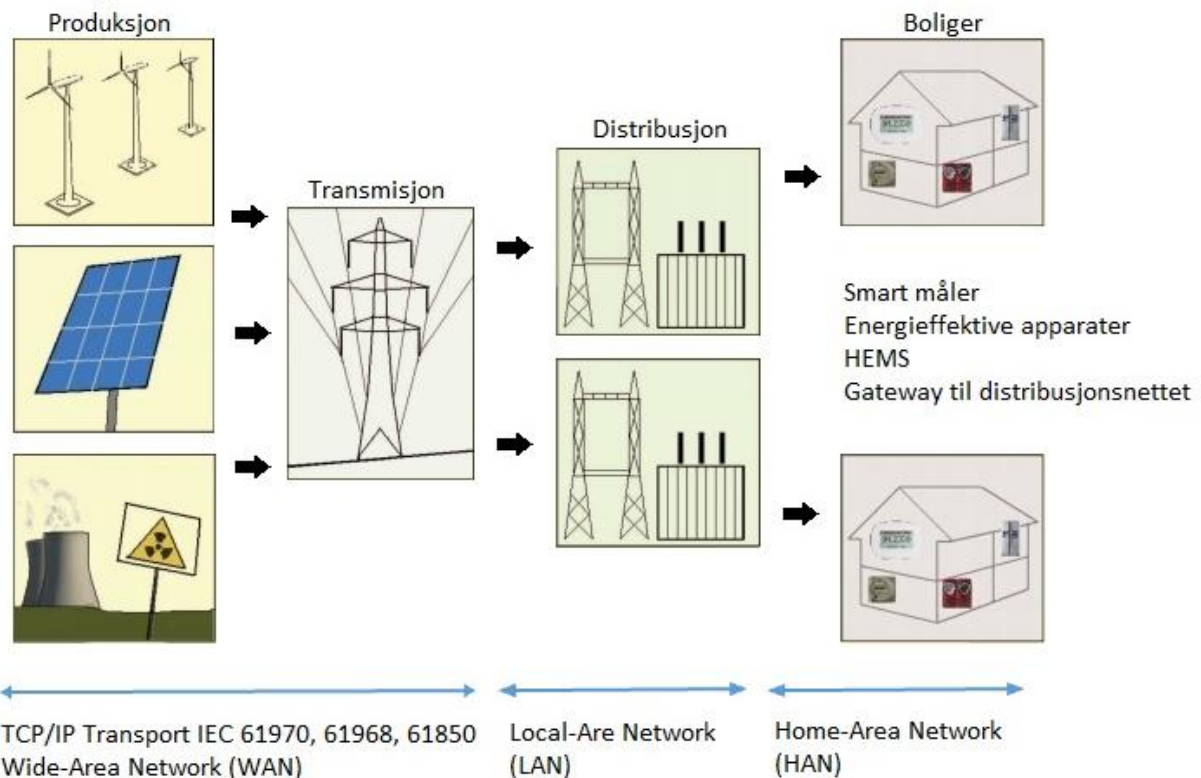
2 Bakgrunn

Det finnes ingen bestemt norsk definisjon på begrepet smarthus, men den internasjonale elektrotekniske kommisjon, «International Electrotechnical Commission» (IEC) har foreslått følgende definisjon: «Et hus eller en bolig med smarte elektriske installasjoner.», hvor smarte elektriske installasjoner er definert som: «Elektriske installasjoner utstyrt med et kommuniserende og strukturert installasjonsnettverk som gir beboerne eller operatører muligheten til å fjernstyre og/eller programmere elektriske apparater.» [1].

I Norge er det besluttet at AMS skal være installert hos alle strømkunder innen 1. januar 2019 [2]. AMS vil kunne øke effektiviteten i kraftmarkedet, både ved hjelp av bedre styring og utnyttelse av nettet, videre vil AMS være et nyttig verktøy i beredskapssituasjoner. I tillegg kommer aspektene fra energiloven inn, «Loven skal sikre at produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi foregår på en samfunnsmessig rasjonell måte, herunder skal det tas hensyn til allmenne og private interesser som blir berørt.» [3].

The Norwegian Smartgrid Centre er et nasjonalt kompetansesenter for smartgrid. Virksomheten omfatter forskning, undervisning, test- og demoprojekter, næringsutvikling og kommersialisering [4]. The Norwegian Smartgrid Centre har tatt initiativ for å utvikle en nasjonal smartgridstrategi. Målet er å danne et grunnlag for beslutninger om nasjonale tiltak. I sammenheng med dette ønsker NTNU og SINTEF Energi å bygge ut sine eksisterende laboratorier mot smartgridkonseptet. Som en del av denne utbygningen bygges det et smarthus på Gløshaugen som på sikt skal kobles på smartgridløsningene. Smarthuset plasseres i en eksisterende del av Elektrobygget på NTNU campus Gløshaugen. I praksis vil det dermed ikke bli et frittstående bygg med normale ytre påkjenninger, da kun en av veggene er tradisjonell yttervegg. Smarthuset skal være et kontrollert testmiljø for såkalte *prosumer* produkter, altså produkter med mulighet for både produksjon og konsum av elektrisk energi, samt automatisering av bygget. Laboratoriet vil først og fremst brukes til undervisning- og forskningsformål, i tillegg vil leverandører, industri og andre få tilgang til laboratoriet.

Smartgrid er en samlebetegnelse på fremtidens smarte nett. Over de neste årene vil vi oppleve store endringer av nettinfrastrukturen hvor informasjonsteknologi og internett får en stadig større rolle, dette anskueliggjøres i Figur 1. I Norge har regjeringen besluttet at alle strømkunder skal forberedes på smarte nett ved å skifte ut de eksisterende strømmålerne med smarte målere. Formålet er at man ved hjelp av en kontinuerlig informasjonsflyt skal kunne drifte strømnettet bedre i fremtiden. Ved å gjøre det eksisterende nettet smartere vil man være bedre rustet til å takle utfordringer slik som: diversitet i produksjonen, fordeling av tilgjengelige ressurser, etterspørsel, energilagring og utslipp. Det fremtidige nettet vil gi netteierne fullt innsyn og kontroll av deres ressurser og tjenester, som eksempel har de avanserte måle- og styringssystemene krav om innsamlingshyppighet samt bryting og begrenning av effektuttak hos den enkelte strømkunde.



Figur 1: Informasjonsoverføring og protokoller i det smarte nettet [5]

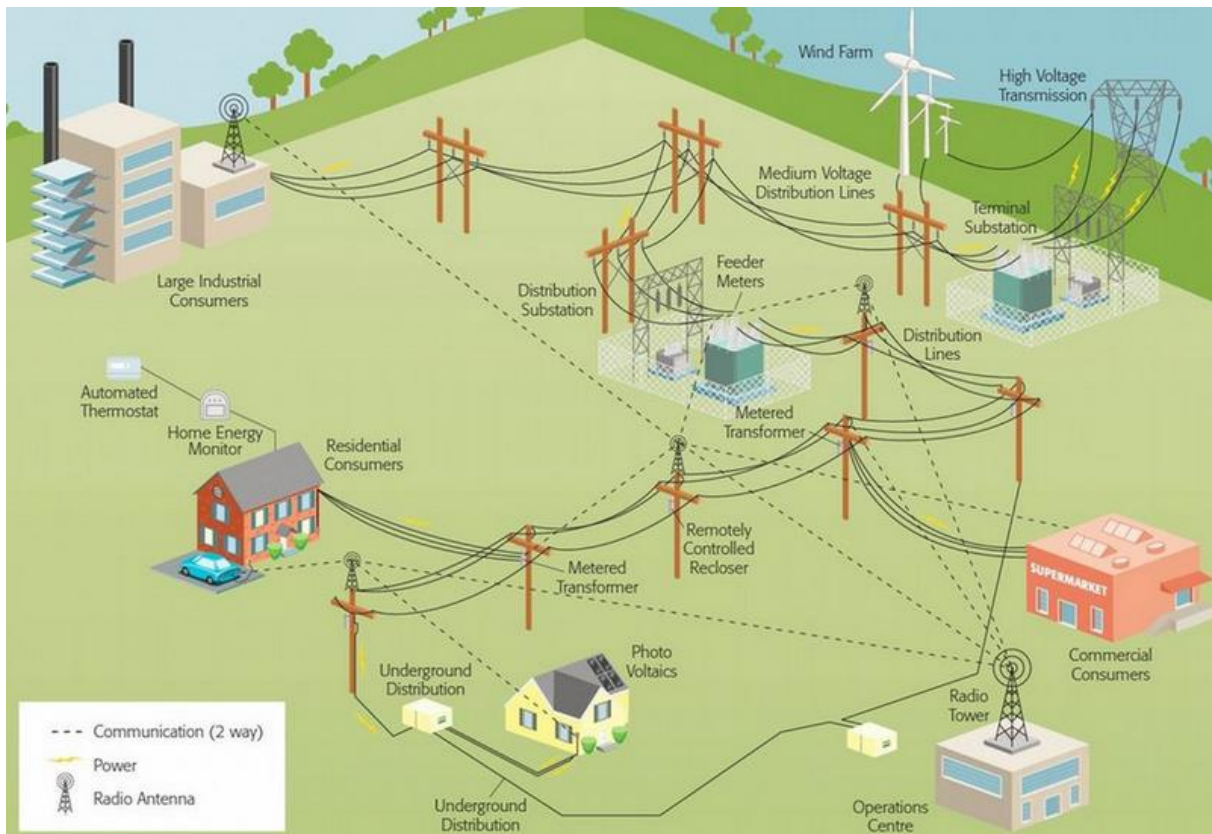
Dagens nett er et resultat av en svært hurtig urbanisering og infrastruktur utvikling i ulike deler av landet og generelt i verden over det siste århundret [5]. Til tross for at nettselskapene har ulike utfordringer ut i fra hvor i landet de hører hjemme var grunnprinsippene for drift ofte svært like, men den videre utviklingen av nettet er påvirket av politiske, geografiske og økonomiske rammevilkår de enkelte stedene. Til tross for ulikheter er strukturen i kraftnettet uforandret. Siden oppstarten har det vært tydelige skiller mellom produksjon, transmisjon og distribusjon. Kraftsystemet kan oppsummeres som et enveis rør hvor kilden ikke har tilgang på sanntidsinformasjon om mottakerpunktet. Forskjellene mellom dagens og fremtidens nett tydeliggjøres i Tabell 1.

Eksisterende nett	Smartgrid
Elektromekanisk	Kombinasjon av digitalt og elektromekanisk
Enveiskommunikasjon	Toveiskommunikasjon
Sentralisert produksjon	Kombinasjon av sentralisert og distribuert produksjon
Hierarki	Nettverk
Sensorer kun på transmisjonsnivå	Sensorer i alle punkter
Feil og avbrudd	Tilpassende og utkoblende
Manuelle kontroller/tester	Fjernstyre kontroller/tester
Begrenset styring	Full styring
Begrensede kundevalg	Flere kundevalg

Tabell 1: Eksisterende nett mot smartgrid

I dag lider kraftnettet under det faktum at den eneste formen for intelligens er installert lokalt i vern og sentral styring gjennom SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). For å nå

fremtidens smarte nett må det installeres prosessorer i alle komponenter, understasjoner og kraftverk. Disse prosessorene er avhengige av å agere som uavhengige komponenter samtidig som de kommuniserer og samarbeider med hverandre. På denne måten vil de operere som et distribuert prosessornettverk. Hvert eneste punkt (smarthus, distribusjonsstasjon, etc.) må være tilkoblet sensorer som overvåker komponentene og/eller understasjonene tilkoblet punktet, slik at styringen av driftsforholdene blir foretatt ute i nettet og rapporteres videre til andre, påvirkede punkter i nettet. Denne kommunikasjonen og andre aspekter ved smartgridteknologien vises i Figur 2.



Figur 2: Det nye, smarte strømmettet [6].

3 Bruksområder for den nasjonale smartgridlaboratoriet

Det er forventet at fremtidens smartgridteknologier vil forandre det elektriske kraftsystemet slik vi kjenner det i dag. For å sikre at dagens investeringer i nettet vil være kostnadseffektive og vellykkede i fremtiden kreves det at kunnskap innen smartgridfeltet tilegnes så tidlig som mulig.

Norge er i en unik posisjon i forhold til resten av Europa grunnet de store vannkraftreservoarene. Derfor kan det være gunstig å involvere seg tidlig i utviklingen innen smartgridsystemer for å dra betydelige fordeler i forbindelse med fremtidig krafttilførsel til resten av Europa. Innen noen områder kan Norge importere løsninger fra internasjonale samarbeid, mens man i andre sammenhenger vil ha mulighet til å eksportere løsninger samtidig som man kan utvikle egne, skreddersydde løsninger for det norske kraftsystemet.

De viktigste driverne bak utviklingen i smartgridteknologien er:

- Bærekraftighet i energisystemet
- Forbedret sikkerhet og kvalitet av energitilførsel for å redusere sårbarhet
- Behovet for å fornye og styrke et aldrende kraftsystem
- Nye teknologier og lavere kostnader innen IKT, elektronikk, kraftelektronikk, sensorer, fornybar energi, energilagring, transportelektrifisering, etc.

De viktigste satsningsområdene for det nasjonale smartgridlaboratoriet er energi- og miljøvennlig teknologi. Forskningsinfrastrukturen vil være sammensatt av flere underprosjekter, deriblant smarthusinstallasjonen. Samlet vil underprosjektene inkludere alle elementer som er forventet i en fremtidig smartgridarkitektur. Slik vil man kunne simulere et fullstendig system med tilgang til kraftsystem, kommunikasjon, forbrukere, smarthus, elektriske biler, sentral og distribuert kraftproduksjon, AMS og styringssystemer.

Det er to strategiske formål ved utviklingen av smartgridlaboratoriet og forskningsplattformen:

1. Å legge til rette for et landsdekkende kunnskapsbygg for fremtidens ingeniører og forskere som vil ha behov for praktisk laboratorieerfaring i tillegg til teoretisk kompetanse innen smartgrid, for å styrke posisjonen til Norge og den norske industrien.
2. Å styrke samarbeidet med ledende internasjonale forskningsorganisasjoner, spesielt å øke mulighetene om en felles søknad til EU-prosjekter gjennom medlemskapet i DERlab Association.

Videre er det to spesifikke formål for prosjektet:

1. Sikre en uttestingsfasilitet for industrielle produkter og innovative/smarte nettverkløsninger under kontrollerte og dupliserbare forhold med mulighet for fjerntilgang.
2. Identifisering av simuleringsmodeller for komponenter i aktive distribusjonsnett med sikte på analyse av deres interaksjon med nettverket ved hjelp av simuleringer.

Det nasjonale smartgridlaboratoriet og forskningsplattformen tar sikte på å nå ut til forskjellige brukergrupper. Den største andelen antas å være forskningsbrukere, som kan utgjøre en andel tilsvarende 55 % av kapasiteten. Målet er å være den ledende installasjonen

for forskning innen smartgrid på landsbasis. 30 % av kapasiteten antas benyttet av private brukere eller prosjekter finansiert av industrien. Her vil man kunne teste ut nye komponenter og løsninger utviklet av industrien eller samarbeidspartnere. Den resterende andelen, tilsvarende 15 %, er satt av til utdanningsformål. Denne gruppen vil bestå av både masterstudenter og laboratoriegrupper fra fag på lavere nivå.

Smarthus demonstrasjonsområdet vil bygges på en eksisterende del av Elektrobygget på NTNU Gløshaugen. I den offisielle søknaden om bevilgning av midler til smartgridlaboratoriet står det: «Huset vil være et kontrollert uttestingsmiljø for *prosumer*-produkter (altså produkter som både produserer og konsumerer energi) og boligautomasjon. Installasjonen vil innredes som en normal leilighet, utstyrt med moderne kjøkkenapparater (induksjonsplater, ovn og kjøleskap), våtromapplikasjoner (vaskemaskin og tørketrommel), enheter for termisk kondisjonering (varmvannstank og klimakontroll) og andre smarte apparater. Likheter til en normal bolig vil skape et realistisk grunnlag for forskning og det er ventet at fasilitetene vil være svært attraktivt for studentene, spesielt på bachelor- og masternivå. Installasjonen vil ha en sentralisert styringsenhet basert på LabVIEW koblet til i hver stikkontakt med mulighet for overvåkning av elektriske parametere og styring av brytere.»

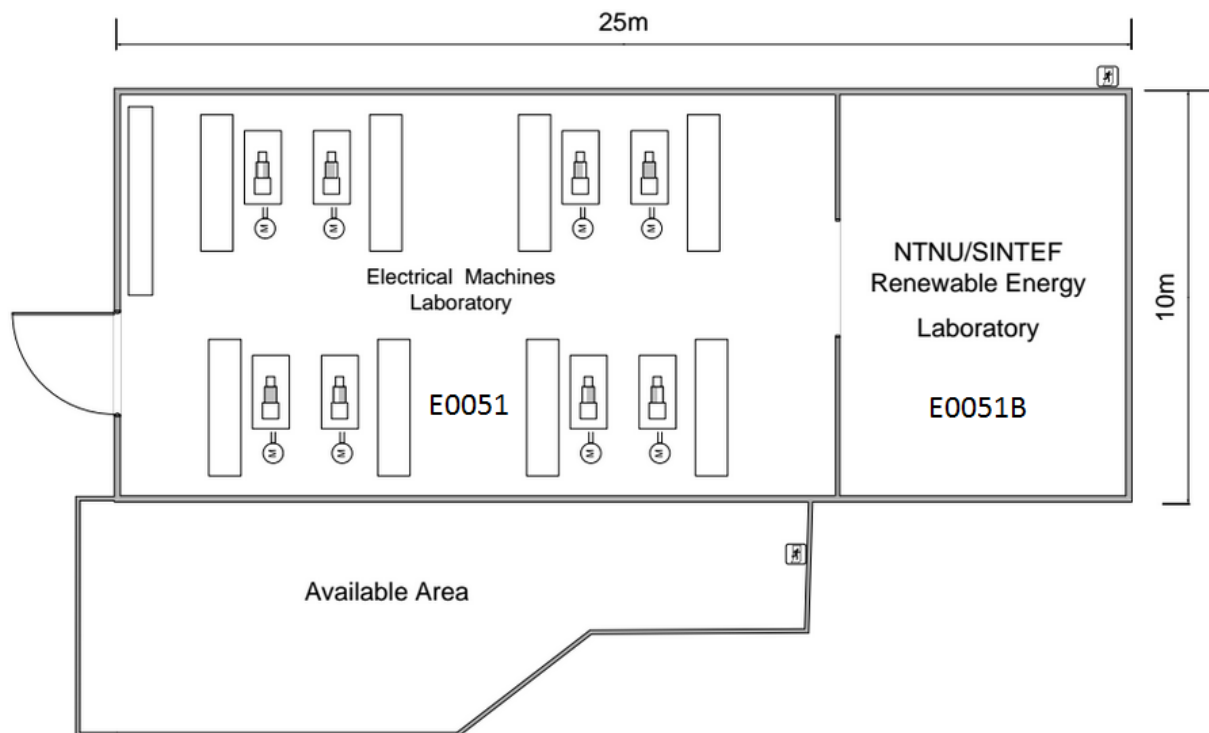
I tillegg til er det ønskelig fra NTNU og SINTEF Energis side at smarthuset kan benyttes til å vise frem nye løsninger som motiverer både eksisterende studenter og potensielle, fremtidige studenter. Ved å legge til rette for interaktive omvisninger i huset vil man ha mulighet for å vise frem fremtidens løsninger og inspirere fremtidens ingeniører.

Det er tenkt at den eksisterende solcelleinstallasjonen tilhørende Elektrobygget kobles til smarthuset i et tidlig stadium. På denne måten vil man kunne forske på mikrokraftverk fra et tidlig tidspunkt i prosjektet. I tillegg er det lekt med tanken om at smarthuset på sikt skal ha mulighet for lagring av energi, både termisk og elektrisk, for å se på mulighetene ved et balansert lastuttak gjennom hele døgnet.

Hovedmålet med smarthuset er å finne frem til løsninger som fører til energieffektiv drift av et hus. Sensorer, aktuatorer, smarte enheter, brytere og styringsenheter vil stå svært sentralt i dette arbeidet. I tillegg er det grunnlag for å tro at et laboratorium basert på flere styringssystemer vil kunne gi større fleksibilitet i forhold til uttesting og utskifting av ulike komponenter. Med dette bør man kunne sikre seg i større grad mot en utdatert installasjon, ved at man kan utføre små endringer uten å gjøre de store inngrepene.

4 Oppbygning av laboratoriet

NTNU har per dags dato et eksisterende smartgridlaboratorium, som blant annet inneholder et miniatyr-kraftnett i form av flere laster og simulering av produksjon. Målet med utviklingen av laboratoriet er blant annet å videre utvikle denne fasiliteten. Det eksisterende smartgridlaboratoriet er i dag plassert i E0051B i kjelleren av Elektrobygget på NTNU Gløshaugen, et relativt lite område, illustrert ved Figur 3. Etter hvert som utviklingen av infrastrukturen starter vil området utvides til å dekke det tilstøtende rommet E0051 i tillegg til E0051B.



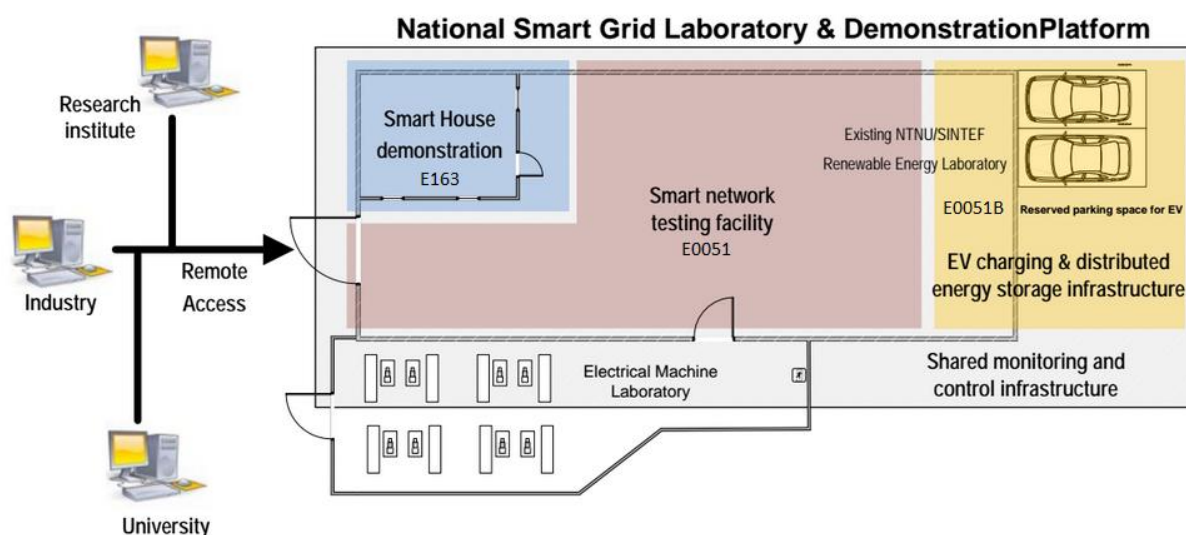
Figur 3: Dagens smartgridlaboratorium

I søknaden til Forskningsrådet for bevilgning av penger til smartgrid laboratorium og demonstrasjonsplattform er oppgitt sju underprosjekter i utviklingen av den eksisterende infrastrukturen:

1. Smarthusdemonstrasjonen vil, i likhet med smartgridlaboratoriet, plasseres i Elektrobygget. Smarthuset installeres i E163, hvilket er en etasje over resten av installasjonene. E163 har en yttervegg og dermed også noe oppvarmings- og kjølebehov. Smarthuset skal utstyres som en vanlig leilighet, og ha krevende laster slik som varmtvannstank og induksjonsplater.
2. Ladestasjon for elbil og distribuert energilagringinfrastruktur vil gi muligheter for å teste infrastrukturløsninger for elbiler, elektrokjemiske batterier og hvilken påvirkning elbiler har på kraftnettet. I tillegg vil denne installasjonen kobles direkte til likeretteren i energilagringlaboratoriet for å utnytte området som allerede er utstyrt for trygg lagring og drift av elektrokjemiske batterier.
3. og 4. Testingsfasilitetene for smarte nettverk vil være en forlengelse av kapabiliteten til det eksisterende laboratoriet og utstyret. I denne delen av infrastrukturen er

tenkt å operere med en spenning på 400 V og dermed driftes som distribusjons- eller overføringsnett med fornybare enheter, lagringsmuligheter og konvertere.

5. Den fysiske ekspansjonen av det eksisterende smartgridlaboratoriet. Når både E0051B og E0051 benyttes vil det totale arealet til smartgridlaboratoriet være på 250 m². Dette sikrer tilstrekkelig gulvareal, enkel tilgang til fasilitetene og et sterkt tilknytningspunkt til kraftnettet.
6. Den delte overvåknings- og kontrollinfrastrukturen vil sikre integrering av de tidligere beskrevne underprosjektene. I tillegg vil man ved hjelp av denne installasjonen ha mulighet til å teste hvordan forsinkelser eller feil i kommunikasjonen vil påvirke det elektriske systemet.
7. Fjerntilgang og databasedesign vil gi mulighet for å gjennomføre use caser og eksperimenter i laboratoriet fra en annen lokasjon. Alt av målinger og data vil lagres i en felles høytytelse database ved hjelp av et uniformt datalagringsgrensesnitt.



Figur 4: Fysisk utforming av det fremtidige smartgridlaboratoriet

Med unntak av smarthuset (rom E163), som plasseres en etasje høyere opp enn resten av fasilitetene, viser Figur 4 den tiltenkte fysiske utstrekningen til smartgridlaboratoriet, med alle sine underprosjekter.

Målet er at det nye laboratoriet og uttestingsfasilitetene skal kunne dekke over store deler av den problematikken man nå står ovenfor ved å bevege seg fra den klassiske kraftinfrastrukturen over til smarte nett. Flere av de nye løsningene og apparatene må testes ut under kontrollerte forhold før de installeres i nettet eller hjemme hos personer. I tillegg er det forventet at installasjonen vil dekke over følgende felt:

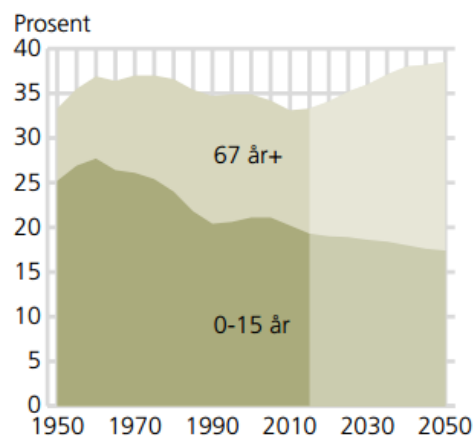
- Smarte transmisjonsnett
- Smarte aktive distribusjonsnett
- Integrering av fornybar kraftproduksjon
- Mikrokraftnett
- Elektrifisering av transport

- Overvåkning, kontroll og automasjon i smartgrid
- Smartgridprogramvare
- Kommunikasjonsteknologier for smartgrid
- Integrering av smartgrid, smarthus og smarte industrier
- Smarte nett og automasjon av hjem
- Energilagring i smarte nett
- Energiomforming i smarte nett
- Kraftsystemstabilitet i smarte nett

5 Smarthus

Et smarthus er en bygning som innlemmer avanserte automasjonssystemer og gir beboerne sofistikert overvåking og kontroll over byggets funksjoner. Eksempelvis kan byggene inneholde styring av lys, temperatur, multimedia, sikkerhet og mange andre funksjoner. Et smarthus benytter i tillegg automasjonsteknologiene til å gi beboerne intelligente tilbakemeldinger og informasjon ved å overvåke ulike aspekter ved huset. Potensialet til smarthus er svært stort, og dekker over mange felt. Her til lands fokuseres det spesielt på løsninger innen velferdsteknologi, strømbesparing og generelle «kjekt å ha» løsninger.

Velferdsteknologi er spesielt viktig da kalkyler viser at 17 % av Norges befolkning vil være over 67 år i 2030 [7] som vist i Figur 5, dette medfører et økende behov for smarte løsninger. Livsløpsboliger, elektromedisinsk utstyr til hjemmet og smarte pasientrom på sykehus vil stå svært sentralt. I livsløpsboliger vil fokuset ofte være sikkerhet. Ved å ta i bruk sensorer og kameraer kan helsepersonell og pårørende til enhver tid kontrollere at alt er som det skal hos hjemmeboende pasienter. Den samme brukergruppen har ofte behov for elektromedisinsk utstyr, dette medfører at det må stilles høye krav til utstyret i seg selv, så vel som krafttilførselen. Det vil også være større pågang på sykehusene rundt om i landet, dette gjør at det bør utvikles smarte løsninger også innen denne sektoren.



Figur 5: Andel barn, unge og eldre i befolkningen [7]

Livsløpsboliger får stadig mer oppmerksomhet i dag. Mange eldre personer bor langt unna sine nærmeste pårørende og er avhengig av hjemmetjenester i ulik grad. I Stavanger har Lyse et prosjekt i samarbeid med NAV som heter «Bolig uten hindring», hvor hovedfokuset er å forenkle hverdagen til de pleietrengende [8]. Alle boligene er utstyrt med en rekke sensorer, i form av blant annet komfyrvakt, vannsensor og bevegelsessensor. Sensorene kan også brukes til å registrere bevegelse, eller mangel av bevegelse. Dersom det er registrert at beboeren er hjemme, og det ikke er bevegelse over lengre tid kan en alarm varsle både hjemmetjenesten og pårørende om at dette. Eventuelt kan man også ha sensorer i gulvet som registrerer dersom personen faller og blir liggende på bakken. I tillegg blir flere av leilighetene utstyrt med HD-kameraer koblet til smart-TVen med tilgang til videokonferanseprogrammer, slik at pårørende kan holde kontakten med den hjemmeboende.

Smarte pasientrom har som mål å øke bruken av velferdsteknologi. På denne måten vil pasienten selv kunne styre romomgivelsene og kontakt med helsepersonell, hvilket kan gi økt grad av mestringfølelse. Disse rommene vil tilrettelegges for tekniske løsninger og videokommunikasjon, inkludert fjernstyring for helsepersonell.

De såkalte «kjekt å ha» løsningene smarthus åpner for er mange og svært varierte. Muligheten for å slå på alt lys i huset på morgenen for å slippe å lete etter lysbryteren når man går fra rom

til rom, eller å kunne styre huset funksjoner fra en kontrollenhet er typiske eksempler. Større grad av trygghet i form av automatisk tekstmelding når barna kommer hjem fra skolen kan være et annet. I tillegg er det mulighet for automatisk melding til vaktentral ved brann- eller innbruddsalarm, samt styring av husets funksjoner ved slike hendelser. Alt lyset kan skrues på og alle dører kan låses opp eller igjen avhengig av hendelsen. Dette gir muligheten til å kontrollere hjemmet når man selv ikke er til stede, for eksempel kan man skru opp varmen i huset når man forlater hytta for å komme hjem til et varmt hus.

6 Planlegging av smarthus

Norge opplever en stadig større utnyttelse av en kraftinfrastruktur som i svært mange tilfeller allerede utnyttes maksimalt eller begynner å nærme seg utdatert. I tillegg står man her til lands ovenfor en stor eldrebølge som medfører et større press på hjemmehjelp, sykepleiere, sykehus og liknende. Disse utfordringene, så vel som mange andre, kan løses ved hjelp av smart teknologi, forutsatt at systemene er nøye gjennomtenkt og utprøvde før de når ut til folk flest.

Ved installasjon av smarte elektriske artikler er det flere ting man må ta hensyn til:

- Om de smarte apparatene skal implementeres i en eksisterende installasjon, eller skal man skal planlegge en ny
- Ønsket funksjonalitet
- Hvor mye innsyn brukeren bør få i eget system samt hvilke endringer brukeren selv kan foreta
- Hvilket system som bør velges
- Hvilket transmisjonsmedium man skal benytte for kommunikasjon

Kostnaden av å designe og konstruere et bygg, inkludert automasjonssystem, kalles den totale konstruksjonskostnaden. Avhengig av størrelsen på bygget vil automasjonssystemet, som potensielt kan styre varme, ventilasjon og air condition-anlegg, tilsvare 1-1,5 % av den totale konstruksjonskostnaden [9]. Et konservativt estimat tilsier at et automasjonssystem vil kunne gi besparinger tilsvarende 10 % av det totale energiforbruket per år. Et slikt automasjonssystem kan innefatte, men er ikke begrenset til, styring, regulering og overvåkning av:

- VVS-tekniske anlegg
- Elektriske anlegg
- Lysanlegg
- AV-systemer
- Solavskjerming
- Skallsikringssystemer
- Alarmer fra brannvarslingsanlegg og adgangskontroll

Dersom smarte artikler skal installeres i en eksisterende installasjon krever dette i mange tilfeller ny kabling eller andre inngrep i det eksisterende anlegget. For å unngå ytterligere inngrep er det viktig, spesielt dersom det valgte styringssystemet er trådbundet, at en bruker tilstrekkelig tid i planleggingsfasen og at installatøren forstår brukerens behov og ønsker for anlegget.

Ønsket funksjonalitet i et smarthus vil kunne variere sterkt fra bruker til bruker. Der noen har som ønske å forenkle sin egen hverdag, med prosesser som starter automatisk, vil det for andre kunne være nødvendig for livskvaliteten at systemet virker som det skal. Det investeres i dag stadig mer penger i uttesting av såkalte livsløpsboliger og velfredsteknologi. Målet er at pleietrengende, slik som for eksempel personer med kognitiv svikt, skal kunne få bo lengre i

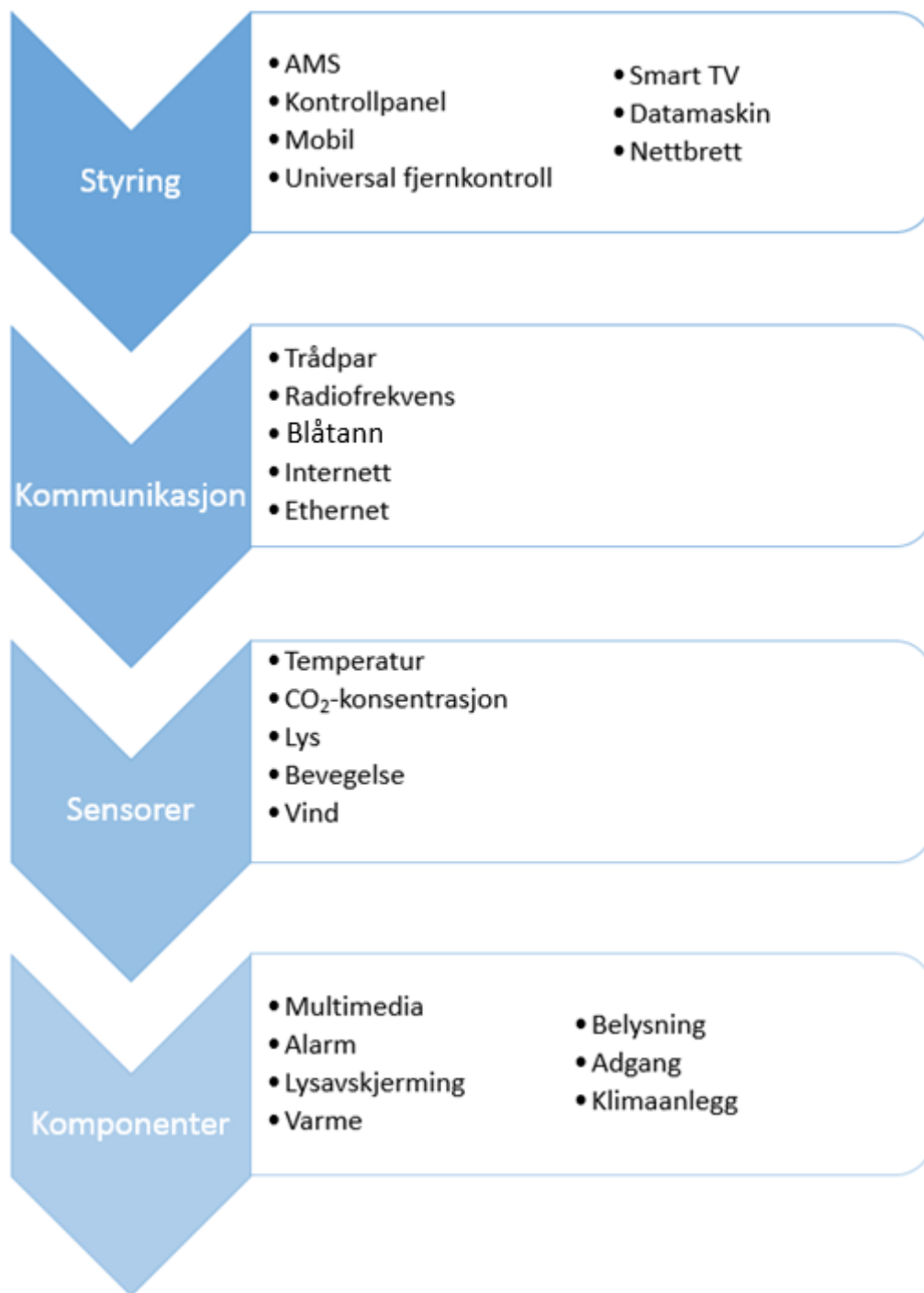
sitt eget hjem fremfor pleiehjem. I slike tilfeller må de smarte installasjonene tilpasses den enkelte beboers behov og kvalitetssikres tilstrekkelig for å sikre både funksjonalitet og brukervennlighet.

Systemets kompleksitet og hvor store inngrep brukeren selv skal kunne foreta vil være avhengig av kunnskapsnivået til den enkelte. For den gjennomsnittlige brukeren uten særlig kunnskap til automasjon vil ofte et proprietært system være tilstrekkelig, fordi brukeren uansett ikke vil ha kunnskapen som kreves for å gjøre endringer på systemet eller hente ut informasjon utover det systemet er satt opp til å levere. For en mer erfaren bruker med større kunnskap kan det være mer hensiktsmessig med et åpent system, slik at beboerne selv har mulighet til å gjøre endringer i systemet.

Ved valg av transmisjonsmedium går det største skillet mellom trådløst og trådbundet. Dersom man velger et trådløst system vil man ha en mye større frihet dersom man i ettertid vil gjøre endringer i systemet, spesielt dersom man vil utvide systemet med flere komponenter eller implementere en større del av bygningsmassen i det smarte nettverket. På den andre siden har de trådbundene systemene eksistert lengst, hvilket ofte medfører et større utvalg av komponenter og løsninger. LonWorks på sin side har i overkant av 500 LonMark verifiserte produkter, av disse er rundt 1 % trådløse, dette til tross for at LonWorks har støtte for trådløs kommunikasjon ved hjelp av både radiofrekvens og IP. Det kommer stadig flere styringssystemer som kun baseres på trådløs kommunikasjon på markedet, hvilket gjør at utvalget blir stadig bedre også på denne fronten. ZigBee og EnOcean er et eksempel på åpne, trådløse protokoller. Siden ZigBee fikk status som trådløs standard i 2003 har systemet vokst seg stort, blant annet benytter både Philips og Schneider Electric ZigBee i sine løsninger. I dag er det drøyt 1200 sertifiserte ZigBee produkter som kommuniserer ved hjelp av blant annet WiFi og blåttann. EnOcean har sitt utspring fra Siemens, og har i underkant av 1300 sertifiserte komponenter.

Ved valg av system kan man velge mellom to tilnærminger. Den første er å velge system først ut i fra omdømme, markedsposisjon og utvalg. Den andre er å kartlegge behovene systemet må tilfredsstillere, hvilke komponenter som trengs for at ønsket funksjonalitet skal oppnås, for deretter å undersøke hvilke av de ulike styringssystemene som kan benyttes for å dekke de kravene som er satt.

Figur 6 viser hvordan hierarkiet i et smarthus er satt opp fra styringsnivået og helt ut til komponentene.



Figur 6: Hierarkiet i et smarthus

6.1 Komponenter

I et smarthus vil fordelene være store ved å sammenkoble flere av områdene eller komponentene i huset til en eller flere identiske styringsmekanismer. Antallet komponenter som har mulighet for å agere i forhold til hverandre eller kommunisere med hverandre vil være avgjørende for hvor godt smarthuset fungerer i praksis. Dette gjelder i alle sammenhenger for smarthus generelt, men kan være spesielt viktig i noen tilfeller. For eksempel for å øke brukervennligheten i en velfredsbolig eller for å maksimere besparelsen i et energismart hus.

Muligheten for hvilke komponenter eller gruppe av komponenter som kan kobles sammen er enorm, og varierer fra helt grunnleggende og nødvendig over mot løsninger som kun er kjekke å ha eller forenkler livet til beboerne i huset.

6.1.1 Multimedia

Multimedia er en viktig del av den norske husstanden. Multimedieutstyr innfatter forskjellige typer medier som kan formidle informasjon, blant annet: TV, radio, spillkonsoller og hjemmekinoanlegg. I denne sammenhengen blir dette utstyret først og fremst benyttet til underholdning, og vil i liten grad kunne være med på å minke energiforbruket eller tryggheten innad i huset. På den andre siden er det flere muligheter for smarte løsninger som både kan og bør kobles opp mot multimedieutstyret, kanskje først og fremst til en såkalt scenariostyring:

1.1. Multimedia og belysningskontroll

Når TVen, spillkonsoller eller hjemmekinoanlegget aktiveres bør det sendes et signal til lyset i området rundt TVen slik at lyset dempes eller slås helt av.

1.2. Multimedia og lysavskjerming

Når TVen, spillkonsoller eller hjemmekinoanlegget slås på og sensorene registrerer dagslys bør markisene eller persiennene aktiveres dersom det ikke er for mye vind. Dersom vinden er for kraftig kan det være aktuelt å benytte lameller eller innvendige persienner.

1.3. Multimedia og kommunikasjon

Dersom man ikke er hjemme men ønsker å ta opp et program på TV/dekoder bør det være mulighet for fjernstyring av dette ved hjelp av mobil eller data. I tillegg kan det i mange sammenhenger være ønskelig å kunne se TV ved hjelp av internett. De fleste leverandører av digital-tv har allerede løsninger for dette, så det bør være tilstrekkelig å integrere de eksisterende løsningene i husets eksisterende styringssystem for mobil, nettbrett eller data.

1.4. Multimedia og kommunikasjon

Det er mulig å legge til rette for videokommunikasjon med TVen som skjerm. Dette kan enkelt løses dersom man har en smart-TV med internettilkobling og kobler til et kamera. Dette vil være spesielt aktuelt for eldre eller pleietrengende hvor pårørende bor langt unna.

1.5. Multimedia og adgang

Dersom noen ringer på døren bør det komme opp bilde av inngangspartiet på TVen. Hvis TVen allerede er påskrudd kan det være aktuelt å benytte en «picture in picture»-

funksjon slik at bildet ikke dekker hele skjermen. I tillegg bør det være mulig å slippe inn den som ringer på via fjernkontrollen som benyttes til TVen.

6.1.2 Varme

I Norge står oppvarming av rom for 55-60 % av energibruken i boliger og 40-50 % i yrkesbygg [10]. Ved å benytte seg av smarte løsninger kan man derfor utløse et stort besparingspotensial. Med smart styring kan man blant annet unngå at ovnene står på samtidig som vinduene er oppe, eller drive preventiv oppvarming. Samtidig vil man også ha mulighet for å operere utenfor lasttoppene i flere sammenhenger. Sensorer og prissignaler vil stå sentralt, men det vil også være andre muligheter:

2.1. Varme og statuser/kontrollpanel

Dersom innbruddsalarmen og/eller borte-/søvnstatus er aktivert bør husets panelovner og/eller varmpumper dempes innen rimelige grenser.

2.2. Varme og kommunikasjon

Dersom det er meldt varmt vær utover dagen bør oppvarming på kalde netter og morgener dempes, så sant dette ikke går utover komforten. Dette kan løses ved hjelp av informasjonsinnhenting fra internett.

2.3. Varme og brannalarm

Ved utløsning av brannalarmen samtidig som statusen er satt til «borte» bør varmpumpen slås av, for å unngå tilførsel av oksygen til brannen. Dersom folk er hjemme kan det være smart å la varmpumpen stå på for å forsøke å dempe røykmengden.

2.4. Varme og sensorer

Dersom varmen beveger seg utenfor det temperaturintervallet som er satt til gjeldende status bør dette detekteres av sensorene og justeres derfra.

2.5. Varme og sensorer

Dersom et vindu eller en dør står åpen i nærheten av en panelovn bør ovnen forbli avskrudd så lenge kontaktsensoren detekterer åpning.

2.6. Varme og kommunikasjon

Dersom statusen har vært satt til «borte» over flere dager kan det være aktuelt å fjernstyre oppvarmingen av huset ved å sende et signal noen timer før hjemkomst.

6.1.3 Lysavskjerming

Overdrevet innslipp av dagslys kan gå utover både termisk og visuell komfort. I forhold til termisk komfort er det spesielt viktig at dagslyset blir avskjermet slik at man unngår unødvendig oppvarming av rommet. For å løse dette bør man ha utvendige persiener, markiser eller «screens». Visuell komfort oppnås ved å begrense plagsom reflektering fra blanke overflater samt overdreven lysmengde. Dette kan løses med samme hjelpemidler som for termisk komfort, i tillegg kan innvendige persiener, lameller eller liknende benyttes. For å løse disse utfordringene finnes det flere muligheter:

3.1. Lysavskjerming og sensorer

Dersom det registreres mye sollys mot en fasade med vinduer bør enten markiser eller persiener aktiveres, hvis det er sterk vind kan lameller eller innvendige persiener være en mulighet.

3.2. Lysavskjerming og innbruddsalarm

Dersom innbruddsalarmen utløses bør all lysavskjerming avsluttes for best mulig innsyn.

3.3. Lysavskjerming og brannalarm

Dersom brannalarmen utløses bør all lysavskjerming avsluttes for best mulig innsyn.

3.4. Lysavskjerming og statuser/kontrollpanel

Dersom man har forhåndsinnstilte statuser bør lysavskjermingen stilles inn slik at man kan få gradvis høyere grad av dagslys inn på soverommet om morgenen slik at man våkner på en mer naturlig og behagelig måte.

6.1.4 Klimaanlegg

Det norske klimaet gjør at kjøleanlegg først og fremst benyttes i industri- eller kontorbygg hvor man har en høy andel av varmeavgivende utstyr slik som datautstyr og serverparker. Det er uansett flere aktuelle løsninger for et klimaanlegg i en bolig:

4.1. Klimaanlegg og statuser/kontrollpanel

Dersom husets beboer(e) aktiverer innbruddsalarm eller borte-/søvnstatus bør husets klimaanlegg dempes innen rimelige grenser.

4.2. Klimaanlegg og kommunikasjon

Dersom det er meldt varmt vær utover dagen bør ventilasjon på netter og morgener økes, så sant dette ikke går utover komforten. Dette kan løses ved hjelp av informasjonsinnhenting fra internett.

4.3. Klimaanlegg og brannalarm

Dersom brannalarmen utløses og huset er satt i bortestatus bør klimaanlegget slås av, slik at det ikke tilføres mer oksygen. Dersom folk er hjemme kan det være smart å la klimaanlegget stå på for å forsøke å dempe røykmengden.

4.4. Klimaanlegg og sensorer

Dersom temperaturen avviker fra det intervallet som er satt i gjeldende status bør temperatursensorer detektere dette og melde ifra, slik at dette kan justeres. I tillegg kan det i noen sammenhenger være aktuelt med en CO₂-sensor for å unngå at luftkvaliteten blir for dårlig.

4.5. Klimaanlegg og kommunikasjon

Dersom statusen har vært satt til «borte» over flere dager kan det være aktuelt å fjernstyre nedkjølingen av huset ved å sende et signal noen timer før hjemkomst.

6.1.5 Belysning

Gjennomsnittlig energibruk til belysning i boliger er 20 kWh/m² årlig [11]. Ved hjelp av smarte løsninger og riktig valg av lyskilder er det teoretisk mulig å oppnå en besparing tilsvarende 45 % av dette. Slike besparelser kan oppnås ved å velge de mest energieffektive lyspærene samtidig som man benytter seg av smart styring, for eksempel ved hjelp av bevegelses- eller lyssensorer. I tillegg finnes det flere situasjoner hvor det kan være ønskelig å overstyre signaler fra bevegelses- eller dagslyssensorer:

5.1. Belysning og lysavskjerming

Dersom det er mye indirekte dagslys bør lyssensorene inne i huset detektere dette å justere lysmengden på armaturene tilsvarende.

5.2. Belysning og statuser/kontrollpanel

Dersom statusen er satt til «borte» eller «sove» bør alt lyset dempes i hele huset. Det kan være aktuelt å beholde litt lys i ganger mellom for eksempel soverom og bad. Om morgenen bør man kunne ha mulighet for å slå på lyset i ønskede deler av huset når vekkeklokken ringer, slik at man slipper å slå de på fra rom til rom. Ved bortestatus over lengre tid kan man gi inntrykk av at noen er hjemme ved å la deler av belysningen slås på med ulike intervaller.

5.3. Belysning og statuser/kontrollpanel

Dersom man har forhåndsinnstilte statuser kan belysningen stilles inn slik at man kan få gradvis sterkere belysning soverommet om morgenen slik at man våkner på en mer naturlig og behagelig måte.

5.4. Belysning og brannalarm

Dersom brannalarmen aktiveres bør alt lys i huset slås på, slik at de som eventuelt oppholder seg i huset lettest mulig finner veien ut.

5.5. Belysning og innbruddsalarm

Dersom innbruddsalarmen aktiveres bør alt lys i huset slås på, slik at det blir en mer oversiktlig situasjon både for de som eventuelt måtte oppholde seg i huset og vektere/politi. I tillegg kan dette være med på å overvelde de som tar seg inn i huset.

6.1.6 Sensorer

Sensorer vil være en av de viktigste komponentene i et smarthus. Så å si alle rom i et smarthus vil være utstyrt med sensorer i ulik grad og med ulik funksjon. Dette gir mulighet til å overvåke for eksempel temperatur, CO₂-konsentrasjon, bevegelse, vind, nedbør og så videre:

6.1. Sensorer og multimedia

Dersom det detekteres bevegelse i et rom med radio kan det være mulighet for å programmere at radioen skrur på i ønskede tidsrom og deler av huset, for eksempel på kjøkkenet mens man spiser frokost.

6.2. Sensorer og varme

Dersom det ikke detekteres bevegelse i et område av huset over et gitt tidsintervall kan varmen reguleres ned til den nedre delen av det tillatte temperatursintervallet for å unngå å varme unødig selv når beboerne er tilstede.

6.3. Sensorer og belysning

Dersom det detekteres bevegelse i et rom bør lyset i dette rommet aktiveres.

6.4. Sensorer og klimaanlegg

Dersom det ikke detekteres bevegelse i et område av huset over et gitt tidsintervall kan luftkondisjonen reguleres ned slik at temperaturen og CO₂-konsentrasjonen nærmer seg de ytre grensene i sine respektive tillatte verdier for å unngå å kjøre anlegget unødig selv når beboerne er tilstede.

6.1.7 Baderom/Vaskerom

Styring av baderomsapparater slik som vaskemaskin eller tørketrommel vil først og fremst være med på å gjøre livet enklere for beboerne i huset. På denne måten vil man kunne få mulighet for å fjernstyre apparatene eller å bestemme starttiden dersom man ikke ønsker å kjøre maskinen umiddelbart. 20 % av energiforbruk i boliger går til oppvarming av varmtvann [12], dette skjer i tillegg ofte på morgenen da lastuttaket allerede er høyt på landsbasis, hvilket medfører høye strømpriser. Dette kan unngås ved å benytte seg av prissignaler, på denne måten kan man starte oppvarmingen av vannet til andre tider:

7.1. Varmtvann og smartmåler

Dersom det ikke er et akutt behov for varmtvann bør oppvarmingen utsettes til de tider av døgnet hvor energiprisen er lavest, dette løses ved å hente inn prissignaler fra AMS.

7.2. Vaskemaskin/tørketrommel og kommunikasjon

Start av vaskemaskinen og/eller tørketrommelen bør kunne fjernstyres eller tidsplanlegges. For eksempel kan det være aktuelt å fylle vaskemaskinen før man drar på trening og utsette starten slik at maskinen er ferdig når man er tilbake. Det bør dog nevnes at dette ikke anbefales grunnet brannfaren.

6.1.8 Alarmer

I 2014 ble det opprettet 16 000 kriminalsaker grunnet tyveri fra bolig og fritidsbolig [13], dette til tross for at Norge er i verdenstoppen når det gjelder installerte alarmer per husstand. Smarte løsninger tilkoblet husets sikkerhetssystem kan i mange tilfeller gi økt trygghetsfølelse, ved at man får bedre tilgang til informasjon om husets tilstand:

8.1. Alarmer og sensorer

Dersom innbruddsalarmen utløses kan det være ønskelig å vite hvilken barriere som er brutt, dette kan lett løses ved hjelp av sensorene. I tillegg kan det være aktuelt å få tatt bilder av tyvene dersom man har mulighet for dette ved hjelp av bevegelsessensorer og kameraer.

8.2. Alarmer og sensorer

Dersom det oppstår en vannlekkasje bør dette detekteres av en sensor og varsles om ved hjelp av en alarm.

8.3. Alarmer og sensorer

Dersom beboeren(e) i huset er pleietrengende kan det være aktuelt å benytte sensorene til å sikre seg om at personen ikke har fått et illebefinnende. Så sant statusen ikke er satt til «borte» eller «søvn» bør bevegelsessensorene kunne detektere bevegelse innen visse tidsintervaller for å sikre dette.

8.4. Alarmer og kommunikasjon

Dersom en alarm blir utløst bør det sendes en melding til huseier/beboere. Om dette skal være en standardisert SMS eller en mer avansert løsning vil være opp til den enkelte.

8.5. Alarmer og adgang

Dersom brannalarmen utløses bør skallsikringen av huset automatisk slås av, slik at det blir enklest mulig å komme seg ut.

6.1.9 AMS

AMS enheter skal være på plass hos alle strømkunder i Norge innen 1. januar 2019. Målet er at dette skal forenkle hverdagen til både kunden og produsenten. Avanserte måle- og styringssystemer vil gi større intensiver for smart styring av apparater med prissignaler slik at man kan unngå de mest lastkrevende operasjonene i de mest belastede timene:

9.1. AMS og kommunikasjon

For å sikre at all informasjon som samles inn prosesseres og videreformidles på riktig måte bør det settes opp en form for kommunikasjon mellom informasjonsinnsamlingen fra internett eller andre kilder og AMS-enheten.

6.1.10 Kommunikasjon

Avanserte måle- og styringssystemer vil gi en økt grad av informasjonsinnhenting hva gjelder prissignaler og belastning på nettet. I tillegg kan det i mange tilfeller være aktuelt å benytte komponenter koblet direkte på internett for å hente eller sende annen informasjon slik som værsignaler eller liknende:

10.1. Kommunikasjon og adgang

Dersom man har små barn i huset kan det for mange være fint å få en SMS når barna er trygt hjemme fra skolen. Dette kan løses enkelt dersom man har elektronisk adgangskontroll.

10.2. Kommunikasjon og statuser

Dersom man har vært borte fra huset over lengre tid kan det være aktuelt å sjekke for eksempel temperatur eller hvorvidt vinduer er lukket.

6.1.11 Adgang

Adgangskontrollen vil være et viktig element i en bolig for å hindre uønskede personer tilgang. Det finnes et bredt utvalg av ulike låsmekanismer, men uansett hvilken som velges finnes det flere muligheter for intelligens:

11.1. Adgang og belysning

Dersom noen låser seg inn i huset kan det være fornuftig at lys i gangen slås på automatisk. Dette kan løses enten ved hjelp av sensorer i gangen eller ved signal fra adgangskontroll eller dørkontakt.

11.2. Adgang og statuser/kontrollpanel

Dersom noen låser seg inn i huset og statusen har vært satt til «borte» bør den gå over til normal status. Det kan være aktuelt å legge inn en forsinkelse, da noen kan være en kjapp tur inne for å hente noe.

11.3. Adgang og kommunikasjon

Dersom man er på ferie og planter skal vannes eller dersom man ikke er hjemme når det kommer håndverkere på besøk kan det være ønskelig å fjernstyre adgangskontrollen, dette kan løses ved hjelp av telefon eller ved en midlertidig adgangskode på døra.

6.1.12 Kjøkkenutstyr

Styring av kjøkkenutstyr vil først og fremst være med på å gjøre livet enklere for beboerne i huset. Det er flere aktuelle løsninger både for kjøleskap og ovn:

12.1. Ovn og kommunikasjon

Dersom man har dårlig tid på vei hjem fra skole eller jobb kan det i mange sammenhenger være praktisk med fjernstyring av ovn slik at man kan sette på forvarming på vei hjem. Dette kan løses ved hjelp av en mobiltelefon og smartstyring av komfyren.

12.2. Kjøleskap/fryser og kommunikasjon

Dersom man står på butikken og er usikker på hvorvidt man trenger en matvare eller ikke kan det være ønskelig med overvåkning av innholdet i både kjøleskap og fryser. Det finnes i dag flere kjøleskap på markedet som løser dette, blant annet fra LG og Samsung.

12.3. Kjøleskap/fryser og sensor

Dersom man har en endring i temperatur utenfor et ønskelig intervall i kjøleskapet eller fryseren kan det i mange tilfeller være ønskelig å få beskjed om dette. Dette kan enkelt løses ved hjelp av en temperatursensor og varsling til en mobil.

6.1.13 Utendørs

Styring av for eksempel gressklipper og garasjeporter er først og fremst «kjekt å ha» løsninger, men kan absolutt være smart i mange sammenhenger. Det er flere aktuelle muligheter:

13.1. Gressklipper og kommunikasjon

Dersom man har en robotgressklipper bør denne kunne fjernstyres over internett slik at man har mulighet for å vedlikeholde plenen hvis man ikke er hjemme på noen dager.

13.2. Vanningsanlegg og kommunikasjon

Dersom man har installert vanningsanlegg i hagen bør dette kunne fjernstyres over internett slik at man har mulighet til å vedlikeholde plenen uansett hvor man er.

13.3. Garasje og kommunikasjon

Dersom man har elektrisk garasjeport bør det være mulighet for å fjernstyre dette ved hjelp av enten internett eller ved å ringe et telefonnummer slik at porten er oppe når det er ønskelig.

13.4. Ladning av elbil og kommunikasjon

Dersom man har parkert elbilen for dagen og ikke skal benytte den før dagen etter bør ladningen av bilen utsettes til et tidspunkt hvor AMS-komponenten får lave prissignaler. På denne måten vil man både kunne redusere sin egen pris og lasttoppene i nettet.

13.5. Utendørsbelysning og sensorer

Når det blir mørkere på kvelden er det i mange tilfeller ønskelig med belysning av inngangspartiet til huset og andre deler av hagen. Dette kan løses ved hjelp av en utendørs lyssensor, som detekterer behovet for ekstra belysning. I smarthusets tilfelle er det mulig å teste ut dette ved hjelp av veibelysningsanlegget plassert ved Realfagbygget på Gløshaugen.

13.6. Utendørsbelysning og alarmer

Dersom alarmer utløses på kveldstid kan det være ønskelig ved ekstra belysning i området rundt huset. Hvorvidt uteområdet skal utstyres med ekstra lamper for dette, eller om de eksisterende lampene skal styres opp til maksimalt lysnivå er avhengig av den enkeltes behov.

6.1.14 Kontrollpanel

Fra kontrollpanelet vil man ha innsyn i alle prosessene med innebygd intelligens i huset, herfra kan man overvåke energibruk, overstyre signaler fra for eksempel sensorer eller planlegge prosesser som skal gjøres når man ikke er tilstede for å sette de i gang selv:

14.1. Kontrollpanel og multimedia

14.2. Kontrollpanel og varme

14.3. Kontrollpanel og lysavskjerming

14.4. Kontrollpanel og klimaanlegg

14.5. Kontrollpanel og belysning

14.6. Kontrollpanel og badetrom

14.7. Kontrollpanel og alarmer

14.8. Kontrollpanel og kjøkkenutstyr

14.9. Kontrollpanel og utendørs

14.10. Kontrollpanel og AMS

I mange tilfeller har det å illustrere energiforbruket på en ryddig og tydelig måte vist seg å være effektivt for å redusere strømforbruket. Derfor kan det være aktuelt at skjermspareren til kontrollpanelet kan gi en oversikt over energiforbruket. Eventuelt kan det være mulig å ha et eget display for å vise energibruken.

14.11. Kontrollpanel og kommunikasjon

Den informasjonen som samles inn ved hjelp av andre medier enn AMS-enheten bør kunne presenteres ved hjelp av kontrollpanelet, slik at beboerne til enhver tid kan se informasjonen.

14.12. Kontrollpanel og adgang

Dersom det ringer på døren bør det være mulig å styre adgangskontrollen fra kontrollpanelet på samme måten som for TVen i punkt 1.5.

14.13. Kontrollpanel og multimedia

Det bør være mulig å benytte multimedieutstyr, slik som tv, datamaskin, nettbrett, etc., som kontrollpanel. Dersom man benytter seg av en automasjonsserver kan dette enkelt løses ved hjelp av en webserver, og krever kun at enheten har internettilgang.

6.2 Mulige styringskombinasjoner

Tabell 2 viser de mulige kombinasjonene mellom de ulike områdene som har blitt lagt frem under kapittel 6.1. Hvert nummer i tabellen tilsvarer nummereringen i dette kapittelet. Tabellen presenteres for å skape et mer helhetlig bilde over hvilke komponenter som kan påvirke hverandre i et smarthus.

	Multimedia	Varme	Lysavskjerming	Klimaanlegg	Belysning	Sensorer	Baderom	Alarmer	AMS	Kommunikasjon	Adgang	Kjøkkenstyr	Utendørs	Kontrollpanel
Multimedia			1.2		1.1					1.3, 1.4	1.5			
Varme						2.4, 2.5		2.3		2.2, 2.6				2.1
Lysavskjer.						3.1		3.2, 3.3						3.4
Klimaanlegg						4.4		4.3		4.2, 4.5				4.1
Belysning			5.1					5.4, 5.5						5.2, 5.3
Sensorer	6.1	6.2		6.4	6.3									
Baderom									7.1	7.2				
Alarmer						8.1, 8.2, 8.3				8.4	8.5			
AMS										9.1				
Komm.											10.1			10.2
Adgang					11.1					11.3				11.2
Kjøkken						12.3				12.1, 12.2				
Utendørs						13.5		13.6		13.1, 13.2, 13.3, 13.4				
Kontroll	14.1, 14.13	14.2	14.3	14.4	14.5		14.6	14.7	14.10	14.11	14.12	14.8	14.9	

Tabell 2: Mulige styringskombinasjoner i et smarthus

7 Avanserte måle- og styringssystemer (AMS)

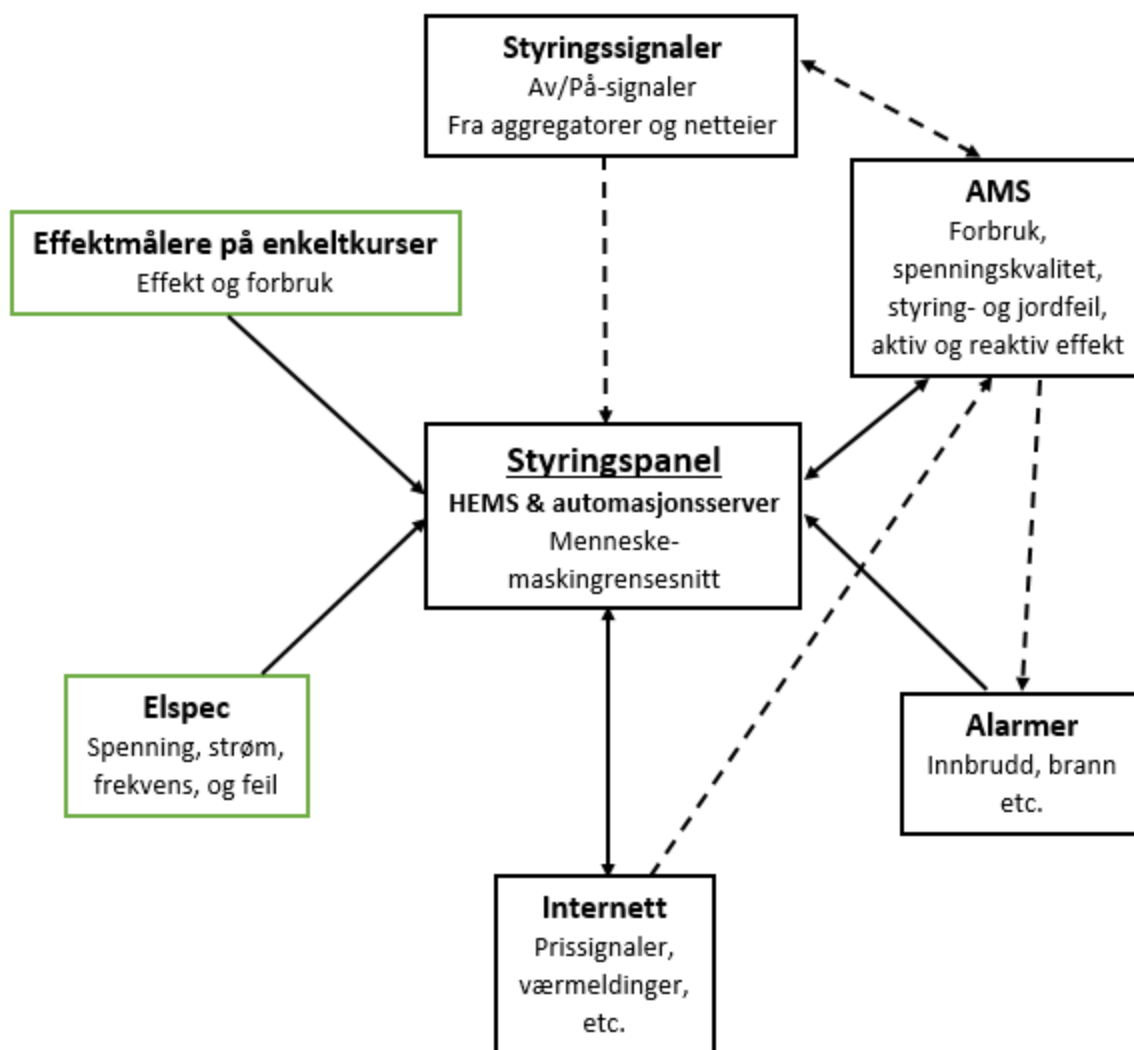
De smarte strømmålerne vil gi forbrukerne enklere og bedre tilgang til informasjon om sitt kraftforbruk, gjennom avregning på time-/kvarterbasis. Det er forventet at avregningen i tillegg vil kunne bidra til en bedre kontroll i de timene i døgnet hvor lasttoppene oppstår.

Følgende funksjonskrav stilles til AMS [14]:

AMS skal:

- 1. lagre målerverdier med en registreringsfrekvens på maksimalt 60 minutter, og kunne stilles om til en registreringsfrekvens på minimum på 15 minutter,*
- 2. ha et standardisert grensesnitt som legger til rette for kommunikasjon med eksternt utstyr basert på åpne standarder,*
- 3. kunne tilknyttes og kommunisere med andre typer målere*
- 4. sikre at lagrede data ikke går tapt ved spenningsavbrudd*
- 5. kunne bryte og begrense effektuttaket i det enkelte målepunkt, unntatt trafomålte anlegg,*
- 6. kunne sende og motta informasjon om kraftpriser og tariffer samt kunne overføre styrings- og jordfeilsignal,*
- 7. gi sikkerhet mot misbruk av data og uønsket tilgang til styrefunksjoner og*
- 8. registrere flyt av aktiv og reaktiv effekt i begge retninger.*

Energieffektiviseringen oppnås ved at AMS skal kunne viderefordre målerverdier fra andre målere (vann, fjernvarme, hvitevarer, etc.), pris- og tariffdata, styrings-, alarm- og jordfeilsignal fra eksternt tilkoblet utstyr. Kraftleverandører skal i tillegg kunne benytte seg av kommunikasjonsløsningen til AMS for å utveksle styringssignaler med eksterne enheter hos sluttbrukeren dersom slike er installert.



Figur 7: Informasjonsstrøm for fullstendig utbytte av AMS

De avanserte måle- og styringssystemene skal ha mulighet for å motta og videreformidle en rekke informasjon, men utover forbruk, spenningskvalitet samt registrering av aktiv og reaktiv effekt er det per dags dato ingen krav til informasjonsinnsamling innad i enheten. Et avansert måle- og styringssystem har stort potensial, men dersom man skal få tilgang til alle mulighetene er man avhengig av å benytte flere kanaler enn kun AMS-enheten. Det er for eksempel et krav at de smarte målerne skal kunne sende og motta informasjon om kraftpriser, men det er derimot ikke noe krav til at selve informasjonsinnhenting skjer i selve måleren. Det samme gjelder for styrings- og jordfeilsignal. Innsamlingen av slik informasjon må dermed, i de fleste tilfeller, hentes fra andre kanaler. For folk flest vil det trolig være tilstrekkelig å benytte seg av elementene med svart ramme i Figur 7, da både Elspec-måler og effektmålere på enkeltkurser må sies å være en større investering enn hva som er nødvendig under normale forutsetninger. I smarthuslaboratoriet vil derimot samtlige elementer i figuren over ha en naturlig rolle da man ønsker fullstendig overvåking av det elektriske anlegget i huset. Med tanke på at det må hentes inn informasjon gjennom flere tredjeparts kanaler i smartgridlaboratoriet er det grunn til å tro at det enkleste vil være å samle alt i en database før det eventuelt distribueres videre til den eller de komponentene som har behov for

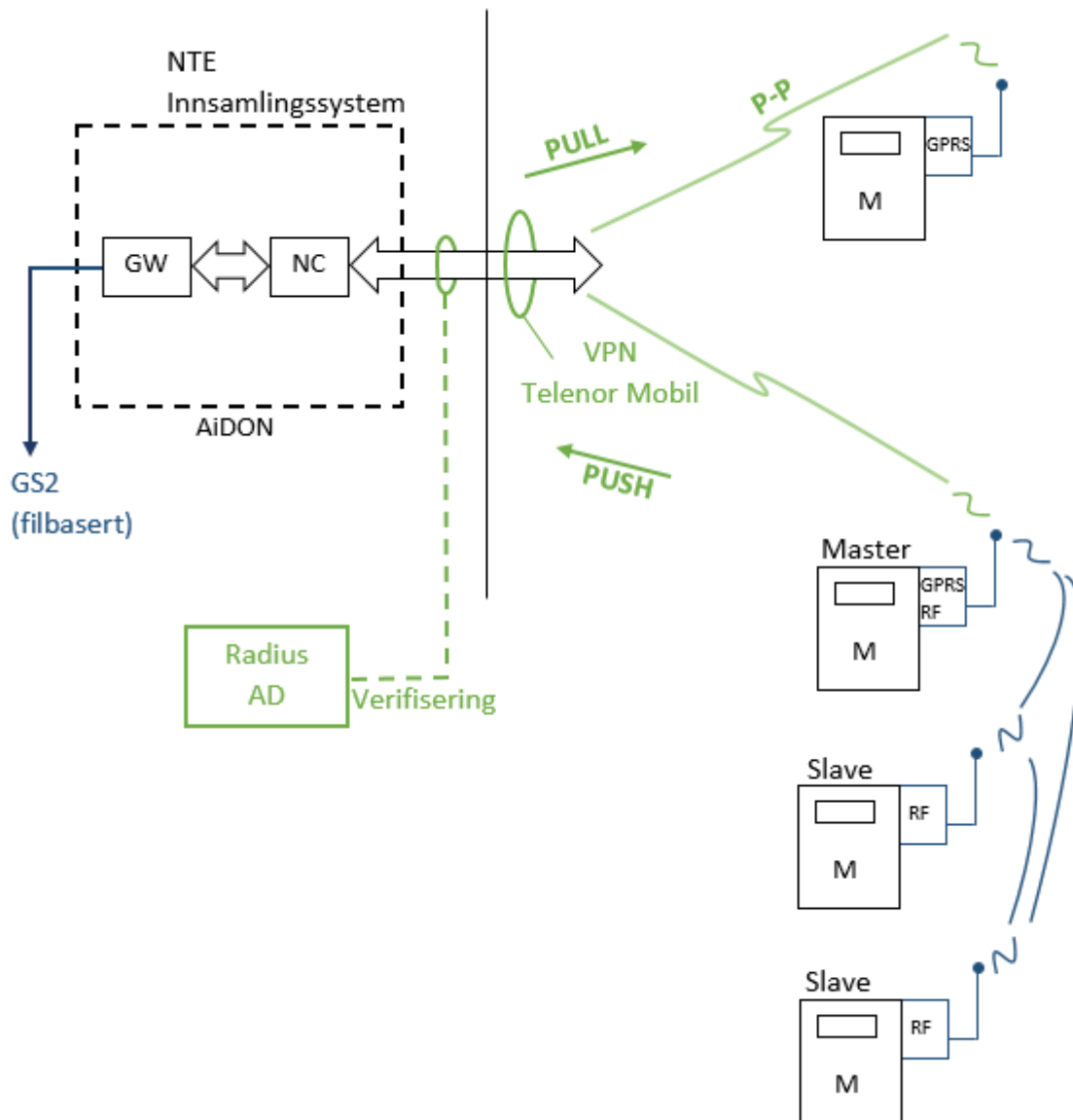
informasjonen. I smarthuset er det tenkt at denne databasen knyttes opp mot styringspanelet for enkel tilgang.

De ulike informasjonskanalene i Figur 7 vil skaffe informasjon om ulike aspekter i smarthuslaboratoriet:

- Effektmålere på enkeltkurser: Vil gi kontinuerlig sanntidsovervåkning av effektforbruket til alle installasjoner i huset. Dette gjør at man har tilgang på en mer detaljert forbruksdata enn det som er kravet til AMS-enhetene.
- Elspec: Sørger for svært nøyaktig overvåkning over spennings- og strømkvaliteten til enhver tid. Dette medfører at man har muligheten til å undersøke hvordan enhetene og installasjonene i laboratoriet påvirker spenningskvaliteten i huset.
- Styringssignaler: I kravspesifikasjonen til de avanserte måle- og styringssystemene står det at AMS'en selv skal kunne bryte og begrense effektuttak basert på styringssignaler fra kraftselskapet, dette medfører at styringssignalene kan sendes direkte til AMS-enheten. På den andre siden kan det være aktuelt å sende denne informasjonen direkte til styringsenheten, eller eventuelt at det sendes til styringsenheten via AMS'en.
- Alarmer: Vil gi en oversiktlig tilbakemelding om hvilken alarm som har gått og hvor problemet har oppstått. Det kan også være gunstig å koble alarmen opp mot AMS-enheten slik at både styrings- og jordfeilsignaler kan registreres i alarmsentralen innad i huset.
- Internett: For å skaffe informasjon om fremtidige prissignaler og værmeldinger er man avhengig av å hente inn denne informasjonen, det enkleste per dags dato ser ut til å være å benytte seg av internett, for prissignaler kan man benytte seg av Nordpool og for været kan man benytte seg av en værmeldingstjeneste. Denne informasjonen er av stor interesse for AMS-enheten slik at den kan styre installasjonen i huset på den mest hensiktsmessige måten. Informasjonen må derfor sendes til den smarte måleren, enten via samlingspunktet eller direkte da det er et krav at måleren skal kunne sende og motta prissignaler.
- Styringspanel: Styringspanelet vil være et samlingspunkt for all informasjonen i innsamlingsystemet. Her vil informasjon hentes inn fra alle de ulike enhetene, prosesseres og videresendes ved behov. Samtidig vil man kunne overvåke alle prosesser og enheter i huset samt energiforbruket ved hjelp av informasjon fra AMS-enheten, HEMS-systemet («Home Energy Management System») og effektmålerne.

I første omgang vil smarthuset på NTNU Gløshaugen utstyres med et antall målere fra AiDON. Hovedgrunnlaget for dette er tilgangen på systemer som støtter opp under AiDONS teknologi i dag. Ved hjelp av NTE og Demo Steinkjer vil da data kunne hentes ut og analyseres allerede på et tidlig tidspunkt.

7.1 AMS-arkitektur



Figur 8: NTEs AMS arkitektur for Demo Steinkjer

NTE: Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk

GW: Gateware

NC: Network Connector

GS2: Filtype som målingene representeres ved

AD: Brukerdatabase/ActiveDirectory

VPN: Virituelt privat nettverk

P-P: Peer-to-peer kommunikasjon

M: Målere

GPRS: General Packet Radio Service

RF: Radiofrekvens

Figur 8 viser to ulike kommunikasjonsmuligheter for AMS-enhetene, peer-to-peer og master/slave. Ved peer-to-peer kommunikasjon er har alle enhetene direkte interaksjon, dermed er også ansvarsfordelingen lik. En enhet i et peer-to-peer nettverk opererer som både

klient og tjener, dette gjør at man til enhver tid kan etterspørre og sende kommunikasjon over nettet. Dersom man benytter master/slave-kommunikasjon vil det ikke være utveksling av kommunikasjon mellom slaveenhetene. Derimot vil all form for kommunikasjon skje via en overordnet master, og slavene kan kun oversende informasjon dersom nettet er ledig.

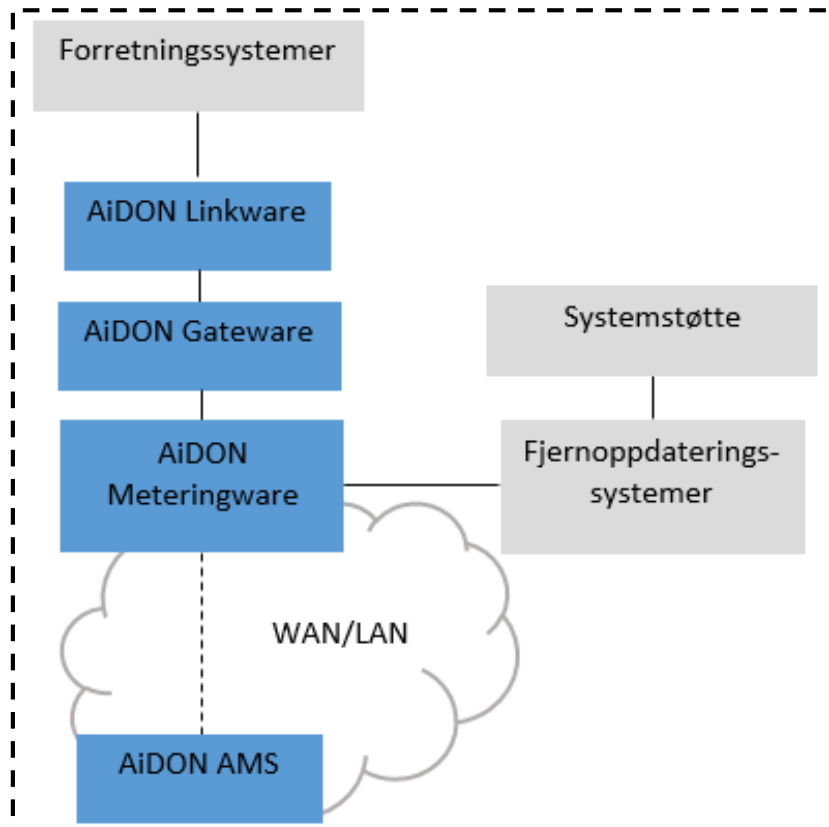
I smarthuslaboratoriet vil det installeres et antall peer-to-peermålere fra AiDON. Fordelen med peer-to-peer målere er at man til enhver tid kan etterspørre informasjon fra de ulike målerne, og motta de med en forsinkelse estimert til under ett halvt minutt. Informasjonen vil altså sendes med jevne tidsintervaller, eller ved forespørsel, fra AMS-enhetene, via GPRS (mobilnettet) inn til AiDONs innsamlingssystem, her vil informasjonen prosesseres og distribueres videre til NTE, hele kjeden vises i Figur 8. Her vil dataen verifiseres ved hjelp av NTEs systemer, Radius og AD, og til slutt lastes opp i NTEs skybaserte løsning hvor kunden selv, eller NTNU og SINTEF Energi i denne sammenhengen, vil ha full innsikt i all informasjon ved hjelp av en klient.

Demo Steinkjer er et nasjonalt prosjekt i regi av NTE (Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk) og The Norwegian Smartgrid Centre [15]. Prosjektet ble startet etter at det ble klart at de norske myndighetene ville pålegge alle strømkunder i Norge å installere smarte strømmålere. Deltakerne i Demo Steinkjer ble dermed blant de første privatkundene i landet med tilgang på de nye målerne. I prosjektet ønsker man å teste ut ny teknologi og nye løsninger i full skala i et naturlig miljø. Formålet med Demo Steinkjer er å redusere effekttopper, flaskehals, pristopper og avbrudd i forsyningen. Smarthuslaboratoriet vil benytte seg av de samme AMS-enhetene og innsamlingssystem som ble benyttet i Demo Steinkjer.

I Demo Steinkjer er omtrent 50 % av AMS-enhetene basert på peer-to-peerkommunikasjon, altså kommunikasjon over tilgjengelig mobilnett (Telenor, NetCom, etc.). Erfaringene er at dette fungerer godt foreløpig, men det er knyttet stor usikkerhet til hvordan det vil fungere i fremtiden når stadig flere enheter må kobles opp mot det eksisterende mobilnettet. Usikkerhetene er særlig knyttet til låsing til operatør, antenner, dekning, kapasitet, driftskostnader og misbruk. De resterende 50 % av Demo Steinkjer-deltakerne har AMS-enheter basert på RF Mesh. Denne teknologien er proprietær, og grensesnittet baseres på WAN. Erfaringen fra Demo Steinkjer er god, men med tanke på at løsningen er proprietær har det medført utfordringer ved feil med tanke på at man ikke har innsyn.

7.2 Leverandør av avanserte måle- og styringssystemer

AiDONs måleenheter kombinerer måler, kommunikasjon, sensorer og prosessering. Målerens hovedoppgave er å måle energiforbruk og generering av måledata. Sistnevnte prosesseres videre til systemmodulen. Ved hjelp av kommunikasjonsmodulen blir måleren koblet sammen med avlesningssystemet, vist i Figur 9, som tilsvarer den stiplede firkanten i Figur 8. Systemmodulen kontrollerer i tillegg måleenheten og utvider dens funksjonalitet. På denne måten kan man få tilgang på timesbaserte målinger, kontrollere belastning og melde ifra om strømbrudd, kvalitet og ekstern statusinformasjon.



Figur 9: AiDONs innsamlingsystem for AMS [16]

Gatewaren leser av måleinformasjonen samtidig som den logger og samler inn informasjon fra de smarte målerne [16]. Denne informasjonen gjøres synlig for forretningsystemene ved hjelp av linkware-enheten. I tillegg benyttes Gatewaren ved oppdatering av AMS-enheten mens den er i drift. Meteringware er en konnektivetsmaskin for effektiv datainnsamling og lagring. Den muliggjør effektiv driverbasert integrasjon av AMS-enheten og Gatewarens avlesningssystem. Meteringwaren gir også grensesnittet for fjernoppdatering og systemstøtten. For å koble AMS-enheten sammen med det overliggende systemet benyttes 2G/3G-nettverk. AMS-enheten består av en måler og en komponent for kommunikasjon.

8 Utforming

Utvikling av smartgridlaboratoriet og forskningsplattformen vil være en tidskrevende prosess som vil pågå frem til 2023. Den fysiske utbygningen av både smartgrid- og smarthuslaboratoriet skal være ferdig i 2018. I oppstartsfasen vil installasjonen i smarthuset være preget av enkle systemer på testnivå. Dermed er også dette fokuset for denne masteroppgaven. Når utviklingen i laboratoriet kommer lengre vil det være naturlig å utvide installasjonen med flere komponenter og dermed også høyere grad samspill mellom komponentene for å oppnå den optimale styringen av huset. Slik vil man både kunne gjøre tester på ulike styringstilnærminger og se på hvordan nyutviklede komponenter agerer på velkjente.

8.1 Styringssystem

Tanken er at smarthuslaboratoriet skal benytte flere styringssystemer som kunne kommunisere med hverandre ved hjelp av en gateway. Per dags dato vil det kun benyttes et system, LonWorks. LonWorks er valgt som system på grunn av deres store utvalg og NTNUs kompetanse. Ved oppstart var intensjonen å kombinere LonWorks med det trådløse styringssystemet ZigBee, men etter samtaler med begge organisasjonene ble det klart at det ikke eksisterte noen gateway mellom disse systemene. Dette stadiet av utbygningen vil dermed kun baseres på LonWorks, men det er grunn til å tro at et trådløst system kan benyttes som supplement i fremtiden. Ved siden av ZigBee har EnOcean i ettertid vist seg å være en svært lovende kandidat, systemet har både et stort utvalg av komponenter og flere gatewaymuligheter, inkludert LonWorks.

LonWorks ble først introdusert i 1988 [17]. Siden den gang har LonWorks blitt et anerkjent styringssystem på verdensbasis, og har i dag status som standard i Europa, USA og Kina. I 2008 ble LonTalk-protokollen i tillegg godkjent for den høyeste internasjonale standarden (ISO/IEC 14908-1) [18]. Mens LonWorks peker til produkter og applikasjoner basert på Lon-teknologien eller produkter som benytter Neuron mikroprosessen er LonTalk Echelons eget navn for ISO/IEC 14908-1 standarden. Begrepet Lon er et akronym for Lokalt Opererende Nettverk («Local Operating Network»). Lon refererer til et intelligent styringsnettverk som fasiliteter kommunikasjon mellom enheter eller noder som kommuniserer med hverandre ved hjelp av et utvalg av medium ved å benytte en, felles meldingsbasert styringsprotokoll. I dag benyttes LonWorks først og fremst til bygningsautomatikk, men teknologien benyttes også til en viss grad innen transport-, medisin- og industrisektoren. Estimer gjort for antallet noder installert på verdensbasis rangerer i millionklassen.

Lon-teknologi benyttes primært for desentralisert prosessering av automasjonsfunksjoner på romnivå [9]. Man kan benytte ulike prosessorer for å skalere systemets ytelse og kapasitet. På automasjonsnivået kan man overvåke, kontrollere og regulere bygningsfunksjoner som for eksempel oppvarming og ventilasjon. Bakgrunnen for å benytte Lon-teknologi på automasjonsnivået er ikke å desentralisere individuelle funksjoner, men å gi et standardisert integrert bussystem.

Terminologien node refererer til en LonWorks-enhet. Produsenter av LonWorks-enheter må overholde LonTalk-protokollen når de designer og utvikler nye smartprodukter [17]. LonWorks-nettverk har ikke behov for en sentralisert styringsenhet, da alle enheter i nettverket kan utveksle data med hverandre. Dette gjøres mulig ved hjelp av selve grunnsteinen i et LonWorks-nettverk, Neuron Chipen (selv om man i teorien kan bruke andre prosessorer, men dette gjøres sjeldent). Denne chipen utgjør et fullstendig system, og inneholder hele LonTalk protokollen, CPU, minne, I/O pinner, kommunikasjonsport, firmware og operasjonssystem. I tillegg til Neuron chipen må en LonWorks-node inneholde en av flere transceivermodeller. Disse modellene skaper grensesnittet mellom Neuron chipen og LonWorks-feltbussen. Transceiverne produseres av Echelon og danner tilkoblingsmuligheter for mer eller mindre alle overføringsmedier, inkludert tvunnet trådpar, kraftlinjer, radiofrekvens, infrarød, koaksial og fiber. Den mest populære og allsidige transiveren er FTT-10 Free Topology transceiver. Den frie topologien tillater et antall stjerne-, løkke- eller buskombinasjoner i et koblingssegment. Hvor et segment tilsvarer en uforstyrret kanal/kobling. Et segment kan inneholde opptil 64 enheter.

Det fysiske mediet som noden er koblet til og transiveren benytter for å kommunisere omtales i LonWorks verdenen som en kanal («*channel*»). Som nevnt støtter LonTalk protokollen flere typer medier eller kanaler, men alle enheter som er tilkoblet samme kanal må kommunisere ved hjelp av samme type transceiver (radiosender og –mottaker). Transceiveren sørger for kommunikasjonsgrensesnittet mellom LonWorks-enheter. I tillegg må enhver LonWorks-node være fysisk tilkoblet en kanal. Den fysiske formen til kanalen er avhengig av mediet, alt fra tvunnet ledningspar til radiofrekvens eller infrarøde signaler. For å utvide kanaler kan man benytte routere, dette gjelder både antall enheter som kobles til kanalen og kanalens rekkevidde/lengde. I tillegg kan routere benyttes til å styre meldingstrafikken over nettverket og for å koble sammen kanaler som benytter ulike transceivere.

Det finnes flere programmerings- og integreringsverktøy spesialutviklet for Lon-teknologien, kjent som LonWorks verktøy («*LonWorks Tools*»). Echelon har to utviklingsverktøy, LonBuilder og NodeBuilder, som gir utviklere muligheten til å programmere sine egne applikasjoner på Neuron chipen. Disse verktøyene benyttes for å utvikle og teste Lon-komponenter. Den gjennomsnittlige brukeren kan kjøpe Lon-komponenter som er klar til bruk med installerte applikasjoner og vil dermed ikke ha behov for disse verktøyene. Echelon har også utviklet LonMaker, som kan benyttes til brukertilpasning og implementering av LonWorks-enheter slik at de kan utgjøre et fullt funksjonelt nettverk [9].

LonWorks protokollen har implementert alle de sju lagene fra OSI modellen. For å forenkle selve rutingen definerer LonTalk-protokollen en hierarkisk metode for å adressere den logiske adressen til hver node. Hver node har sin unike 48-bit Neuron ID som assosieres med det logiske domenet, subnett og noden. Domenet er det høyeste nivået i adresseringshierarkiet. Nodene må være på samme domene for å kommunisere med hverandre, og hver node kan være medlem av inntil to domener. Nivået under kalles subnett, et subnett er en logisk gruppering av inntil 127 noder fra en eller flere kanaler. Hver domene kan ha inntil 255 subnett. Dette betyr at et LonWorks-nettverk kan ha inntil 32 385 noder.

For å sikre at utstyr fra ulike leverandører kan kommunisere med hverandre må nettverksvariablene tolkes på samme måte. LonMark har definert en mengde felles systemvariabler, kalt SNVT («*Standard Network Variable Types*»). Hver SNVT har standardiserte egenskaper som benyttes til å definere variabler som deles på nettverket, dette kan for eksempel være temperatur, spenning, etc.

Distribuert måling, overvåking og kontrollfunksjoner blant lokale, desentraliserte komponenter betyr at man kan skreddersy en mengde løsninger for de enkelte rom. Den desentraliserte arkitekturen gir muligheten til å skape et funksjonelt nettverk ved å koble alle systemene sammen.

I et nettverk basert på LonWorks kan flere installatører utføre endringer til samme tid, uten noen form for konflikter, dette medfører redusert tidsbruk og kostnad [19]. Der eldre nettverk har restriksjoner på kun ett verktøy for systeminstallasjon og vedlikehold, kan man med LonWorks bruke alt fra datamaskiner til mikrokontrollere eller enkle LCD-skjermer. Dersom det er ønskelig kan man i tillegg ha ulikt grensesnitt på de ulike installasjonsenhetene, slik kan man optimalisere installasjonen for de bestemte undersystemene i bygget.

LonWorks komponenter har mulighet for sitt eget sett, samt tilgang til andres, applikasjonstjenester, -egenskaper og -hendelser. Nettverkstjenestene håndterer styring og ruting for å sende anmodninger fra klienter videre til applikasjonene, hvilket tilrettelegger for kommunikasjon på tvers av systemer og komponenter. For sluttbrukeren resulterer dette i at tidligere uforenlige systemer nå kan arbeide sammen, hvilket fører til en mer effektiv drift, bedre resultat og større komfort.

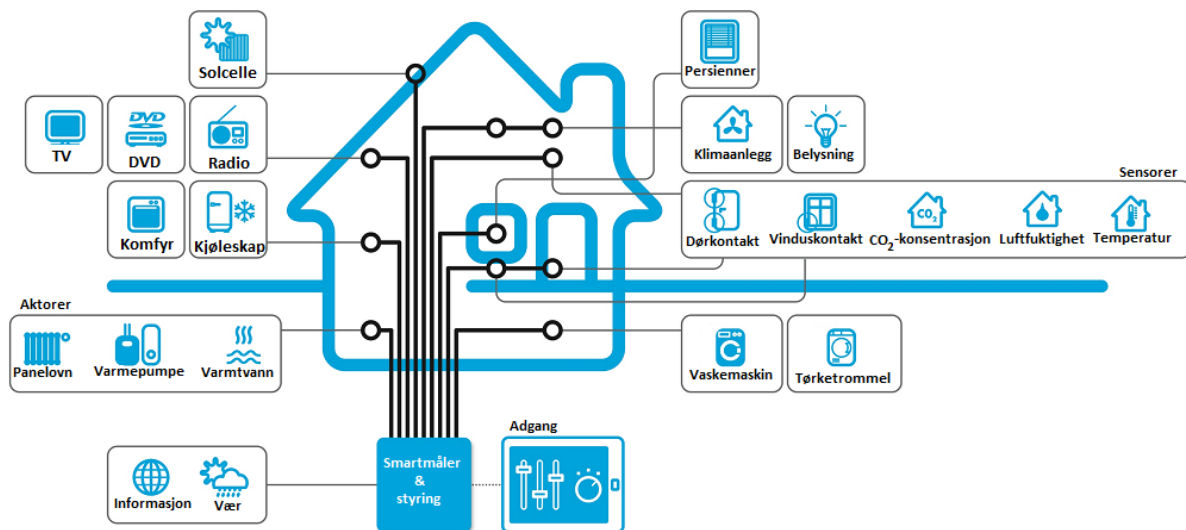
Dersom det oppstår en feil i en del av et LonWorks-nettverk kan man koble diagnostikkverktøy inn direkte ved feilen fremfor å måtte løse feilen fra styringsnivå, hvilket ofte medfører lang nedetid for hele systemet. Som tidligere nevnt kan også flere teknikere jobbe på systemet med ulikt verktøy til enhver tid, hvilket medfører at flere kan jobbe for å løse samme feil. Enhetene er intelligente, hvilket gjør det mulig for produsenten å automatisere feil-detektering, isolering, rapportering og reparasjon av enkle feil.

Komponentarkitekturen til LonWorks definerer et standard objektlag og et sett av grensesnitt. Dette gir utviklere og systemteknikere mulighet for enkel tilgang til databaserte applikasjoner som SCADA («*Supervisory Control And Data Acquisition*»), samt å benytte apparater fra ulike produsenter. I tillegg tillater komponentarkitekturen at utviklere kan ta et objekt skapt for en applikasjon og gjenbruke det i en annen sammenheng. Med denne tilnærmingen får man muligheten til å ta ulike deler av apparatene fra ulike produsenter for så å koble de sammen, for å oppnå det beste resultatet.

I praksis er LonWorks et åpent og ikke-proprietært system, til tross for at noen hevder at Echelons eierskap til Neuron Chipen medfører at systemet må omtales som proprietært.

8.2 Komponenter

Som nevnt vil smarthuset være preget av enkle systemer og et begrenset antall komponenter i oppstartfasen. Fokuset vil være enkle testsystemer basert på ulike sensorer, belysning samt ventilering og oppvarming. Med tanke på at selve smarthuset ikke er ferdig for innflytting per dags dato vil testingen skje på en annen lokasjon og ikke være tilkoblet hverken air condition-anlegg eller panelovner. Alle komponentene benyttet i denne oppgaven er i bestilt fra samme leverandør, Schneider, da de hadde størst tilgang på ønskede funksjoner samt kortest leveringstid. Dette gjør at man kan miste aspekter som kunne vært til stede dersom man hadde benyttet ulike leverandører og produsenter. I tillegg er det nå kun fokusert på LonWorks-komponenter, da det er knyttet usikkerhet til hvilket annet styringssystem man skal benytte seg av. Komponentene som presenteres i dette kapitlet er valgt ut på bakgrunn av deres grunnleggende funksjoner. I tillegg vil flere av komponentene dekke flere bruksområder. Flere mulige komponenter vises i Figur 10.



Figur 10: Mulige komponenter i et smarthus [20]

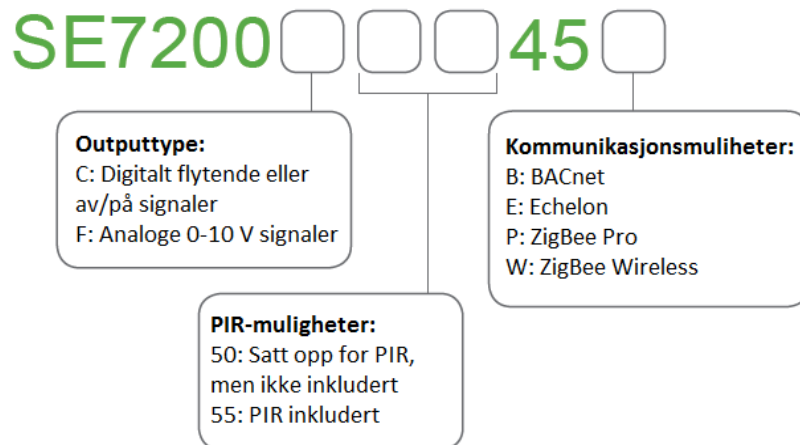
8.2.1 SE7200 serien

SE7200 serien består av sonekontrollenheter som er spesielt designet for å kontrollere oppvarmings- eller nedkjølingsutstyr slik som trykkavhengig VAV-spjeld («variable air volume»). Sonekontrollenheter kan gi av-/påsignaler, flytende eller 0-10 volts likerettet signaler [21]. SE7200 serien baseres på en åpen protokoll, og er kompatibel med BACnet, LonWorks og Zigbee. Alle modellene kan tilpasses ved hjelp av PIR («passive infrared receiver») bevegelsesdetektorer, hvilket sørger for at SE7200-enheten kan overvåke bruksmønsteret og tilpasser styringen ut i fra tilstedeværelsen. Komponentens utforming vises i Figur 11.



Figur 11: SE7200 serien [21]

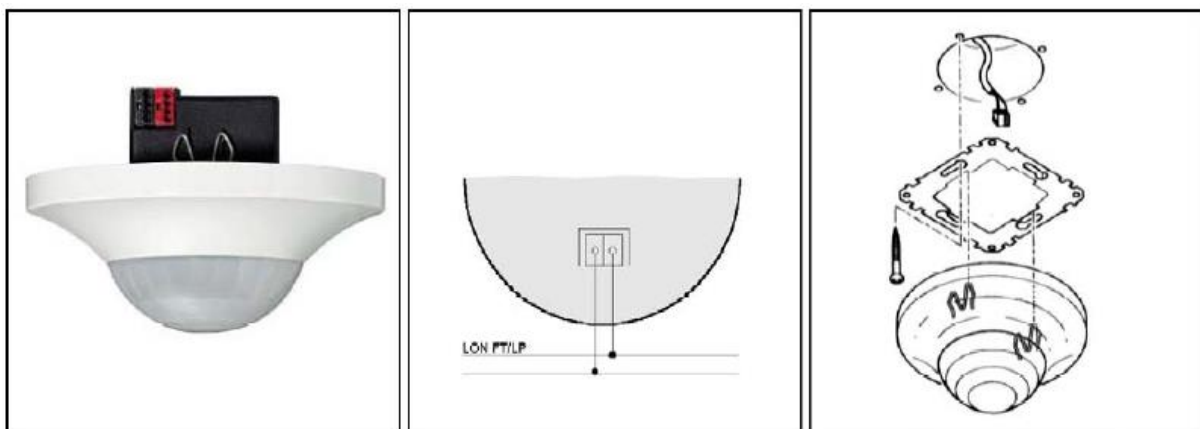
SE7200 serien består av flere ulike enheter. Flere av disse har PIR- og luftfuktighetssensorer. Dette medfører at modellene kan brukes til flere formål, blant annet gjenoppvarming av luft, induksjonsenheter, kjølebafler, gulvvarme, varmekabler og VAV-spjeld. Hvilke muligheter en modell i SE7200 serien har er avhengig av dens modellnummer, i laboratoriets tilfelle er det bestilt en SE7200F5045E-enhet. Hvilket betyr at modellen vil ha analoge 0-10 V signaler, ha mulighet for installasjon av en PIR-enhet og at den er Echelon (LonWorks) kompatibel, som forklart i Figur 12.



Figur 12: De ulike SE7200 modellene [22]

8.2.2 LON Multi-Sensor ILA-22

LON Multi-Sensor ILA-22 er, som navnet tilsier, en multisensor, komponentens fysiske utseende er vist i Figur 13. Enheten er en kombinasjon av tilstedeværelsessensor, lyssensor og infrarød mottaker [23]. Sensoren registrerer tilstedeværelse samtidig som lysintensiteten måles. Sensoren kan benyttes til styring av lys, oppvarming, ventilasjon og air condition. Bevegelsesdetektoren er basert på passiv infrarød metode (PIM), og reagerer på termisk stråling (infrarødt spektrum) fra objekter i bevegelse. Lyssensoren som har en rekkevidde på 10-1000 lx og kan benyttes til å styre installasjoner som påvirkes av dagslys, slik som lyskilder eller lysavskjerming i form av markiser, screens, persiener, etc.

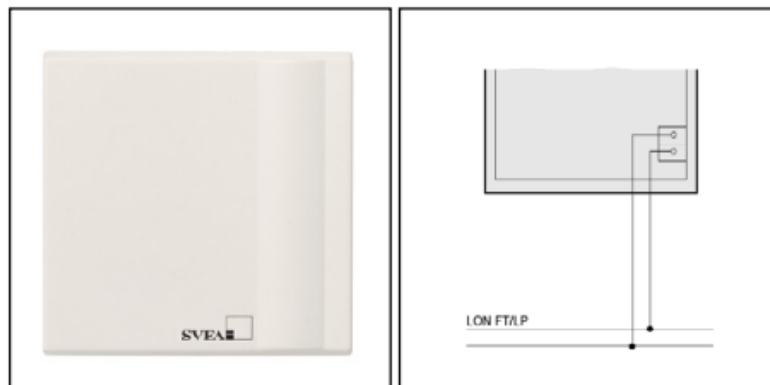


Figur 13: LON Multi-Sensor ILA-22 [23]

Lon Multi-Sensor ILA-22 vil detektere endringer som skjer innenfor en radius på 7 meter dersom den installeres i taket 2,5 meter over gulvet.

8.2.3 LON Indoor Temperature Sensor AP RTS-10

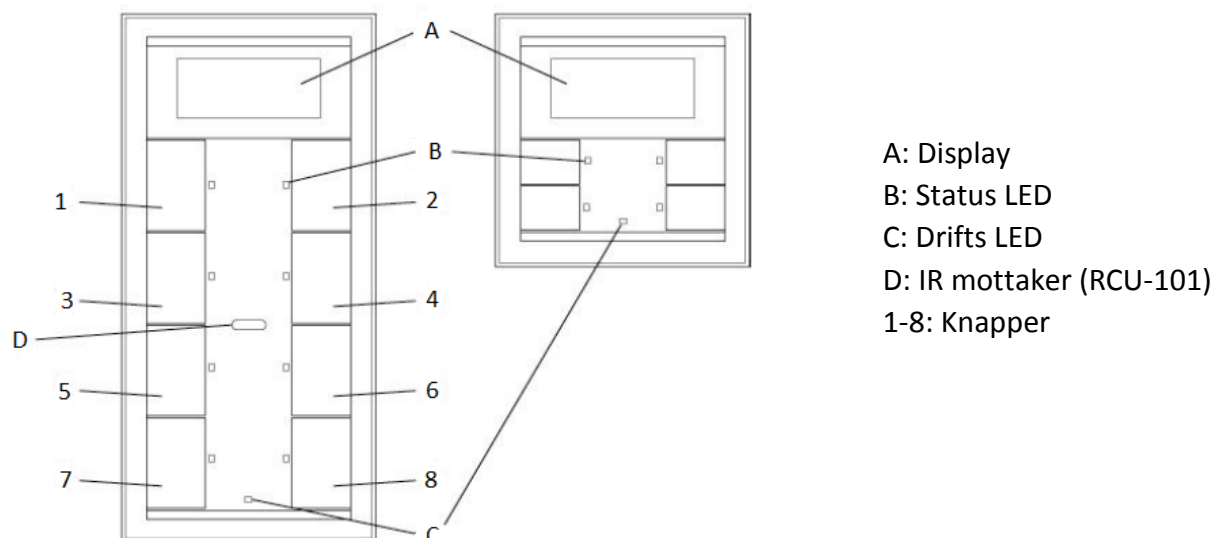
Lon Indoor Temperature Sensor AP RTS-10 er en temperatursensor for innendørs bruk. Sensoren kan benyttes til å styre andre temperaturavhengige enheter, slik som panelovner eller air condition-anlegg [24]. Sensoren har et målerintervall på $-5 \dots +50 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Målingene foretatt av sensoren kan enten sendes til den sentrale styringsenheten i LonWorks-nettverket eller distribueres direkte til andre aktører i nettverket på etterspørsel. Komponenten er vist i Figur 14.



Figur 14: LON Indoor Temperature Sensor AP RTS-10 [24]

8.2.4 LON System-M Room Control Unit

Lon System-M Room Control Unit finnes i to ulike utgaver, RCU-61 og RCU-101 [25]. Forskjellen mellom de to enhetene er at RCU-61 har fire styringsknapper, mens RCU-101 har åtte som illustrert i Figur 15. Felles for begge enhetene er at alle knappene har et LED-lys som signaliserer statusen, nederst på enheten finner man i tillegg et LED-lys som viser hvorvidt enheten er i drift. Til smarthuslaboratoriet er det bestilt en RCU-61 enhet.



Figur 15: LON System-M Room Control Unit [25]

Som Figur 15 viser kan knappene tilskrives ulike funksjoner slik at man kan for eksempel styre, dimme og kontrollere persienner eller belysning. To av knappene benyttes til justering av settpunkt og displayfunksjoner. System-M romstyringsenhetene har i tillegg en integrert temperaturkontrollenhet som medfører at man kan implementere flere styringsmuligheter, slik som oppvarming og kjøling.

8.2.5 LON System-M Temperature Controller

LON System-M Temperature Controller er en kontinuerlig kontroller for oppvarming og kjøling med integrert temperatursensor [26]. Temperatursensoren kan styre enten spjeld eller en koblingsaktuator i kombinasjon med et elektro-termisk kontrollspjeld. Kontrollenheten har to ulike settpunkter for oppvarming og kjøling og LED-lamper for visning av operasjonsstatusen, slik som komfort, standby og nattesenk. Symbolene for de ulike statusene er i tillegg illustrert i Figur 16. Knappen på panelet kan benyttes for å veksle mellom de ulike statusene, og hjulet for å endre settpunkt-verdiene.



Figur 16: LON System-M Temperature Controller [26]

8.3 Muligheter for komponentene

Ved hjelp av de overnevnte komponentene i tillegg til de som allerede er i NTNUs eie vil det være mulig å sette opp enkle systemer for å illustrere noen av mulighetene et smarthus har. Komponentene er bestilt inn først og fremst for å kunne gjøre erfaringer innen styring av varme, ventilasjon og belysning. Grunnet manglende tilgang til systemer innen varme og ventilasjon har komponentene dedikert til dette ikke blitt inkludert i denne fasen av arbeidet. LON System-M Temperatur Controller har kun blitt koblet opp og konfigurert til å ta imot endringer av status samtidig som det ble kontrollert at de innebygde temperatursensorene fungerer.

Ved hjelp av LON Multi-sensor ILA-22 vil man kunne motta signaler som kan benyttes til å styre spesielt belysning og ventilasjon, men som også kan være med å påvirke oppvarmingen. ILA-22 detekterer lysstyrke og tilstedeværelse. Når bevegelse detekteres bør lyset slås på umiddelbart, mens det kan være aktuelt at ventilasjonen aktiveres over tid for å unngå en høy konsentrasjon av CO₂. I tillegg kan ILA-22 benyttes til styring av lysskjerming, slik som elektriske persienner. LON Indoor Temperature Sensor AP RTS-10 er en ren temperatursensor og vil dermed kunne gi ytterligere informasjon til panelovner og ventilasjonsanlegg ved behov for temperaturregulering. Disse to sensorene vil, i samspill med LON System-M Room Control Unit, LON System-M Temperatur Controller og SE7200F5045E-enheten gi mulighet for å koble opp ett svært enkelt system for overvåkning og styring av parametere tilknyttet belysning og temperatur. LON System-M Room Control Unit (RCU-61) gir mulighet for dimming av belysning samt styring av temperatur og ulike stater i huset eller det valgte rommet. LON System-M Temperatur Controller kan benyttes som temperatursensor i tillegg til at den kan styre spjeld. SE7200-komponenten er spesielt godt utviklet for styring av air condition-anlegg da den kan gi både av/på-, flytende- eller 0-10 V signaler.

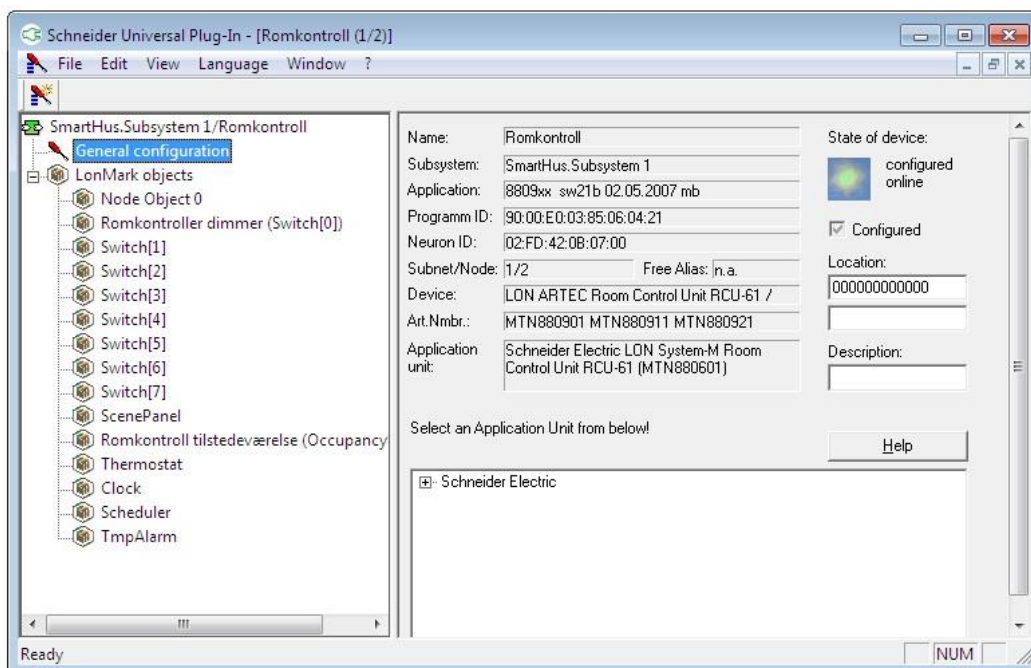
9 Oppkobling

Per dags dato benyttes det området som vil utgjøre smarthuslaboratoriet til lesesalområder. Dermed ble selve oppkoblingen av komponentene gjort på det eksisterende lyslaboratoriet på NTNU Gløshaugen. Dette medførte et par utfordringer, blant annet har man nå ikke mulighet til styring av oppvarmings-, ventilasjon- eller airconditionanlegg. To av komponentene som er bestilt inn, SE7200 og Lon System-M Temperature Controller, kan ikke benyttes til det formålet de er ment for i denne fasen. Det fullstendige systemoppsettet i LonMaker er vist senere, i Figur 25.

LonMaker er en programvare for design, installasjon og vedlikehold av kontrollnettverk basert LonWorks-teknologi. LonMaker kombinerer et klient-server grensesnitt med Microsoft Visio. For å opprette et system må de ulike komponentene først lastes inn, dette kan gjøres på to måter, enten ved å trykke inn service pinen på komponenten eller ved å taste inn det unike ID-nummeret. Når komponenten er lastet inn får man tilgang til de ulike funksjonsblokkene komponenten innehar. En funksjonsblokk er en samling av nettverksvariabler, konfigurasjonsegenskaper og tilhørende oppførsel. Funksjonsblokkene er utstyrt med ulike nettverksvariabler inn og ut. Nettverksvariabler mellom ulike komponenter bindes ved å trekke forbindelser (linjer) mellom funksjonsblokkene.

I øyeblikket er alt av NTNUs eksisterende LonWorks-enheter og -programvare plassert i lyslaboratoriet. Systemene som blir lagt frem i dette kapittelet vil bestå av både nyinnkjøpte komponenter, så vel som eksisterende komponenter fra andre produsenter enn Schneider.

Alle Schneiders komponenter kan enkelt konfigureres ved hjelp av den tilhørende pluginen, vist i Figur 17. Schneider Universal Plug-In gir en grafisk fremstilling av de ulike attributtene, og flere av enhetene kan konfigureres ved hjelp av «drag and drop»-funksjoner. En plugin er en tilleggsapplikasjon for egen programmering og tilpasning av enkeltkomponenter.



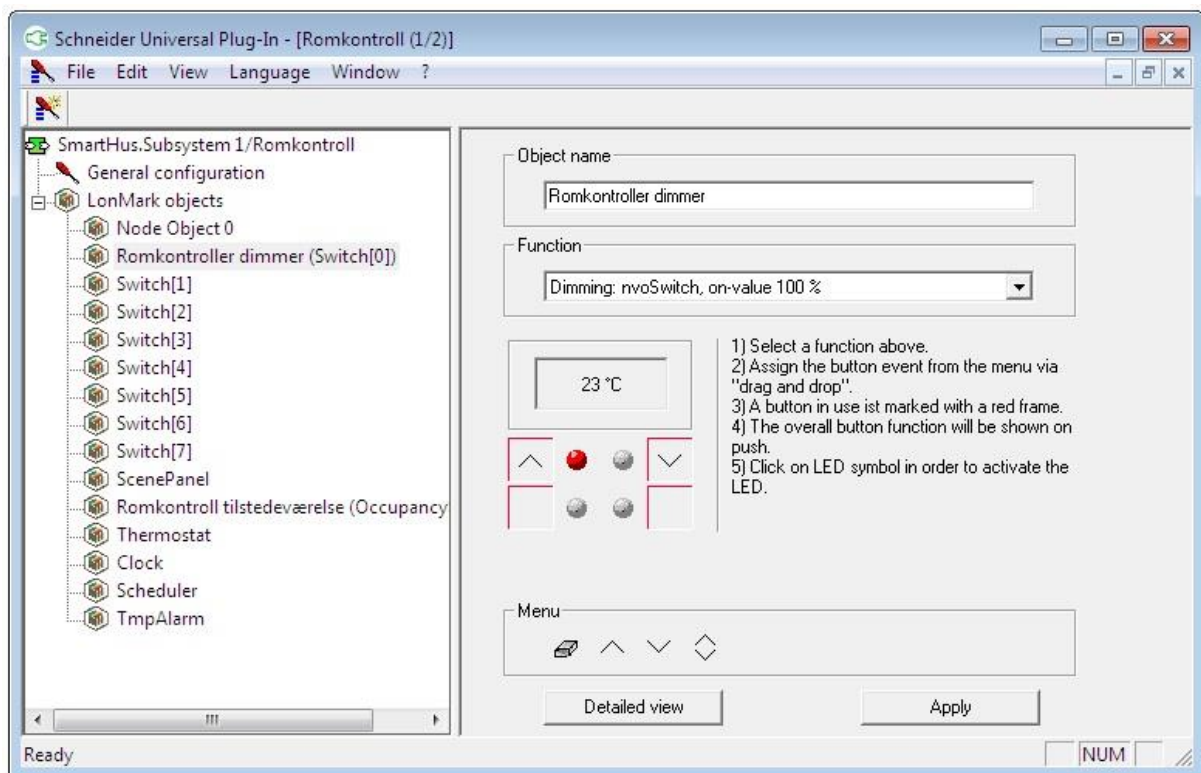
Figur 17: Schneider Universal Plug-In

Grunnet den manglende tilgangen til varme-, ventilasjon-, og airconditionanlegg er det kun koblet opp et enkelt system bestående av LON Multi-Sensor ILA-22, LON System-M Room Controll Unit, en dimmer fra Helvar samt en glødelampe. Systemet har følgende funksjonaliteter:

1. Styring av lys basert på dimming ved å benytte to av knappene på romkontrolleren
2. Styring av lys basert på signaler på både lysnivå og tilstedeværelse fra multisensoren
3. Skifte av global status (tilstede, fraværende eller natt) ved å benytte to av knappene på romkontrolleren
4. Skifte av global status (tilstede eller fraværende) ved hjelp av PIR-detektoren til multisensoren

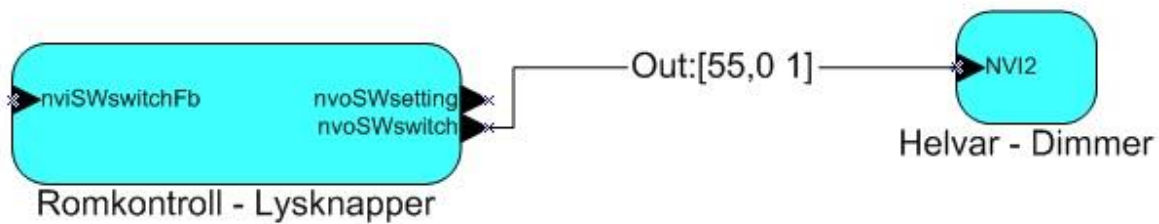
9.1 Lysdimming med knapper

Lysdimmingen løses ved hjelp av romkontrolleren. Kontrolleren har fire knapper som man selv står fritt til å programmere gjennom Schneiders plug in. Romkontroller dimmer (Switch[0]) er gitt funksjonen «Dimming: ncoSwitch, on-value 100 %», dette tilsier at et kort trykk på den venstre knappen vil gi et 100 % pådrag til lampen, mens man ved lengre trykk kan dimme lyset opp. Den høyre knappen sørger for tilsvarende ned-dimming og av-funksjon. Figur 18 viser plug in-funksjonen og de ulike konfigureringene som er foretatt.



Figur 18: Programmering av LON System-M Room Control Unit sine knapper

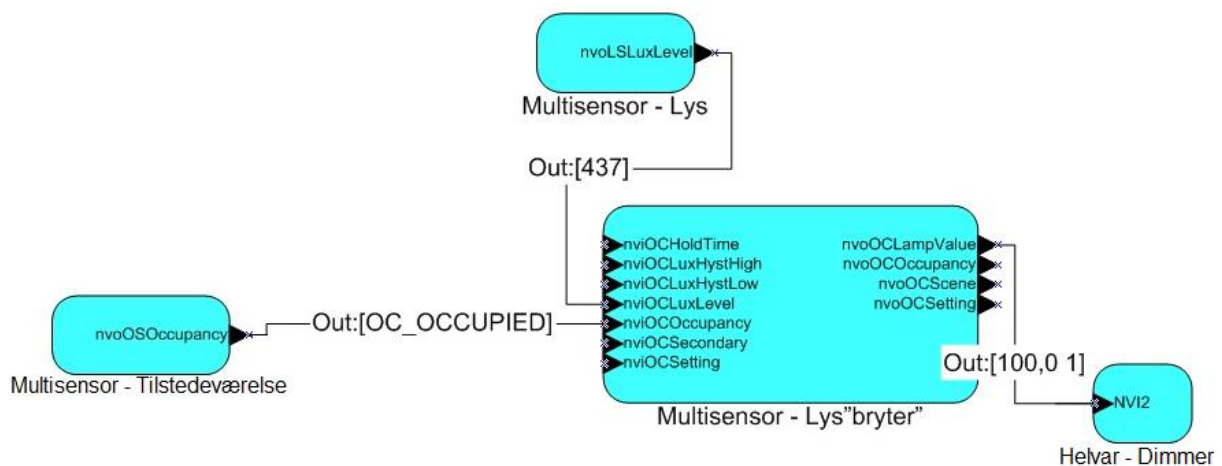
For å koble romkontrollpanelet til lampen er det benyttet en Helvar dimmer. Denne komponenten var allerede i NTNUs eie, og er dermed ikke nevnt tidligere i denne oppgaven. Funksjonsblokken i Figur 19 med navn: Romkontroll – Lysknapper er av typen SNVT_Switch, og tilhører romkontrollerenheten LON System-M Room Control Unit.



Figur 19: Styring av lyset med trykknappene på romkontrolleren

9.2 Lysstyring med multisensoren

Ved å benytte multisensoren er det kun mulig å gi enkle av/på-signaler til lyset. For å oversette fra belyningsstyrken (Lux) og tilstedeværelsessignalene til lyssignal benyttes det en funksjonsblokk av typen Occupancy Control, denne funksjonsblokken har en output-funksjon med navn LampValue med tilhørende SNVT_switch. På denne måten kan lampen styres ved hjelp av bevegelse gitt at belyningsstyrken er under 500 lx.



Figur 20: Styring av belysning ved hjelp av tilstedeværelse- og lyssensor

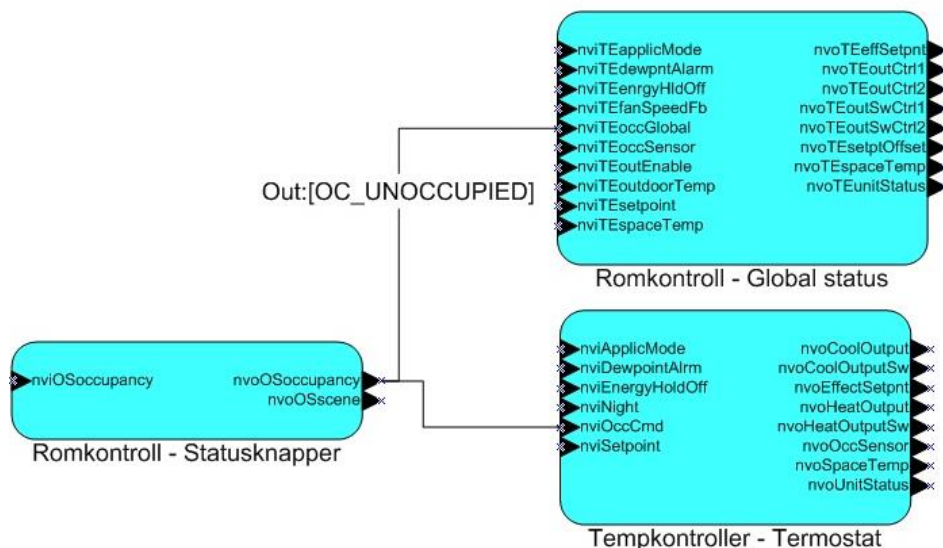
I tillegg til å benytte seg av funksjonsblokken Occupancy Control (kalt Multisensor- Lys"bryter" i Figur 20) må det utføres endringer i funksjonsblokkens konfigureringsegenskaper. Her kan man blant annet endre på når lyset skal slås på som resultat av detektert belyningsnivå. Dette gjøres ved å endre UCPTluxHystLow og UCPTluxHystHigh til ønskede verdier. Browser-vinduet er vist i Figur 21, hvor UCPTluxHystLow og UCPTluxHystHigh er satt til henholdsvis 0 og 500 lx. I tillegg kan man endre tidsintervallet (SCPHoldTime) som bestemmer hvor ofte sensoren skal detektere bevegelse eller endring i belyningsstyrken.

Subsystem	Device	Functional Block	Network Variable	Config Prop	Mon	Value
Subsystem 1	Multisensor	Multisensor - Lys'bryter		SCPTholdTime	N	900,0
Subsystem 1	Multisensor	Multisensor - Lys'bryter		SCPTmaxSendTime	N	0,0
Subsystem 1	Multisensor	Multisensor - Lys'bryter		SCPTprimeVal	N	100,0 1
Subsystem 1	Multisensor	Multisensor - Lys'bryter		SCPTsecondVal	N	50,0 1
Subsystem 1	Multisensor	Multisensor - Lys'bryter		UCP_Type_591	N	010100
Subsystem 1	Multisensor	Multisensor - Lys'bryter		UCPTignoreTime	N	0,0
Subsystem 1	Multisensor	Multisensor - Lys'bryter		UCPTluxHystHigh	N	500
Subsystem 1	Multisensor	Multisensor - Lys'bryter		UCPTluxHystLow	N	0
Subsystem 1	Multisensor	Multisensor - Lys'bryter		UCPTocSceneOutput	N	1,2,3
Subsystem 1	Multisensor	Multisensor - Lys'bryter		UCPToffDelay	N	300
Subsystem 1	Multisensor	Multisensor - Lys'bryter		UCPTonOffFilter	N	FL_NO_FILTER
Subsystem 1	Multisensor	Multisensor - Lys'bryter	nviOCSetting		N	SET_ON 0,0 0,00
Subsystem 1	Multisensor	Multisensor - Lys'bryter	nvoOCLampValue		N	0,0 -1
Subsystem 1	Multisensor	Multisensor - Lys'bryter	nvoOCCoccupancy		N	OC_NUL
Subsystem 1	Multisensor	Multisensor - Lys'bryter	nvoOC Scene		N	SC_NUL 255
Subsystem 1	Multisensor	Multisensor - Lys'bryter	nvoOC Setting		N	SET_NUL 0,0 0,00

Figur 21: LonMakers browser-funksjon

9.3 Skifte av global status med knapper

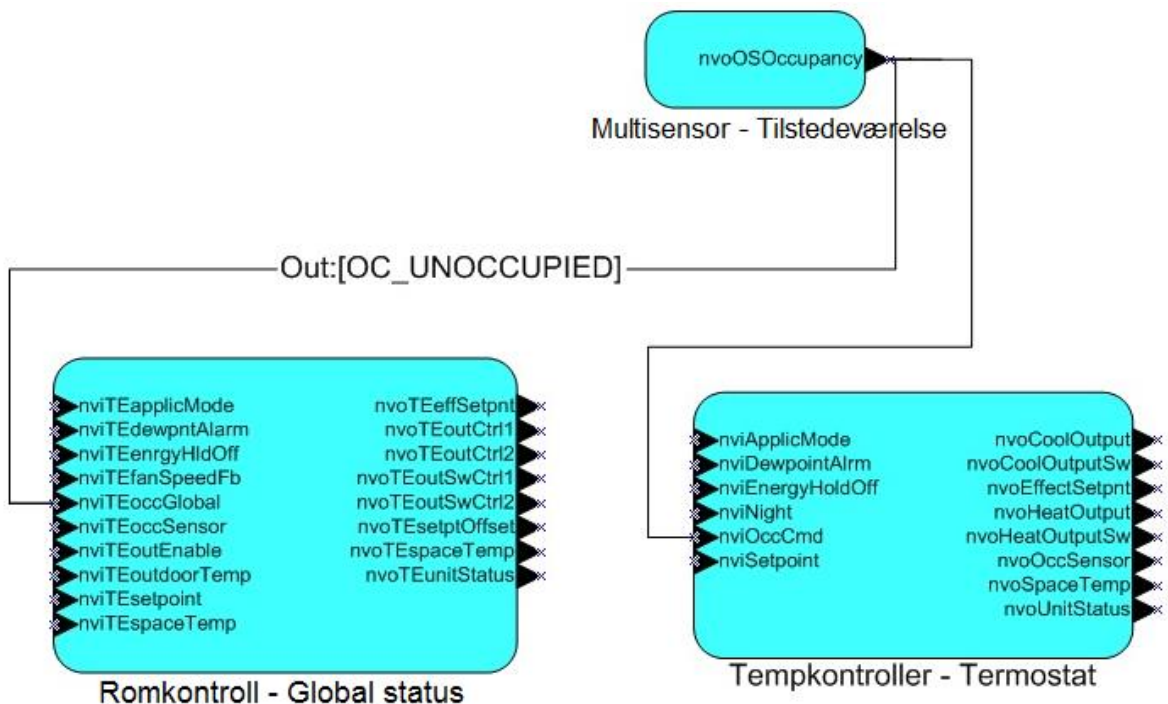
Romkontrollerens to resterende knapper er programmert til å styre den globale statusen i hele systemet. Det finnes tre ulike statuser; Occupied – Hjemme, Standby – Borte og Unoccupied – Nattesenk. For å kunne styre statusen globalt i hele systemet fra romkontrolleren krever dette at man benytter en funksjonsblokk med en global status-input (nviTEoccGlobal). Dette løses ved å benytte en termostat funksjonsblokk fra romkontrolleren, som vist i figur Figur 22.



Figur 22: Styling av global status ved hjelp av romkontrolleren

9.4 Styring av global status med multisensoren

Den globale statusen kan også endres ved hjelp av multisensoren, programmeringen for å få til dette i LonMaker er vist i Figur 24. Dette gjør at statusen i samtlige komponenter endres til «occupied» dersom sensoren detekterer bevegelse. Hvis sensoren ikke detekterer bevegelse vil statusen endres til «standby», eller borte. Multisensoren har med andre ord ikke mulighet til å sette statusen til «unoccupied», hvilket tilsvarer nattesenk. Dette må gjøres manuelt ved hjelp av enten knappene på romkontrolleren eller den ene knappen på temperaturkontrolleren. For å styre statusen ved hjelp av tilstedeværelsessensoren må man benytte termostat funksjonsblokken til temperaturkontrolleren, med mulighet til å ta inn tilstedeværelsessignaler.

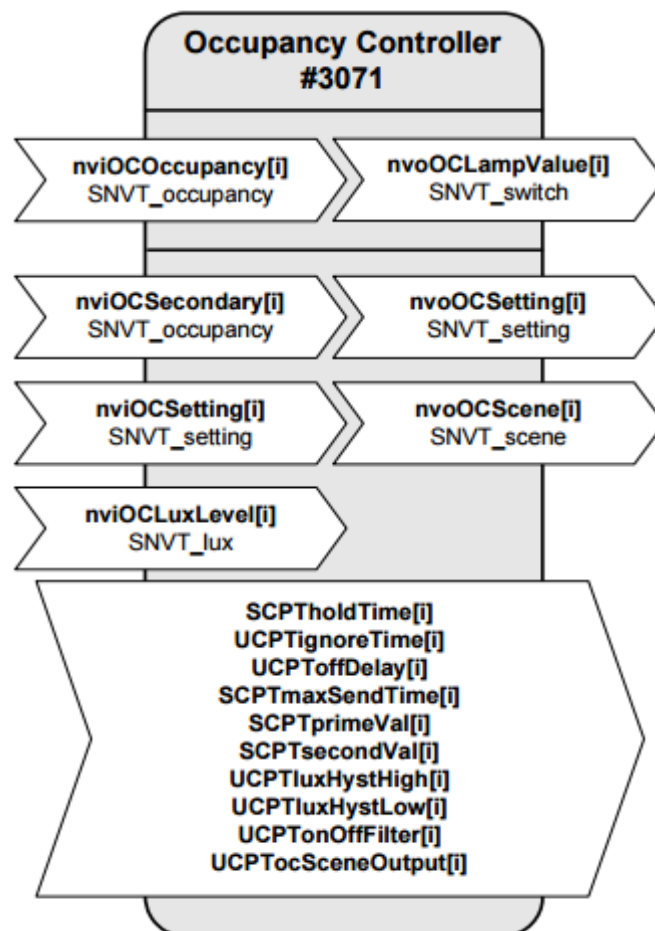


Figur 24: Styring av global status ved hjelp av multisensoren

Fordi det allerede er gjort endringer i browser-funksjonen for å sikre at de ulike signalene fra bevegelsessensoren svarer til riktige symboler på panelene er det ikke nødvendig å gjøre flere konfigurasjoner i dette tilfellet.

Figur 25 viser det totale styringssystemet fra LonMaker. Systemet består av fire ulike komponenter, illustrert ved de grønne elementene. I tillegg til åtte ulike funksjoner, illustrert ved de blå elementene. Sammenhengen mellom de ulike komponent- og funksjonsblokkene er som følgende:

- Romkontroll: LON System-M Room Controll Unit
 - Romkontroll – Global status: «Thermostat», ID: #8060
 - Romkontroll – Statusknapper: «Open-Loop Sensor», ID: #1
 - Romkontroller – Lysknapper: «Switch», ID: #3200
- Helvar dimmer
 - Helvar – Dimmer: «Lamp actuator», ID: #3040
- Multisensor: LON Multi-Sensor ILA-22
 - Multisensor – Tilstedeværelse: «Occupancy Sensor», ID: #1060
 - Multisensor – Lys: «Light Sensor», ID: #1010
 - Multisensor - Lys"bryter": «Occupancy Controller», ID: #3071 (eksemplifisert i Figur 26)
- Temperaturkontroller: LON System-M Temperature Controller
 - Temperaturkontroller – Termostat: «Thermostat», ID: #8060



Figur 26: Funksjonsblokken "Occupancy Controller" [23]

10 Videreutvikling av smarthuslaboratoriet

I denne fasen av arbeidet med smarthuslaboratoriet har fokuset vært på enkle systemer som kan kobles opp på en arbeidsbenk. Dersom et smarthus skal yte til sitt fulle potensial i form av både energisparing og forenkling av hverdagen til beboerne er det essensielt at så mange komponenter og områder som mulig kobles sammen til styringen. Listen over områder og komponenter lagt frem i denne oppgaven viser de vanligste områdene og komponentene. Løsningene vil være aktuelle for folk flest, til tross for at de færreste har så intrikate systemer i dag.

I laboratoriet vil noen av komponentene lagt frem i kapittel 6 falle bort av naturlige grunner, blant annet vil det ikke være noe behov for hverken gressklipper eller vanningsanlegg. Til gjengjeld vil systemet bli mer avansert når det gjelder overvåkning av forbruk og spenningskvalitet. Som tidligere nevnt vil laboratoriet ha effektmålinger på alle enkeltkurser og en Elspec-enhet for måling av spenningskvaliteten. Utover dette skal smarthuset utformes som en normal leilighet, hvilket tilsier at installasjoner som blant annet varmtvannstank, stekeplater, vaskemaskin, tv og annet multimedieutstyr vil ha sin naturlige plass i laboratoriet. Dette medfører at man vil måtte gå til innkjøp av både intelligente og uintelligente løsninger, utfordringen vil sannsynligvis bli å forene de to. I noen av tilfellene vil dette enkelt kunne løses ved hjelp av sensorer og enkle styringssignaler til «dumme» enheter, mens det i andre tilfeller vil være mer avansert å få den ønskede funksjonaliteten. Et eksempel på det sistnevnte kan være varmtvannstanken, en svært effektkrevende last som gjerne har sitt største pådrag i morgentimene under lasttoppen. For å unngå dagens bruksmønster vil man være avhengige av prissignaler, siden lasttoppene på morgenen og kvelden medfører høyere strømpris enn for resten av døgnet. Ved å benytte seg av prissignaler vil man da kunne starte oppvarmingen av varmtvannet tidligere enn det som er praksis i dag. I tillegg er det i dag tydelige signaler for at kraftselskapene i fremtiden vil benytte seg av effektprising, hvilket kan medføre at det blir et stadig større fokus på forskyvning av flyttbare laster, hvor varmtvannsberedning samt oppvarming og nedkjøling av hus vil kunne stå sentralt. For å løse denne problematikken vil en stadig overvåkning av effektbruken i samspill med fjernstyring og tidsstyring av lastene være avgjørende.

10.1 Styringssystem

I fremtiden er målet at smarthuset skal baseres på minst to styringssystem, LonWorks og et trådløst. De trådløse styringssystemene som virker mest lovende per dags dato er ZigBee eller EnOcean, derfor vil det også legges frem noen komponenter fra disse systemene under. Det vil være en diskusjon hvilke funksjoner som bør være basert på henholdsvis det trådløse systemet som blir valgt og LonWorks, det kan virke som om enkle komponenter, slik som brytere til belysning og persienner er de mest åpenbare valgene for trådløs kommunikasjon, i tillegg kan det være gunstig at enkelte løsninger hvor man ikke nødvendigvis trenger intelligens installert helt ut i siste ledd baseres på trådløs kommunikasjon, slik som vindu- og dørsensorer.

10.1.1 ZigBee

Over de siste tiårene har det blitt utviklet og implementert flere trådløse kommunikasjonsstandarder [27]. GSM, WiFi og blåttann er eksempler på de mest kjente. Til tross for dette var det i lang tid mangel på en trådløs standard som kunne benyttes til bygningsautomatikk. På grunn av dette ble ZigBee utviklet. Et åpent, standardisert nettverk som bygger på batteridrevne og billige sensorer, aktuatorer og kontrollenheter som enkelt kan kommunisere på hverandre [27]. ZigBee er et såkalt «local-area» nettverk (LAN) designet spesifikt for automatikkapplikasjoner eller kontrollsystemer som potensielt kan erstatte inkompatible, proprietære løsninger. ZigBee ble utviklet for å tilfredsstille markedets behov for kostnadseffektive, standardbaserte trådløse nettverk som støtter lave datarater, lavt energiforbruk, sikkerhet, robusthet og pålitelighet. For å dekke dette behovet dannet ZigBee alliansen en standardisert applikasjonsprogramvare som et tilskudd til IEEE 802.15.4 trådløse standard. Alliansen arbeider tett sammen med IEEE for å sikre et integrert, komplett og interoperabelt nettverk.

IEEE standarden gir muligheten til å unikt identifisere hver radiomelding i et nettverk i tillegg til metodene og formatet på kommunikasjonen. IEEE 802.15.4 spesifiserer kun peer-til-peer kommunikasjon, og dette er mye av grunnen til at ZigBee utviklet et tillegg til denne standarden.

Selv om ZigBee standarden stadig er under utvikling, finnes det mange ZigBee-applikasjoner på markedet. De mest lovende er:

- Boligstyring: Varme, ventilasjon, air condition, lysstyring og adgangskontroll
- Bygningsautomatikk: AMS, sikkerhet, lysstyring, etc.
- Konsumer elektronikk: Fjernstyring

ZigBee gir muligheter for interoperabilitet for enheter til tross for ulike produsenter, til svært lave kostnader. I tillegg har ZigBee en passende rekkevidde for bygninger, 30-100 meter, samtidig som det er svært lett å implementere eller fjerne nye enheter, med muligheter for mange noder i ett nettverk.

ZigBee alliansen er en global forening bestående av drøyt 200 bedrifter som skaper trådløse løsninger til bruk i hjem samt kommersielle- og industrielle bygg. Bedriftene innad i ZigBee alliansen jobber sammen for å skape et pålitelig, kostnadseffektivt, lavenergi trådløst nettverk, hvor overvåking- og kontrollenhetene baseres på åpne internasjonale standarder. Alliansen er uavhengig, nøytral og ideell, og ble dannet i 2002.

Den første versjonen av ZigBee kom ut i 2003. Til tross for at spesifikasjonene tilsa muligheter for 65 536 noder i ett nettverk, viste det seg at nettverk som nærmet seg denne grensen ble ustabile over tid. Det kom en ny standard i 2006, senere har det også kommet en utvidelse til denne, kalt «ZigBee PRO», senere kjent som «ZigBee Feature Set». Denne utvidelsen maksimerer kapasiteten til ZigBee, samtidig som den sikrer brukervennlighet og avansert støtte for større nettverk.

Nettverksenheter, trådløse eller trådbundene, beskrives av «Open System Interconnection» (OSI) referansemodellen. ZigBees nettverksmodell benytter ikke presentasjon-, sesjon- eller transportlaget fra OSI modellen. Dette medfører at brukerapplikasjoner legges direkte inn i applikasjonslaget.

ZigBee spesifikasjonene identifiserer tre typer enheter som inkorporerer ZigBee-radioer:

- Koordinator (ZC): Organiserer nettverket og vedlikeholder retningstabellene («routing table»)
- Routere (ZR): Kan kommunisere med koordinatorene, med andre routere og sluttenheter
- Sluttenheter (ZED): Kan kommunisere med routere og koordinatorene, men ikke med hverandre

Alle ZigBee produkter består av en ZigBee-kompatibel RF-brikke, mikrokontroller med programvaren, sensor eller aktor samt krafttilførsel.

10.1.2 EnOcean

EnOcean GmbH ble grunnlagt i 2001 og har sine røtter fra Siemens AG [28]. Firmaet var det første til å utvikle selvforsynte trådløse teknologi, og i dag produserer og selger EnOcean vedlikeholdsfrie trådløse løsninger for bruk i bygninger og industrielle installasjoner. Løsningene er baserte på miniaturiserte omformere, lav-energi kretser og pålitelig trådløs teknologi. Ved å kombinere disse tre elementene kan EnOcean og deres partnere tilby sensorsystemer som kan benyttes som en grunnmur i energieffektive bygg. I dag benyttes denne teknologien av mer enn 150 bedrifter og flere hundretusener hjem. Den grunnleggende ideen bak teknologien stammer fra enkle observasjoner: der sensorer registrerer målte verdier er energitilstanden konstant i endring. Når en bryter trykkes på vil temperaturen endres eller lysnivået variere. Alle disse operasjonene genererer nok energi til å overføre trådløse signaler. Fremfor å benytte batterier bruker EnOcean produkter miniaturiserte omformere for strømtilførsel: lineære bevegelsesomformere, solceller og termiske omformere. Dette gir mulighet for å benytte seg av trådløs teknologi under svært ulike omstendigheter.

De trådløse signalene kan benyttes over 315, 868, 902 og 928 MHz frekvensene, hvilket gjør at teknologien kan benyttes over hele verden. Telegrammene som sendes varer kun i ett millisekund med en hastighet på 125 kb/s. For å forhindre overføringsfeil vil alle telegram sendes to ganger med intervall på 30 millisekunder. Alle EnOcean sensorer har en rekkevidde på omtrentlig 300 meter i friluft og inntil 30 meter inne i bygg. I tillegg er modulene utstyrt med et unikt 32-bit identifikasjonsnummer for å sikre at alle enheter i ett nettverk har ulike adresser.

EnOcean-komponenter benytter seg av tre hovedkilder for å sende trådløse signaler: Bevegelse, lys og temperaturendringer. For å benytte seg av energi fra bevegelse benyttes en mekanisk energiomformer, denne omformeren kan for eksempel gjøre om et trykk på en bryter til elektrisk energi [29]. Omformeren baseres på samme prinsipper som en dynamo og

energien er tilgjengelig umiddelbart etter tastetrykket. For å utnytte energi fra lys benyttes et miniatyrisert solcellepanel. Panelet, som maksimalt måler 13x35 mm, vil få tilstrekkelig energi fra normal innendørs belysning. Dermed kan man benytte enheter med solcelleteknologien innendørs og overføre telegrammer ved hjelp av trådløse lav-energi radioer. For å overføre en målt verdi hvert femtende minutt over ett døgn krever det snaut fire timers oppladning med en belysningsstyrke på 200 lx. Utnyttelse av den termiske energien skjer ved hjelp av en termisk omformer, et såkalt Peltier element. Ved en temperaturendring på to grader celsius vil den termiske omformeren kunne generere 20 mV.

EnOcean-protokollen ble innført som en internasjonal standard (ISO/IEC 14543-3-10). Standarden er optimalisert for applikasjoner basert på ultra lav-energi kommunikasjon og energiomforming. For optimal radiofrekvens effektivitet benytter radioprotokollen frekvenser under 1 GHz. Påliteligheten sikres ved at de trådløse signalene maksimalt transmitteres i et millisekund, med en hastighet på 125 kb/s. Selv om den overførte energien kan være opp mot 10 mW, er det kun nødvendig med 50 μ Ws for å transmittre ett enkelt telegram. Dette tilsvarer den nødvendige energien for å løfte ett gram fem millimeter. I tillegg vil alle telegrammer sendes to ganger med varierende intervall. Krypteringen av telegrammene baseres på AES algoritme med en 128-bits nøkkel.

EnOcean har per dags dato drøyt 1100 komponenter beregnet for 868 MHz båndbredde, hvilket er den båndbredden som benyttes i Europa [30]. Dette inkluderer komponenter som:

- Mottakere og kontroller
- Gatewayer og styringsenheter
- Brytere
- Sensorer

10.2 Komponenter

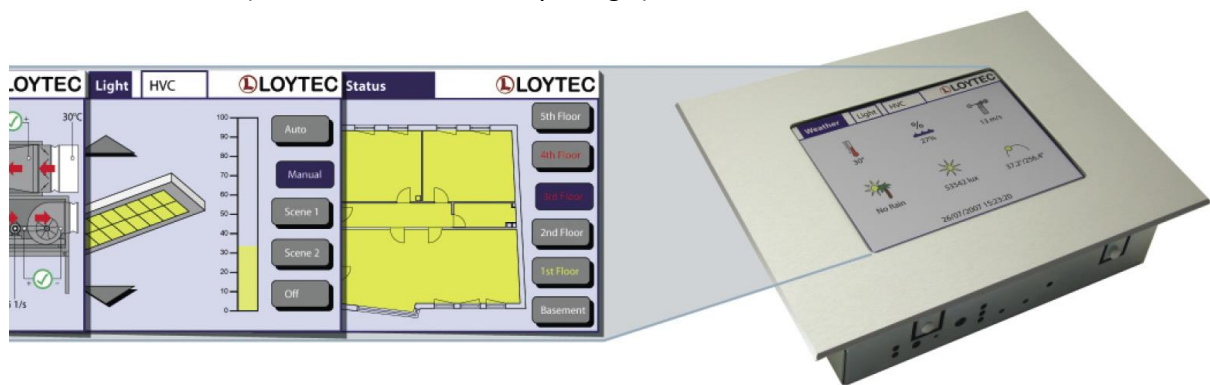
Utover det utstyret som er spesifikt nevnt i beskrivelsen av smarthuset vil være nødvendig å anskaffe til laboratoriet, hvilket innebærer alt fra kjøkkenutstyr, varmtvannstank og vaskemaskin til sensorer og smart belysning, vil det trolig være gunstig å gå til innkjøp av en eller annen form for styringspanel med tilgang til alle installasjonene i huset relativt tidlig. Dette kan løses på flere måter, enten kan man kjøpe et panel som installeres på veggen beregnet for styring, slik som LOYTECs L-VIS panel, eller man kan velge å benytte data, nettbrett og/eller smarttelefon ved hjelp av en webserver.

10.2.1 Styringspanel

L-VIS touch panel er et fleksibelt og lettkonfigurerbart verktøy for fremvisning og styring av data i et smarthus. Panelet kan presentere data i form av numeriske verdier, brukerdefinert tekst eller grafiske elementer, søylediagram, trendlogger eller som en analog måler, som vist i Figur 27 [31]. Panelets grafiske grensesnitt kan lett skreddersys ved å benytte egne symboler eller bilder, i og med at L-VIS har støtte for ulike bildeformater og animerte GIF-filer. Dersom panelet benyttes i et LonWorks-nettverk har det kapasitet for inntil 512 input eller output nettverkvariabler samt inntil 512 destinasjonsadresser.

L-VIS panelet støtter flere grunnleggende styringsfunksjoner, slik som tidsplanlegging, alarmer og trendlogging. Panelet gir mulighet for å generere, levere, kvittere og fremvise alarmtilstander og -logger. I tillegg vil logget informasjon gjøres tilgjengelig for tredjepartsenheter. Trendloggene inneholder grafer samt datasamlinger av verdier og tidspunkter, hvilket kan overføres til en data for videre analyse. I tillegg har L-VIS panelet støtte for matematiske operasjoner, dette gjør at man kan løse vanlige matematiske problemer så vel som boolske.

Dersom det skulle oppstå særskilte problemstillinger i form av verdier utenfor gitte intervaller, slik som for høy temperatur eller CO₂-konsentrasjon, vil L-VIS panelet kunne advare om dette ved hjelp av sin e-post tjeneste. Denne kan fritt konfigureres slik at man mottar mail for ønskede hendelser. L-VIS støtter fjerntilgang til alle funksjonene ved hjelp av en TCP/IP tilkobling. Dette gjør at hele skjermens innhold lett kan vises på PC, smarttelefon eller nettbrett via VNC («*Virtual Network Computing*»).



Figur 27: L-VIS touch panel [31]

10.2.2 Automasjonsserver

LINX-100 og LINX-101 Automation Server CEA-709 er to av mange eksempler på automasjonsservere som vil gjøre samspillet mellom ulike komponenter og områder i smarthuset mulig [32]. Automasjonsserveren gir i tillegg full konnektivet mellom LonWorks, Modbus og M-Bus styringssystemer. Dette løses ved hjelp av både OPC («*Object Linking and Embedding for Process Control*») og en gateway integrert i automasjonsserveren.

Ved hjelp av LINX-100 eller LINX-101 vil man kunne automatisere ønskede funksjoner i smarthuset, for eksempel at persiennene går opp dersom en alarm utløses. Automasjonsserveren gir beboerne muligheten til å lage alle logiske koblinger som må være til stede for at styringen og sammenkoblingen skal fungere som ønsket og visualiserer det hele ved hjelp av et webgrensesnitt. Dette medfører også at behovet for L-VIS panelet bortfaller da man ved å benytte seg av denne løsningen kan få opp visualiseringen på pc, smarttelefon, nettbrett, etc.

L-INX automasjonsservere vil gi muligheten til å styre systemene i huset både lokalt og fra andre lokasjoner så lenge man har tilgang til internett. Uansett hvor man oppholder seg vil

man ha tilgang til alle enheter og deres status, samt de ulike datapunktene. I likhet med L-VIS panelet har også L-INX enhetene mulighet for alarmtilgang, tidsplanlagte operasjoner, trendlogger, e-post tjenester samt en avansert kalkulator. Automasjonsserveren er utstyrt med to Ethernet-porter som kan konfigureres til bruk av serverens indre bryter hvilket vil sammenkoble de to portene, alternativt kan man benytte de to portene til separate IP nettverk. L-INX har i tillegg mulighet for lagring av skreddersydde grafiske sider, dermed kan man selv velge hvordan grensesnittet for styring skal fremstå. Automasjonsserverens fysiske utseende er vist i Figur 28.

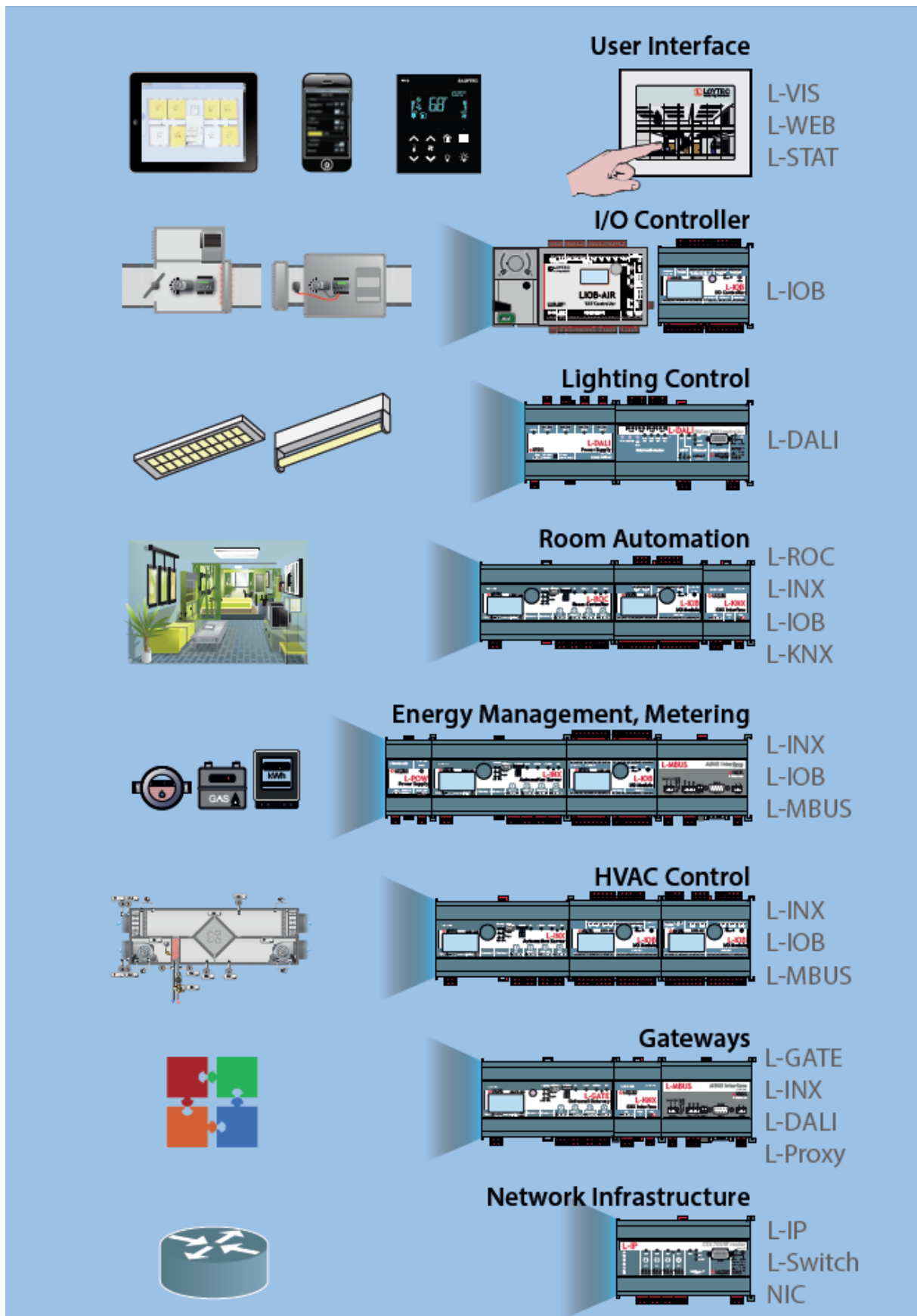
Automasjonsserveren støtter kommunikasjon over både IP og tvunnet tråddpar i et LonWorks-nettverk som vil være ett av laboratoriets styringssystem i fremtiden. I tillegg har L-INX støtte for egendefinerte nettverksvariabler og SNVTs.

Det finnes også andre løsninger på markedet, blant annet har Schneider utviklet en egen automasjonsserver med liknende funksjon, men denne serveren er beregnet på større anlegg og krever en mye høyere grad av ekspertise enn L-INX serveren. L-INX serveren er ment for bruk i boliger og vil dermed være enklere å konfigurere enn mange av de andre, liknende løsningene.



Figur 28: L-INX automasjonsserver (LINX-100/101) [32]

LINX-100/101 har ikke støtte for hverken KNX eller EnOcean slik som de mer avanserte automasjonsserverne fra LOYTEC har, men i løpet av oktober 2015 vil teknologien videreføres til L-INX-102/103. Begge disse serverne vil ha støtte for både KNX og EnOcean. Dersom man ønsker en mer komplisert løsning med mulighet for egenutviklede programmer kan man benytte seg av L-INX-120/121, dette krever at man gjennomgår et kurs i LOYTECs regi. Alle LOYTECs komponenter for styring illustreres i Figur 29.



Figur 29: LOYTECs LonWorkskomponenter [33]

10.2.3 Værstasjon

Somfy har egne værstasjonsinstallasjoner utviklet spesielt for LonWorks-nettverk. Sombys kontrollsystemer består i de fleste tilfeller av en sentral enhet med tilkoblede sensorer i tillegg til egne, dedikerte enheter for styring av motorene i solskjermingsinstallasjonene [34]. Ved å velge et fullstendig system utviklet spesielt til solavskjerming og sensorer for utendørsbruk vil man ofte oppnå en lavere kostnad, enklere planlegging og høyere grad av energibesparing. Ved å bestille et helt system fra en produsent vil man i tillegg være garantert full interoperabilitet. Det også mulig å koble styringen av lysavskjermingen opp mot ulike alarmer samt ventilasjon- og air condition-anlegg.

Ulempen ved å velge et fullstendig system er at disse gjerne vil ha funksjoner langt utover hva som er nødvendig for folk flest. Det eksisterer flere enkle sensorer for utendørsbruk som detekterer sol, vind, regn og fuktighet. Problemet med disse er at det ofte vil medføre større utfordringer i forhold til interoperabiliteten sammenliknet med et ferdig system fra en produsent.

Ved å benytte seg av Somfy animeo LON vil man ha full interoperabilitet mellom hele det utvendige systemet og styringssystemet innad i huset, dermed vil man kunne ha tilgang til overstyring av markiser eller persienner dersom forholdene tilsier det [35]. I tillegg leveres animeo LON med et brukervennlig gresesnitt, slik at beboerne selv kan gjøre endringer på systemet dersom dette skulle være ønskelig.

10.2.4 CO₂ sensor

IAQPoint2 er ett av mange eksempler på CO₂-sensorer som er spesielt utviklet for et LonWorks-nettverk. IAQPoint2 er i tillegg en av kun tre CO₂-sensorer som har sertifisering av LonMark, hvilket garanterer interoperabilitet med alle andre LonWorks-enheter [36].

I likhet med ILA-22 er IAQPoint2 en multisensor. IAQPoint2 er utstyrt med CO₂-, temperatur-, luftfuktighet- og tilstedeværelsessensor. Sensoren er, som man kan se av Figur 30, utstyrt med en touchskjerm hvilket gjør at du kan forta parameterendringer direkte på sensoren. I tillegg fremviser skjermen de gjeldende verdiene for temperatur, luftfuktighet, CO₂-konsentrasjon og tilstedeværelse. Touchskjermen kan passordbeskyttes og har valgfrihet i forhold til hvilke verdier som skal presenteres.



Figur 30: IAQPoint2 [36]

IAQPoint2 har sju ulike funksjonsblokker, blant annet [37]:

- CO2 Sensor (ID: #1070): Denne funksjonsblokken gir mulighet for å presentere CO₂-konsentrasjonen både som SNVT_ppm og SNVT_lev_percent. Prosent-skalaen benytter 2000 ppm som fullskalaverdi.
- HVAC Temperature Sensor (ID: #1040): Denne funksjonsblokken er en ren termostat, den har output i form av: SNVT_temp_p, SNVT_temp og SNVT_temp_f.
- HVAC Relative Humidity Sensor (ID: #1050): Denne funksjonsblokken er en ren fuktighetssensor, den har følgende output: SNVT_lev_percent, SNVT_lev_cont og SNVT_lev_cont_f.
- Occupancy Sensor (ID: #1060): IAQPoint2 er ikke utstyrt med en fysisk tilstedeværelsessensor, dog er det mulig å styre tilstedeværelsen ved hjelp av touch-panelet. Funksjonsblokkens eneste output er SNVT_occupancy, IAQPoint2 har kun støtte for verdiene tilstede og fraværende, og vil dermed ikke kunne bidra til eventuell nattesenk.

I tillegg kommer funksjonsblokkene Relay Output, Virtual Functional Block og Node Object.

En tilsvarende løsning utviklet for EnOcean-nettverk er CO₂-, temperatur- og fuktighetssensoren fra PressacSensing [38]. Under normal drift vil strømforsyningen komme fra solcellepanelet plassert på fronten av enheten, basert på samme teknologi som andre EnOcean-produkter, i tillegg har sensoren mulighet for backup strømforsyning i form av et batteri. Sensoren kan benyttes som et del av et større nettverk til styring av ventilasjon, oppvarming og AC-anlegg.

10.2.5 Kontaktsensorer

Det finnes ingen egne, dedikerte kontaktsensorer innen LonWorks-teknologien i dag, men problemet kan løses ved å benytte en enkel magnetkontakt på ønskede vinduer og dører. Dersom denne kobles til en digital input-enhet vil man kunne motta signaler om hvorvidt dørene eller vinduene er lukket eller åpne. Et eksempel på en slik magnetkontakt er den utenpåliggende magnetkontakten fra Honeywell, som kan plasseres på vinduer og dører med et maksimalt gap på 32 mm i lukket tilstand [40]. Når det gjelder digital input-enheter finnes det flere slike på markedet, blant annet Echelons egne DO-10 Model # 41200 [41]. Denne enheten er svært kompakt og har mulighet for fire digitale output, alle med LED-lamper for statusavlesning. ZigBee på sin side har egne sensorer dedikert til dører og vinduer, et eksempel er NYCES NCZ-3011 dør- og vindussensor, vist i Figur 31 [42]. Sensoren er en kombinasjon av kontaktsensor og radioenhet, hvilket gjør at den kan benyttes i ZigBee-nettverk. Den har et LED-lys for statusovervåking og et batteriliv på inntil 5 år. EnOcean har tilsvarende sensorer, hvorav de fleste baseres på solcelleteknologien til EnOcean.



Figur 31: NYCE dør-/vindussensor [39]

10.2.6 Adgang

Det finnes i dag flere muligheter når det gjelder skallsikring av et hus. Kontaktsensorer vil være en viktig del av dette da man vil kunne overvåke tilstanden til alle husets åpninger. En annen, svært viktig, del av skallsikringen er dørene. NorDan har startet utviklingen av en smartdør med internett-tilkobling [44]. Døren har innbygd kamera, høyttaler, mikrofon, display med ringeklokke til alle beboerne i huset, touchpanel for inngangskode og RFID-mottaker. I tillegg har døren en egen loggbok med oversikt over hvem som har logget seg inn til hvilken tid, med mulighet for varsling når for eksempel barna kommer hjem fra skolen. NorDan er også i gang med utvikling av egne smarte vinduer, ferdig utstyrt med kontaktsensorer og varsling dersom uvedkommende skulle prøve å komme seg inn gjennom vinduet. Per dags dato er NorDans løsninger forbeholdt Smartly-konseptet, hvilket baseres på Z-wave protokollen, men det er grunn til å tro at det i fremtiden vil dukke opp smarte dører og vinduer for andre protokoller på markedet. Inntil videre eksisterer det løsninger for både kamera og kommunikasjon for dører, samt dører som kan fjernstyres over internett. ZigBee har flere smarte låser som kan installeres på normale dører og benyttes til adgangskontroll [43]. Et eksempel, vist i Figur 32, er Smart Door Lock - 365plus, utviklet av Samsung, med ZigBee kommunikasjon. Denne låsen kan til enhver tid overvåkes, og styres ved hjelp av en smarttelefon. Dessuten kan både RFID-brikke og passordkode benyttes. EnOcean har en tilsvarende lås, Olock. Låsen baseres på et biometrisk låssystem og har følgende spesifikasjoner:

- Integrert fingeravtrykkleser i dørhåndtaket
- Teknologien baseres på ZigBee-protokollen, men kan sømløst benyttes i et EnOcean-nettverk
- Mulighet for inntil 500 lagrede fingeravtrykk per lås
- Detekteringstid på ett sekund
- Automatisk åpen ved utløsning av alarm



Figur 32: Smart Door Lock - 365plus [43]

For å importere nye fingeravtrykk er man avhengig av en gateway og software som leveres av produsenten, Biodit.

10.2.7 Belysning

ILA-22 Multi-Sensor som er bestilt har en innebygd belysningsensor, hvilket medfører at man kan justere lysstyrken fra behov. Det viktigste valget innenfor belysningsdelen er hvilket system man skal benytte seg av. DALI og LonWorks er de to mest åpenbare valgene. DALI er en internasjonal standard for styring av lys som gir beboerne full kontroll over belysningen i huset. I kombinasjon med dimmere, tilstedeværelse- og dagslyssensorer kan man oppnå en energibesparing tilsvarende 80 % [45]. Et DALI-nettverk kan bestå av 16 grupper med inntil 64 enheter. DALI gir mulighet til å gruppere flere lyskilder sammen, slik at man kan slå på alt lyset i et rom ved hjelp av et tastetrykk. NTNU har allerede en gateway mellom DALI og LonWorks, dermed er dette en mulighet som kan benyttes i smarthuset. Det finnes også flere styringskomponenter for belysning som går direkte over LonWorks-nettverket, uten behov for gateway, blant annet gjennom Room Control Unit (RCU-61). Både ZigBee og EnOcean har trådløse lysbrytere som kommuniserer med armaturer ved hjelp av en plugin-modul i stikkontaktene.

11 Interoperabilitet mellom styringssystemer

Det er god grunn til å tro at smarthuset i fremtiden baseres på flere styringssystemer enn bare LonWorks, EnOcean og ZigBee har allerede vært nevnt som et mulig alternativ. Dersom to eller flere systemer skal kunne styres ved hjelp av samme grensesnitt kreves det at det settes opp en form for «tolk» mellom de ulike systemene. Dette kan løses på ulike måter, man kan benytte seg av OPC («*Object Linking and Embedding for Process Control*»), en dedikert gateway for direkte oversettelse mellom bestemte systemer eller annen programvare, som for eksempel openHAB.

11.1 Object Linking and Embedding for Process Control (OPC)

Object Linking and Embedding for Process Control kan sees på som en gateway, men protokollen har mulighet for å oversette mellom flere protokoller til enhver tid, hvilket mange andre gatewayer ikke har. OPC er en interoperabilitetsstandard for sikker og pålitelig utveksling av data innen automasjon [46]. OPC standarden er basert på en rekke resifikasjoner utviklet av industrien, sluttbrukere og programvareutviklere. Disse spesifikasjonene definerer grensesnittet mellom klienter og servere så vel som grensesnittet mellom ulike servere, dette inkluderer tilgang til sanntidsdata, overvåking av alarmer og hendelser, tilgang til historisk data og andre applikasjoner. Standarden ble sluppet for første gang i 1996, da var formålet å sammenfatte PLC-spesifikke protokoller (Modbus, Profibus, etc) til ett standardisert grensesnitt som ga SCADA-systemer mulighet til å kommunisere ved hjelp av en «mellommann» som oversatte generiske OPC lese/skrive etterspørsler til enhet-spesifikke, og motsatt. Som et resultat av dette ble det mulig å benytte seg av en rekke komponenter med ulik kommunikasjonsregler sømløst. OPC er de-facto standarden for interoperabilitet innen kommunikasjon i automasjonsindustrien, dette medfører at den i tillegg gjerne benyttes for utveksling av data mellom styrings- og automasjonsnivået i bygningsautomasjon.

Object Linking and Embedding for Process Control Unified Architecture (OPC UA) ble sluppet i 2008. OPC UA er et plattformuavhengig, serviceorientert arkitektur som integrerer alle funksjonalitetene til de uavhengige, åpne protokollene sammen. I 2011 ble OPC UA standardisert av IEC («*International Electrotechnical Commission*») [47]. OPC UA er enkelt skalerbart for ulike miljøer og use caser. Standarden er utviklet slik at nye styringssystemer kan legges til etter hvert som de blir tilgjengelige. Til forskjell fra OPC er OPC UA totalt uavhengig av operativsystem. Den første utgaven av OPC kunne bare benyttes på Windows. Dette gjør at man ved hjelp av en helt vanlig datamaskin eller en enkel Raspberry Pi vil kunne sørge for interoperabilitet mellom enheter som baseres på ulike protokoller. Dersom man velger å benytte seg av L-INX automasjonsserver som er nevnt tidligere i oppgaven slipper man noe ekstraustyr, da OPC UA allerede er integrert i serveren.

11.2 Gateway

Gatewayer kan også benyttes for å sikre interoperabilitet mellom ulike styringssystemer basert på forskjellige protokoller. Med gateway-tilnærmingen benytter hver applikasjon sin naturlige protokoll for å kommunisere med hverandre, med gatewayen som tolk. Gateway-funksjoner gir mulighet for datautveksling mellom ulike kommunikasjonsteknologier. Dette oppnås ved å benytte «koblinger» som kobler alle datapunktene til de ulike teknologiene sammen. Disse koblingene kan inneholde enkle eller kompliserte kalkulasjoner, som sørger for automatisk konvertering mellom punktene. De fleste gatewayer har i skille mellom globale og lokale koblinger, for å effektivisere systemet.

11.3 openHAB

openHAB («*open Home Automation Bus*») sikrer integrasjon for ulike styringssystemer (blant annet KNX og Z-wave) og teknologier (blant annet Samsung og LG TVer) under en enkel løsning. Hvilket gjør at man får et grensesnitt som styrer alle elementene i et smarthus. På denne måten har openHAB svært mange likheter med OPC eller OPC UA. openHAB er designet for å være fullstendig uavhengig av leverandør og protokoll og er basert på en åpen protokoll. Programvaren kan kjøres på alt utstyr som kan kjøre JVM («*Java Virtual Machine*») slik som Linux, Mac eller Windows, systemet kan også benyttes over smarttelefoner (Android og Apple). Målet er å bidra til å løse de vanskelighetene vi står overfor i dag, med stadig flere systemer og teknologier utarbeidet av ulike selskaper og leverandører med ulike kommunikasjonsregler. openHAB prøver ikke å erstatte eksisterende styringsløsninger eller teknologier, men heller å forene dem. Per dags dato har ikke openHAB støtte for hverken LonWorks, EnOcean eller ZigBee, men programvaren er likefult svært effektivt og løser kommunikasjonsproblemer mellom svært mange enheter og systemer.

12 Diskusjon

Det må legges ned mye arbeid før smarthuslaboratoriet kan benyttes som en nasjonal forskningsplattform. I denne oppgaven er det forsøkt å komme med antydninger til hvilke løsninger og komponenter som kan være gode alternativer for smarthuset i fremtiden, samtidig som det er vanskelig å komme med noe fasitsvar da det er mange systemer og et stort antall komponenter på markedet.

Tidlig i denne oppgaven ble det lagt frem ulike områder i et smarthus hvor det kan være ønskelig med styring, enten fordi det er nødvendig eller fordi funksjonen det gir vil gjøre hverdagen lettere for husets beboere. Behovene vil variere fra husstand til husstand og det eksisterer ikke noen fasit for hvilke funksjonalitet et smarthus bør ha. Det som derimot er sikkert er at det vil være nødvendig med kommunikasjon, både mellom de ulike komponentene, men også mellom huset og kraftnettet rundt. Her finner man igjen flere muligheter, både i form av standarder og protokoller.

I smarthuslaboratoriet vil AMS-enhetene leveres fra AiDON, mens NTE står for tilgangen til målerverdiene og innsamlingen av disse gjennom sitt skybaserte system. Dette vil ikke gi laboratoriet noen funksjonalitet utover det som er lovpålagt gjennom forskriftsbestemmelsene til AMS. I et laboratorium vil det være nødvendig med en funksjonalitet langt utover dette, og dermed er flere av funksjonene og komponentene som er lagt frem i denne oppgaven også mer intrikate enn hva et normalt smarthus vil behøve. I et normalt, smart bolighus vil det eksempelvis ikke være nødvendig med en Elspec-måler eller egne effektmålere på alle enkeltkurser. I tillegg er det relativt uvanlig at norske bolighus har installasjoner som ventilasjons- eller airconditionanlegg. Formålet med smarthuslaboratoriet er at det skal kunne benyttes som en nasjonal forskningsplattform for smarthusteknologi. Dermed må også husets funksjonalitet, med informasjonstilgang som den sentrale faktoren, være av høy standard. På lang sikt vil det være utrolig viktig at installasjonene lett kan oppdateres eller skiftes ut, slik at standarden opprettholdes over tid.

Valget av AMS-leverandør falt naturlig da SINTEF hadde tilgjengelige enheter i tillegg til at nye enheter kunne leveres fra NTE på kort tid. Det at NTE i tillegg hadde et innsamlingssystem på plass som kunne benyttes i oppstartsfasen ble det avgjørende aspektet.

Alle komponentene som er kjøpt inn i denne fasen er utviklet av Schneider, grunnen til dette er at utvalget av lagerførte produkter i Norge og Norden er svært dårlig, og av de leverandørene som ble kontaktet var det kun Schneider som hadde komponenter med ønsket funksjonalitet på lager i Nord-Europa. I tillegg ble Schneiders produkter anbefalt av blant annet avdelingslederen for GK Kulde som er godt kjent med de norske LonWorks-leverandørene. Ved å bestille alle komponenter fra en leverandør er man sikret full interoperabilitet til tross for at alle komponentene ikke nødvendigvis har verifisering gjennom LonMark Alliansen. Dette gjør at man unngår problemer som kunne oppstått dersom man hadde forsøkt å benytte komponenter fra ulike leverandører og produsenter.

Med de komponentene som kunne benyttes i dette stadiet er det begrenset hvor komplisert et system kan bli. Systemet som er satt opp vil praktisk sett kun styre lys. Men i og med at det er lagt til rette for statusstyring vil det enkelt kunne utvides til for eksempel styring av ventilasjonsanlegg. Det som i fremtiden skal utformes til smarthuslaboratoriet benyttes i dag som lesesal for studenter. Dette medfører at systemet som omtales i denne masteroppgaven er relativt enkelt, med stort forbedrings- og utvidelsespotensiale. Ikke bare innen styring av smarte komponenter og systemer i huset, men også den generelle styringen av anlegget og mulighet for informasjonsuthenting- og fremvisning. Det sistnevnte vil utgjøre en svært viktig del av et smarthus, laboratorium eller ikke, spesielt hvis formålet er energibesparing. Ved å benytte et styringspanel med direkte tilgang til styringssystemet og komponentene vil man både kunne fjernstyre de ulike komponentene og overvåke energiforbruket dersom man legger til rette for dette. I denne oppgaven er det lagt frem to ulike systemer som mulig løsning på denne utfordringen: L-VIS og L-INX. L-INX kommer i flere ulike modeller, fra de litt enklere LINX-10X, til de mer avanserte LINX -12X. I tillegg til at automasjonsserveren kan benyttes til å programmere ønsket samspill mellom de ulike smarte komponentene kan den også benyttes til å sette opp tidsplanlagte hendelser. Ved hjelp av en webserver vil man kunne benytte pc, nettbrett, mobil eller andre liknende maskiner som styringspanel og dermed også kunne fjernstyre systemet. L-VIS kan i tillegg benyttes som gateway for flere systemer, blant annet LonWorks og EnOcean.

Til tross for at systemet som er omtalt i denne oppgaven er nokså enkelt er det grunn til å tro at flere av komponentene bør kunne benyttes videre i et større og mer komplekst system. Spesielt LON Multi-Sensor ILA-22 og LON System-M Room Control Unit fremstår som komponenter som enkelt kan være en del av større systemer. ILA-22 er en enkel multisensor som kan detektere både tilstedeværelse og belyningsnivå, i tillegg har komponenten funksjonsblokker av typene Switch og Scene panel. Det er benyttet switch-funksjonsblokker i det omtalte systemet i denne oppgaven, men denne er tilknyttet romkontrollenheten. Switch funksjonsblokken tilhørende ILA-22 vil kunne fungere på samme måte. Scene panel funksjonsblokken kan benyttes til å styre statusen i systemet, dette er gjort i det omtalte systemet ved hjelp av en annen løsning. Knappene på LON System-M Room Control Unit kan programmeres til å utføre flere enkle styringsfunksjoner, slik som styring av et belynings-, eller ventilasjonsanlegg samt endring av setpunktverdier til de ulike statusene. Det knyttes en viss usikkerhet til hvor godt denne komponenten virker til styring av ventilasjon, da dette ikke har blitt gjort i arbeidet, men det er grunn til å tro at romkontrollenheten vil kunne benyttes i et større system. Multisensoren har åtte ulike funksjonsblokker, inkludert blant annet Switch, Scene panel, Occupancy sensor, Thermostat, Clock og Scheduler. Sistnevnte gjør at man ved hjelp av komponenten også kan tidsplanlegge ønskede funksjoner i smarthuset. Dersom man skal gå til innkjøp av flere tilsvarende romkontrollenheter kan det dog være en fordel å bestille RCU-101, da denne har flere knapper man kan tilskrive ønskede funksjoner. Når det gjelder de andre komponentene er det vanskelig å si sikkert hvorvidt de vil kunne benyttes når smarthuslaboratoriet står klart. LON System-M Temperature Controller og enheten fra SE7200-serien har flere funksjoner som det ikke har vært mulig å prøve ut i dette stadiet av arbeidet, disse to komponentene er dedikerte til styring av ventilasjon og varme og det vil derfor være nødvendig med tilgang til slike anlegg for å prøve ut funksjonaliteten. LON Indoor

Temperature Sensor AP RRTS-10 er en enkel temperatursensor, til tross for at denne komponenten ikke er benyttet i denne oppgaven er det grunn til å tro at den vil virke i et større anlegg, spørsmålet er heller hvorvidt det vil være nødvendig. Flere av de mer kompliserte komponentene tidligere omtalt har innebygde temperatursensorer, og det finnes i tillegg mutlisensorer som vil gi et bredere spekter av målinger som kan være med på å påvirke for eksempel et ventilasjonsanlegg.

Tidligere i denne oppgaven samt i prosjektoppgaven om smarthuslaboratoriet har det blitt sterkt antydnet at laboratoriet bør ha mulighet for minst to styringssystem. Ett trådbundet og ett trådløst. I prosjektoppgaven ble det konkludert med at ZigBee ville være et godt trådløst alternativ, dette har i senere tid vist seg å være en større utfordring enn først antatt, da det ikke eksisterer noen gateway mellom LonWorks og ZigBee. Dette har også blitt bekreftet av både LonMark og ZigBee Alliansen. På bakgrunn av dette har EnOcean blitt lagt frem som et mulig trådløst system i denne oppgaven. Det eksisterer i dag flere gatewayer mellom LonWorks og EnOcean. L-INX fremtidige modeller, LINX-102 og LINX-103 vil også kunne benyttes når de kommer på markedet i oktober 2015.

For den videre utviklingen vil det være essensielt at man klarer å anskaffe ulike komponenter for å oppnå den ønskede funksjonaliteten i huset. Per dags dato er komponentene, med unntak av Helvar enheten, bestilt fra Schneider. Schneider har norsk brukerstøtte og erfaringen med dette har vært svært god. Samtidig bør man være svært forsiktig med å basere hele smarthuset på komponenter fra en leverandør, da dette kan fjerne noe av diversiteten. Man må være forberedt på at man i fremtiden kan måtte ende opp med å bestille komponenter fra leverandører utenfor Norge for å dekke alle behovene i laboratoriet. Dette gjelder kanskje spesielt dersom man velger å supplere LonWorks med et trådløst system, både ZigBee og EnOcean har færre leverandører i Norge enn LonWorks.

Smarthuslaboratoriet vil utstyres med intelligens som går utover det som kalles normalt. Et spørsmål som dukker opp er hvorvidt man vil klare å anskaffe alle komponentene og utstyret som kreves for å dekke alle behovene. Flere av komponentene beskrevet i denne oppgaven har ikke offisiell sertifisering fra de ulike alliansene tilhørende styringssystemene, dette gjelder blant annet samtlige av komponentene bestilt fra Schneider. Sertifiseringen sikrer at man vil ha full interoperabilitet med komponenter fra andre produsenter, på den andre siden betyr ikke manglende sertifisering at komponentene mangler dette. I dette arbeidet har for eksempel Schneiders produkter operert som ønsket med Helvar-enheten. For å dekke alle behovene i laboratoriet er det mulig at man må fortsette å benytte seg av ulike komponenter uten sertifisering, da dette mangedobler antallet tilgjengelige komponenter. Så lenge de komponentene som anskaffes benytter SNVTs bør ikke dette være et problem.

13 Konklusjon

- Ved utforming av smarthuslaboratoriet er det viktig å fokusere på åpne, standardiserte løsninger og interoperabilitet mellom de ulike løsningene og komponentene. Ved å velge sertifiserte komponenter fra kjente produsenter vil man sikre dette, dette betyr dog ikke at alle komponentene bør bestilles fra samme leverandør. I tillegg bør det fokuseres på enkel utskifting av komponenter slik at man unngår en utdatert installasjon.
- Det er lagt frem et mange mulige samspillsløsninger mellom ulike smarte komponenter i denne oppgaven. Noen av disse kombinasjonene vil være mindre nødvendige i laboratoriesammenheng, mens noen går utover det som er nødvendig i et normalt smarthus til boligformål.
- Dersom smarthuset skal ha to styringssystemer ser det ut til at EnOcean vil være en bedre løsning enn ZigBee. I Europa får EnOcean en stadig større markedsandel og stadig flere produsenter og leverandører går i dag bort fra ZigBee til fordel for EnOcean. Interoperabilitet mellom LonWorks og EnOcean kan løses ved hjelp av en gateway, for eksempel en av løsningene til LOYTEC.
- Komponentene i dagens system vil kunne benyttes i et fremtidig system, enten slik de står eller til andre formål. Schneiders plugin sikrer enkel konfigurering gjennom et mer grafisk grensesnitt enn hva LonMaker tilbyr.
- Systemet lagt frem i denne oppgaven er svært enkelt. Planlegging og utvikling av et smarthus er mer tidskrevende og utfordrende enn et konvensjonelt hus, dette medfører at det er mye arbeid igjen før smarthuset vil bli komplett. Mye av dette arbeidet har vært umulig å gjennomføre i arbeidet med denne oppgaven grunnet manglende tilgang til ulike systemer i det som skal bli smarthuset.

14 Videre arbeid

Som tidligere nevnt i denne oppgaven er det mye arbeid som står igjen før smarthuslaboratoriet på NTNU kan benyttes til en nasjonal plattform for forskning og utvikling av nye løsninger. Resultatet av denne masteroppgaven og den tidligere prosjektoppgaven innen samme felt kan sees på som en introduksjon til det videre arbeidet, hvor det er forsøkt å komme med innspill til veien videre.

For å videreutvikle grunnlaget fra denne oppgaven bør det på et tidlig stadium gis tilgang til området som i fremtiden vil utgjøre smarthuslaboratoriet, slik at man får mulighet til å prøve ut systemer i større skala, inkludert tilkobling til det eksisterende ventilasjonsanlegget dersom dette skal styres internt i laboratoriet. I tillegg bør videreføringen av arbeidet inkludere, men ikke begrenses til:

- Kartlegging av flere leverandører og komponenter
- Utvikling av et styringspanel og mulighet for fjernstyring av prosesser
- Utvikling av støttesystemer for AMS, som diskutert i kapittel 7
- Videreutvikling av styringssystemet utviklet i dette arbeidet

15 Referanser

1. IEC, *Technical Committee No.8 : Systems aspects for electrical energy supply*. 2015.
2. Venjum, A. *AMS - Smarte strømmålere*. 2014 [cited 2014 October 7]; Available from: <http://www.nve.no/ams>.
3. energidepartementet, O.-o. *Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energiloven)*. 2014 [cited 2014 September 14].
4. *The Norwegian Smart Grid Centre*. 2014 [cited 2014 October 7]; Available from: <http://smartgrids.no/senteret/senteret/>.
5. Farhangi, H., *The path of the smart grid*. Power and Energy Magazine, IEEE, 2010. **8**(1): p. 18-28.
6. DemoSteinkjer. *Rapport fra prosjekt DeVID 2014*. 2014 [cited 2015 April 20]; Available from: <https://www.demosteinkjer.no/content/205/Rapport-fra-prosjekt-DeVID-2014>.
7. SSB. *Dette er Norge 2014*. 2014 [cited 2014 December 8]; Available from: <http://www.ssb.no/befolkning/artikler-og-publikasjoner/attachment/188232?ts=1475e7ac938>.
8. Wåge, D., *Bedriftsbesøk hos Lyse*. 2014.
9. Merz, H., et al., *Building Automation: Communication Systems with EIB/KNX, LON and BACnet*. 2009: Springer.
10. Magnussen, I.H., D. Spilde, and M. Killingland. *Energibruk*. 2011 [cited 2014 November 10]; Available from: <http://www.nve.no/global/publikasjoner/publikasjoner%202011/rapport%202011/rapport9-11.pdf>.
11. Enova. *Energieffektiv belysning*. 2015 [cited 2015 April 22]; Available from: <http://www.enova.no/radgivning/privat/rad-om-produkter-og-losninger/styring-og-effektivisering/belysning/energieffektiv-belysning-/106/129/>.
12. Kure, H.M. *Strømforbruk i norske husholdninger*. 2011 [cited 2015 April 22]; Available from: <http://www.sintef.no/globalassets/project/eldek/publisering/stromforbruk-i-norske-husholdninger.pdf>.
13. SSB. *Anmeldte lovbrudd, 2014*. 2015 [cited 2015 April 22]; Available from: <http://ssb.no/lovbrudda>.
14. Line, M.B., G. Johansen, and H. Sæle. *Risikovurdering av AMS*. Kartlegging av informasjonssikkerhetsmessige sårbarheter i AMS 2012 [cited 2014 September 30].
15. DemoSteinkjer. *Om Demo Steinkjer*. 2015 [cited 2015 27 April]; Available from: <https://www.demosteinkjer.no/content/8/Om%20Demo%20Steinkjer>.
16. AiDON. *AiDONs systemmodul*. 2015 [cited 2015 April 16]; Available from: <http://www.aidon.com/no/aidon-ams/>.
17. Consulting, N.B. *LonWorks Fundamentals*. 2003 [cited 2014 November 5]; Available from: <http://www.circon.com/wp-content/uploads/2011/03/LonWorks-Fundamentals.pdf>.
18. LonMark. *LonWorks Technology Achieves ISO/IEC Standardization*. 2008 [cited 2014 November 5]; Available from: http://www.lonmark.org/news_events/press/2008/1208_iso_standard.
19. Lund, J., *The LONWORKS® Network Services (LNS) Architecture Strategic Overview*. USA: Echelon Corporation Doc, 1996(39305).

20. Home, I. *The Smart Home Can Have More Than Just Lighting And Blinds Control*. 2012 [cited 2014 November 11]; Available from: <http://interiordesignable.com/the-smart-home-can-have-more-than-just-lighting-and-blinds-control/>.
21. Schneider. *SE7000 Series Room Controller*. [cited 2015 May 1]; Available from: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/1105/0900766b81105ede.pdf>.
22. Schneider, *SE7200 Series*. 2011: http://www.ops-ecat.schneider-electric.com/cut.CatalogueRetrieverServlet/CatalogueRetrieverServlet?fct=get_element&env=publish&scp_id=Z077&el_typ=rendition&cat_id=BU_BAU_7759_L0_Z077&maj_v=1&min_v=0&nod_id=0000000003&doc_id=H568425&frm=pdf&usg=&dwnl=true.
23. Schneider. *LON Multi-Sensor ILA-22*. 2008 [cited 2015 April 30]; Available from: http://www.schneider-electric.com/download/ww/en/file/9879685-MTN880551_LON_Multi-Sensor_ILA-22.pdf?fileName=MTN880551_LON_Multi-Sensor_ILA-22.pdf&reference=MTN880551&docType=Technical-leaflet.
24. SVEA, *LON Indoor Temperatur Sensor AP RTS-10*. 2006: <http://195.70.43.12/Vista/tech.docu246.pdf>.
25. Schneider. *LON System-M Room Control Unit RCU*. 2009 [cited 2015 April 30]; Available from: http://www.schneider-electric.com/download/ww/en/file/9879693-MTN880601-MTN880621_LON_System-M_Room_Control_Unit_RCU.pdf?fileName=MTN880601-MTN880621_LON_System-M_Room_Control_Unit_RCU.pdf&reference=MTN880601---MTN880621&docType=Technical-leaflet.
26. Schneider, *LON System-M Temperature Controller*. 2009: http://www.schneider-electric.com/download/ww/en/file/9879768-MTN881301_LON_System-M-Temperature_Controller_RTR-51.pdf?fileName=MTN881301_LON_System-M-Temperature_Controller_RTR-51.pdf&reference=MTN881301&docType=Technical-leaflet.
27. Varchola, M. and M. Drutarovský, *Zigbee based home automation wireless sensor network*. Acta Electrotechnica et Informatica No, 2007. **7**(1): p. 4.
28. EnOcean. *Company profile*. 2015 [cited 2015 May 22]; Available from: <https://www.enocean.com/en/company-profile/>.
29. EnOcean, *EnOcean - The World of Energy Harvesting Wireless Technology*. 2015: https://www.enocean.com/fileadmin/redaktion/pdf/white_paper/White_Paper_Getting_Started_With_EnOcean_v1.0.pdf.
30. EnOcean. *Products*. 2015 [cited 2015 May 22]; Available from: https://www.enocean-alliance.org/en/products/search/?tx_f03enocean_pi1%5Bfrequency%5D%5B%5D=868&tx_f03enocean_pi1%5Bsword%5D=&submit=submit&tx_f03enocean_pi1%5Badvanced%5D=&tx_f03enocean_pi1%5Blistview%5D=1&no_cache=1.
31. LOYTEC, *L-VIS LOYTEC Visualization*, LOYTEC, Editor.: https://www.loytec.com/component/docman/doc_download/81-product-catalog-2015-2016.
32. LOYTEC. *LINX-100/101 Automation Server CEA-709*. 2015 [cited 2015 May 1]; Available from: <https://www.loytec.com/products/linux/40-linux-10x>.

33. LOYTEC, *LOYTEC Product Overview*. 2015:
https://www.loytec.com/component/docman/doc_download/81-product-catalog-2015-2016.
34. Somfy. *Conventional technology*. [cited 2015 May 5]; Available from:
http://www.somfy.com/nordic_pro/index.cfm?page=/nordic_pro/home/products/bus_animeo_ib&language=EN-IS.
35. Somfy. *animeo LON*. [cited 2015 May 5].
36. LonMark. *IAQPoint2*. [cited 2015 May 5]; Available from:
https://www.lonmark.org/certifications/device_certification/product_catalog/product_detail?ProductID=1126.
37. Honeywell, *IAQPoint2 Indoor Air Quality Monitor*. 2013:
<http://www.honeywellanalytics.com/~media/honeywell-analytics/products/iaqpoint2/documents/iaqpoint2-manual-eng-rev03.pdf?la=en>.
38. Pressac, *CO2, Temperature and Humidity Sensor Datasheet*, P.C. Ltd, Editor. 2015:
<http://www.pressac.com/datasheets/co2-temperature-and-humidity-sensor.pdf>.
39. Iknowpc. *NYCE Door/Window Sensor*. 2015 [cited 2015 May 16]; Available from:
<https://iknowpc.com/product/nyce-doorwindow-sensor/>.
40. Noby. *Utenpåliggende hvit magnetkontakt, NC*. 2015 [cited 2015 May 7]; Available from:
<http://noby.no/Avdelinger/Innbruddsalarm4/Detektorer/Magnetkontakter/Utenp%C3%A5liggende-hvit-magnetkontakt--NC--MPS20WWG-p0000000011.aspx>.
41. LonMark. *DO-10 Model # 41200*. 2015 [cited 2015 May 6]; Available from:
https://www.lonmark.org/products/product_detail?ProductID=137.
42. NYCE. *Door/Window Sensor*. 2015 [cited 2015 May 16]; Available from:
<http://nycesensors.com/products/ncz3011c4/>.
43. ZigBee. *Smart Door Lock - 365plus*. 2015 [cited 2015 May 16]; Available from:
<http://www.zigbee.org/zigbee-products-2/#zigbeecertifiedproducts/productdetails3/5553fef4f7f0b6063927b3b5/>.
44. NorDan. *NorDan Smart*. 2015 [cited 2015 May 7]; Available from:
<http://www.nordansmart.com/>.
45. DALI. *Benefits of using DALI*. 2015 [cited 2015 22 April]; Available from:
<http://www.dali-ag.org/discover-dali/why-dali.html>.
46. OPC. *What is OPC?* 2015 [cited 2015 May 11]; Available from:
<https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>.
47. Frejborg, A., et al. *OPC UA connects your systems*. in *Finnish Society for Automation, Biannual Seminar no. XX*. 2013.