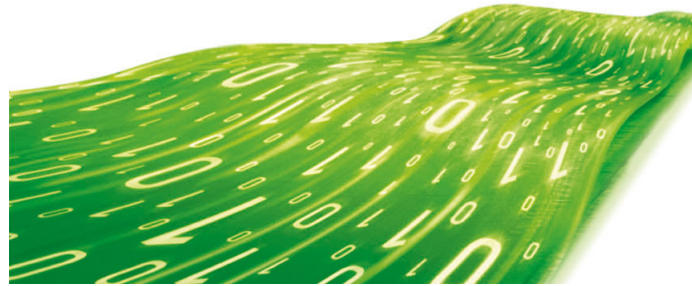


KOMMUNIKASJONSPROTOKOLLER MELLOM AMS OG EKSTERN ENHET



Gruppe 1

Kristian Fauskanger

Stian Standahl

Runar Dahl-Hansen

Christian Overvåg Hjorth



TET4850 EKSPERTER I TEAM

2. Mai 2012

Sammendrag

Innen 1. januar 2017 er det bestemt at alle strømkunder i Norge skal få installert et avansert måle- og styringssystem (AMS) som blant annet gjør at avlesing av strøm foretas automatisk. I den forbindelse har det blitt presisert av NVE at det skal legges til rette for kommunikasjon mellom eksterne enheter og AMS. Hvordan denne kommunikasjonen skal foregå er derimot ikke spesifisert, og NVE har pålagt kraftbransjen selv å komme fram til kommunikasjonsløsninger basert på åpne standarder. Både kommunikasjon mellom AMS og eksterne enheter i huset samt mellom AMS og nettselskap inngår i dette kravet, men vi har i dette prosjektet valgt å rette fokus på hvilken standard som burde tas i bruk for kommunikasjon mellom AMS og eksterne enheter.

Det finnes i dag flere protokoller å velge mellom, hver med sine fordeler og ulemper, og disse må vurderes opp mot hverandre for å komme fram til en standardisert løsning. Teamet har derfor utarbeidet en kravspesifikasjon basert på sentrale krav stilt av NVE og SINTEF i tillegg til sluttbrukers forventninger til AMS-funksjonalitet i et framtidig smarthus. Hvert punkt har fått en vektning fra 1 til 5, og hver enkelt teknologi har blitt gitt en poengsum fra 1 til 3 avhengig av i hvor stor grad de oppfyller kravspesifikasjonen vår.

Rapporten tar for seg seks ulike teknologier med god markedsaksept ved prosjektets start, hvorav to av dem er kablet og fire er trådløs. Disse er vurdert etter hvor godt de oppfyller kravspesifikasjonen og sammenlignet opp mot hverandre før best egnet kommunikasjonsløsning ble funnet. For å få oversikt over de mest aktuelle teknologiene, har vi vært i kontakt med AMS-produsenter og fagpersoner tilknyttet SINTEF samt gjennomført omfattende litteratursøk.

Etter summering har vi endt opp med en hybridløsning bestående av trådløs ZigBee og kabelbasert Green PHY. Jevnt over scoret disse teknologiene bra på de fleste punkt og var aldri direkte svak i noen sammenhenger. Fordi rammeverket for dette prosjektet har satt begrensning i hvor grundig og hvor mange teknologier vi har kunnet ta opp til vurdering, vil det i fremtiden være behov for grundigere analyse av både tekniske egenskaper og kunderforventninger.

Innhold

1	Introduksjon	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Mål og avgrensing	1
1.3	Metode	2
2	Morgensdagens smarthus	3
2.1	HAN arkitekturen	4
3	Kravspesifikasjon	6
3.1	Fra kundeforventinger til kravspesifikasjon	6
3.2	Begrunnelse for hovedkriterier	7
3.2.1	God holdbarhet	7
3.2.2	Dataoverføring	8
3.2.3	Økonomisk realiserbart	11
3.2.4	Lett å installere	11
3.2.5	Åpen standard	12
3.2.6	Lavt strømforbruk	13
4	Kommunikasjonsstandarder	14
4.1	Trådløs	15
4.1.1	Wifi	16
4.1.2	Bluetooth	16
4.1.3	Zigbee	18
4.1.4	Wavenis	18
4.2	Kabelbasert	19
4.2.1	Ethernet	19
4.2.2	Homeplug	20
5	Diskusjon og konklusjon	21
5.1	Trådløst	21
5.1.1	Wifi	21
5.1.2	Bluetooth	22
5.1.3	ZigBee	22
5.1.4	Wavenis	23
5.2	Kabelbasert	24
5.2.1	Ethernet	24
5.2.2	Homeplug	24

5.3	Sammenligning	25
5.3.1	Kabelbaset	25
5.3.2	Trådløst	25
5.3.3	Tabell	26
5.3.4	Summering	27
5.4	Anbefalt løsning	28
6	Videre arbeid	30
A	Appendiks	34
A.1	Kundeforventninger til AMS	34
A.2	Datapakker	35
A.3	Radiobølger og generelle overføringsprinsipper	35
A.4	OSI-modellen	36
A.5	FHSS i Bluetooth	38
A.6	Bluetooth sikkerhetsscenario	39

Fagtermologi

AMS	Avansert målesystem
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BSIG	Bluetooth Special Interest Group
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
EDR	Enhanced Data Rate
EBCDIC	Extended Binary Coded Decimal Interchange Code (8-bit)
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
GPRS	General Packet Radio Service
HAN	Home Area Network
OSI	Open Systems Interconnection model
PLC	Power Line Communication
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
WAN	Wide Area Network
WEP	Wired Equivalent Privacy
Wi-Fi	Trådløs kommunikasjon mellom elektroniske enheter
WPA	Wi-Fi Protected Access



Introduksjon

1.1 Bakgrunn

I Norge er det vedtatt av NVE (Norges vassdrags- og energidirektorat) at innen 1. januar 2017 skal alle husstander få installert en AMS.[1] Det er imidlertid mange problemstillinger som må gjennomgås før dette og andre tilleggsfunksjoner blir realisert. En av disse problemstillingene er hvordan en AMS skal kunne kommunisere med tredjepartsenheter i husstanden¹. Per februar 2012 eksisterer det ingen standard protokoll for kommunikasjon mellom AMS og eksterne enheter i huset. Vurdering av tilgjengelige teknologier er derfor av høy nytteverdi både for nettselskaper og AMS-produsenter. Arbeidsgruppen har bestått av:

Christian Overvåg Hjort - 4 årstrinn Master Datateknikk

Kristian Fauskanger - 4 årstrinn Master Energi og Miljø

Runar Dahl-Hansen - 4 årstrinn Master Elektronikk

Stian Standahl - 4 årstrinn Master Informatikk

1.2 Mål og avgrensing

Denne oppgaven ble utarbeidet gjennom vårt arbeid i emnet TET4850 - Ekspert i Team ved NTNU våren 2012. Kurset er todelt og består av en prosjektrapport og en prosessrapport hvor hver teller 50% på det totale resultatet. Oppgaven i helhet handler om å utnytte de ulike team medlemmenes ferdigheter og kompetanse i et tverrfaglig prosjekt. Problemstillingen vi har jobbet ut fra er som følgende:

¹ Dette ansvaret har NVE lagt til kraftbransjen selv og er noe gruppa vår har valgt å se nærmere på

Vurdering av tilgjengelige overføringsprotokoller som egner seg best for kommunikasjon mellom AMS og eksterne enheter.

Målet med denne rapporten er å kartlegge og vurdere de ulike teknologiene som er aktuelle som kommunikasjonsprotokoll mellom AMS og eksterne enheter. Som nevnt finnes det ingen standard, og vi ønsker i dette prosjektet å komme fram til en anbefalt løsning. Oppgavens relevans og nytteverdi for nettselskaper og AMS produsenter har blitt bekreftet av SINTEF energi ansatte Hanne Sæle og Kjell Sand, og eksterne bedrifter: Landis+Gyr, NVE og Kamstrup. Fordi vårt fokus er på kommunikasjon innad i et smarthus, er det i utviklingen av kravspesifikasjonen ikke tatt høyde for kommunikasjon som foregår mellom et smarthus og et smartgrid.

Det finnes mange tilgjengelige kommunikasjons alternativer, men ut ifra rammevilkårene for dette prosjektet ville det vært for omfattende å vurdere samtlige teknologier. Vi har derfor valgt ut to kablet og fire trådløse overføringer som alle er utbredt og har høy markedsaksept ved prosjektets start. Disse representerer et bredt spekter av aktuelle teknologier når det kommer til overføringshastighet, rekkevidde og strømforbruk. De vurderte overføringsprotokollene er Ethernet, Green PHY, Bluetooth, Wavenis, Wi-Fi og ZigBee (se kapittel 4).

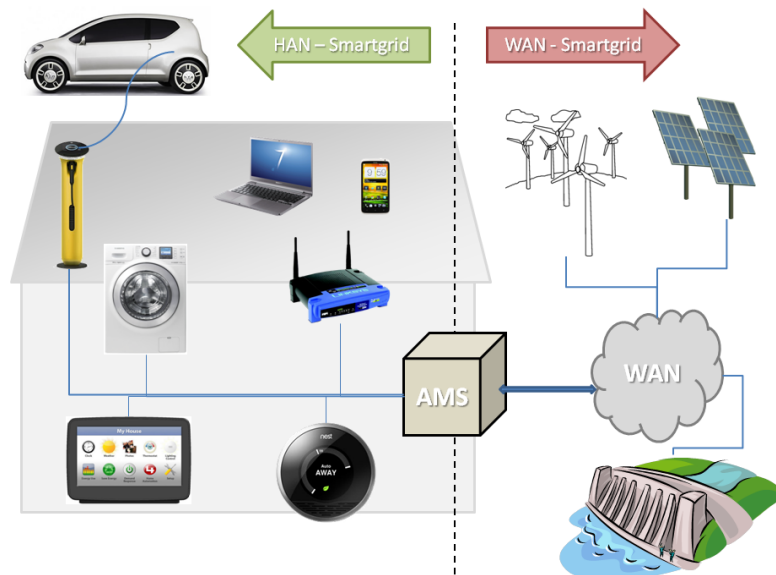
1.3 Metode

Vi som team har utarbeidet en omfattende kravspesifikasjon for vurdering av de forskjellige overføringsprotokollene. Bakgrunnen for denne er SINTEFs rapport “Kravspesifikasjon fullskala utbygging av Avanserte Måle- og Styringsystemer”, THEMAs rapport utarbeidet for NVE[2]: “AMS – tilleggstjenester. Tredjepartstilgang”, og teamets vurdering av forventninger som stilles til et slikt system. Teknologiene som vi anser som aktuelle blir presentert og sammenlignet. Til slutt gir vi vår anbefalte løsning og ser på arbeid som behøves gjort i fremtiden.

2

Morgensdagens smarthus

Som nevnt skal alle husstander i Norge om noen år få installert en smart måler (AMS) som vil erstatte dagens strømmålere i sikringsskapet.[1] Dette er et ledd i å gjøre dagens strømmnett “smartere” og muliggjøre funksjonalitet som ikke er mulig eller tilgjengelig i dag. Med AMS kommer ny funksjonalitet, som automatisk avlesing av strømforbruk, prisinformasjon, momentanforbruk, automatisk styring av apparater og mulighet for kommunikasjon med f.eks. PC eller smarthus.[3]

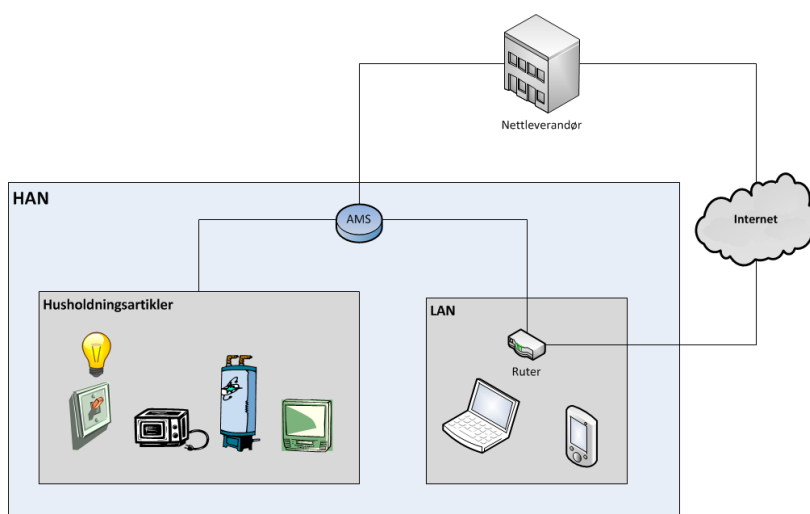


Figur 2.1: Home Area Network

Med innføringen av AMS vil Home Area Network (HAN) vil bli et aktuelt tema. HAN er, i likhet med Local Area Network (LAN), et nettverk med enheter som kan kommunisere med hverandre innenfor et hus. I motsetning til et LAN, er det et større fokus på strømstyring og nettverket er rettet mer mot forbruker elektronikk. I stedet for å koble sammen et nettverk av PCer, printere og servere, er HAN enhetene i stand til å sende og motta signaler fra AMS og display. Dermed er det ikke et direkte fokus på at enhetene skal kommunisere med hverandre, men heller at de skal kunne kommunisere med AMS og motta start/stop signaler samt lære seg parametere som vil øke energieffektiviteten.[4]

Innføringen av AMS vil som nevnt ovenfor føre med seg flere positive effekter. Det er imidlertid flere problemstillinger knyttet til en vellykket implementasjon som ikke vil bli tatt hensyn til i denne rapporten. Disse inkluderer å gi sluttbrukere tilstrekkelig informasjon om teknologien og innføringen, fastsatte kommunikasjonsløsninger mellom smarthus og smartnett, lastprognosering etc. Smarte enheter et utbredt fenomen allerede idag og inkluderer blant annet mobiltelefoner, PCer og nettbrett. "Hverdagslige" enheter som kjøleskap og vaskemaskiner vil i fremtiden også blir smarte, og det er derfor ønskelig å kunne integrere disse med de nye mulighetene AMS medbringer.

2.1 HAN arkitekturen



Figur 2.2: Arkitekturen gruppen ser for seg for HAN

I denne rapporten vil vi ta utgangspunkt i en arkitektur på et smarthus som gruppen har ansett som best egnet for å unngå forskjellige barrierer som kan stoppe kommunikasjonsprotokollen i å fungere optimalt i huset. Det var viktig for oss at arkitekturen skal være mest mulig fleksibel slik at den enkelt kan installeres. Figur 2.2 viser hvordan gruppen ser for seg denne oppbygningen. Denne arkitekturen vil sikre at AMS skal kunne koble seg opp mot internett og kommunisere med dagens IP-baserte nettverk.

Ettersom stadig nye enheter i huset skal kobles opp mot internett, anser vi det som viktig å benytte seg av allerede eksisterende bredbåndstilkoblinger som eksisterer i mange av dagens hus. Samtidig kan kommunikasjonsprotokollen mellom AMS og husholdningsartikler kunne benytte seg av en egen protokoll som er best optimalisert for dette. AMS skal kunne ha en egen løsning for kommunikasjon direkte med nettselskapet. På Hvaler er dette allerede tatt i bruk, hvor Fredrikstad Energi kommuniserer direkte med AMS gjennom ZigBee.[5] Vi kommer ikke til å gå nærmere inn på kommunikasjonen mellom AMS og nettleverandør, siden dette er utenfor vår problemstilling.

3

Kravspesifikasjon

Det essensielle arbeidet når man skal vurdere hvilken teknologi som er best egnet for kommunikasjon mellom AMS og eksterne enheter ligger oppsett av vurderingskriteriene. Vi har i denne valgt en hierarkisk oppbygning hvor seks hovedkriterier videre deles inn i underkriterier og teknologiske krav. Kravene og underkriteriene må oppfylles for å innfri hovedkriteriene.

3.1 Fra kundeforventinger til kravspesifikasjon

Flere informasjonskilder er brukt i utarbeidingen av kravspesifikasjon. I teknisk rapport: “Kravspesifikasjon fullskala utbygging av Avanserte Måle- og Styringssystemer” utgitt av SINTEF Energi september 2011, lyder krav 2 som skal oppfylles: “AMS skal ha et standardisert grensesnitt som legger til rette for kommunikasjon med eksternt utstyr basert på åpne standarder”. Videre presiseres det i krav 123 at arkitekturen skal være skalerbar for å dekke enkle og komplekse bruksområder, være sikkert og ta hensyn til dagens og fremtidens kommunikasjonsmedia.[6] I THEMAs rapport utarbeidet for NVE: “AMS – tilleggstjenester. Tredjepartstilgang” presiseres behovet for en standardisert overføringsprotokoll, og det blir gitt forslag til hvordan et overordnet kommunikasjonssystem kan se ut. På tross av at aktuelle kommunikasjonsteknologier og viktige krav er nevnt, er det likevel ikke i noen av rapportene gjennomført noen sammenligning og analyse av hvilken teknologi som er best egnet for kommunikasjon mellom AMS og eksterne enheter.[2]

I arbeidet med å komme fram til en fullstendig kravspesifikasjon, har vi som team gjennomført analyser av mulige scenarioer som kan oppstå i framtidige smarte hus. Disse er foretatt i plenum, og konfrontert med eksterne kilder for å sikre nytteverdi og relevans.

Noen av kravene fra ovennevnte rapportene ansees likevel som så grunnleggende at de er videreført i vår spesifikasjon som generelle hovedkriterier.

Med utgangspunkt i forbrukerelektronikk tilgjengelig på markedet i dag, har vi videre identifisert forventninger og krav kunder har til ytelse på disse enhetene. Dette inkluderer bl.a. responstid, overføringshastigheter, rekkevidde o.l. (Se tabell A.1). Man kan eksempelvis anta at framtidige kunder forventer det samme av et eventuelt oppmontert display som av et nettbrett eller en smart telefon dag.

Faktiske kundeundersøkelser er ikke gjennomført da nytteverdien av dette er vurdert som ikke tilfredsstillende. Dette begrunnes i at for få smarthus eksisterer i Norge når denne oppgaven har blitt utformet. Skulle man ha sammenfattet en gruppe representativt for hele Norge, og ikke bare regionen Trondheim, ville det krevet en annen type problemstilling enn den vi har valgt å konsentrere oss om i denne oppgaven. En slik undersøkelse ville dessuten mye sannsynlig gått utover prosjektets tidsperspektiv. Dette er imidlertid noe som kan gjøres som et videre arbeid.

3.2 Begrunnelse for hovedkriterier

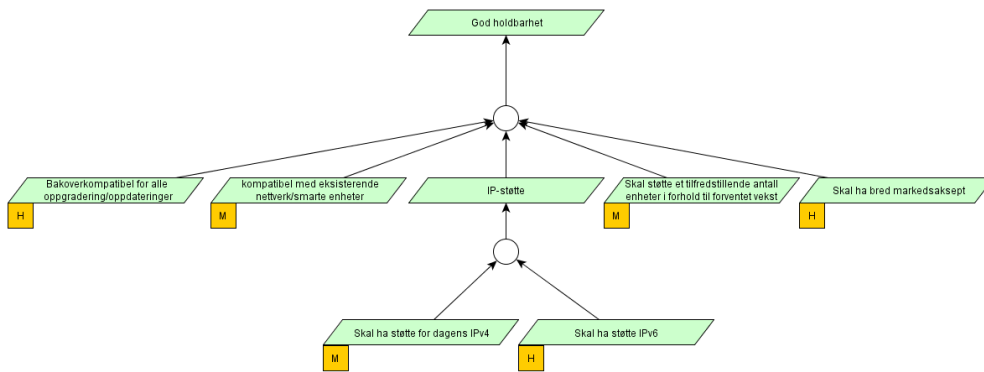
Nedenfor er det gitt begrunnelse for de seks valgte hovedkriteriene i kravspesifikasjonen.

3.2.1 God holdbarhet

Vi har analysert AMS-holdbarhet i et 20 års perspektiv. Teknologit utviklingen har den siste tiden vært svært rask, og utviklingen ser ikke ut til å stoppe med det første. Eksempelvis sier Moore's lov at antall transistorer som får plass på et gitt areal doubles hvert andre år. Dette medfører at f.eks. prosessorhastighet og minnekapasitet i datamaskiner, sensorytelse etc. grovt sett øker eksponensielt.[7] Tendensen er av mange predikert til å holde i flere år fremover og er bare et av flere eksempler på rask teknologisk utvikling i dagens samfunn. Slik utvikling er AMS og kommunikasjonsteknologien nødt til å være rustet for å stå imot for å unngå kontinuerlig utskiftelse av både AMS og andre enheter som benytter seg av kommunikasjonsteknologien. En mulig situasjon kan oppstå dersom AMS leveres med en kommunikasjonsmodul som ikke kan lett skiftes ut. For å tilfredsstille dette har vi satt en del krav under holdbarhets kriteriet.

Under holdbarhet er kommunikasjon mellom nye og gamle versjoner et viktig kriterie. Et illustrerende eksempel kan være en kommunikasjonsmodul som sender data inn i huset med en fart på 10 Mb/s. Hvis denne oppgraderes og modulen i huset ikke er kompatibel med den nye versjonen, kan utskiftning av hele AMS i verste fall bli nødvendig. Et krav om bakoverkompatibilitet må dermed settes for å unngå dette. Skulle det mot formodning bli nødvendig med utskiftning, burde kommunikasjonsmodulen dessuten være lett utskiftbar.

Dataoverføring skal av praktiske årsaker kunne gjøres over eksisterende nettverk i huset, slik som WiFi, strømmnett eller Ethernet. Dette er for lettere å kunne integrere enheter



Figur 3.1: God holdbarhet

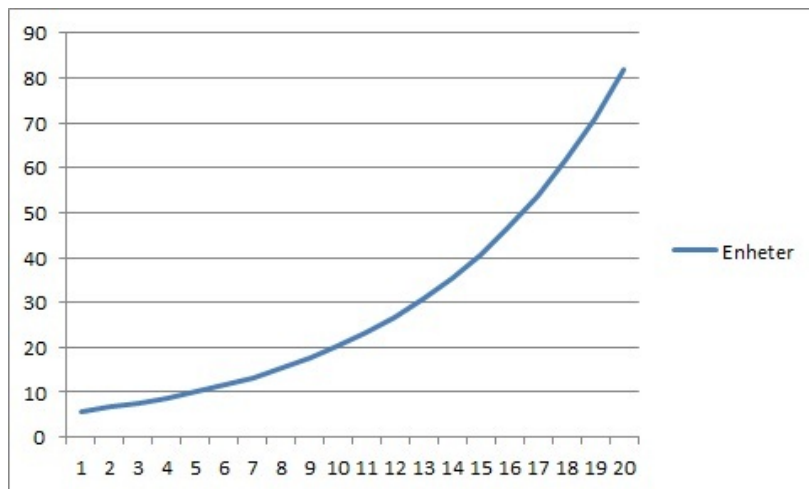
som leveres med samme kommunikasjonsmodul som AMS. Hvis man enklest mulig skal kunne få forskjellige enheter og AMS til å kommunisere med hverandre, er en felles standard en åpenbar fordel.

“Internet of things” er et fremtids-scenario hvor kommunikasjonsteknologien ikke bare åpner muligheten for personer å være online overalt til enhver tid, men også at hverdagslige “ting” også skal kunne være det. Fysiske og virtuelle objekt blir tilordnet en unik radio-tag, en IP-adresse for å kunne lage kompliserte nettverk av enheter og linke disse opp mot hverandre.[8] I et smarthus er scenarioet overhodet ikke usannsynlig da stadig flere enheter kommer til å være sammenkoblet i fremtiden. Å kommunisere på en standardisert måte ved bruk av eksisterende og utbredt teknologi gjør utvikling av enheter som kan brukes sammen med AMS vesentlig enklere. Kommunikasjonsmodulen skal derfor kunne ta i bruk IP og ha muligheten til å konvertere overføringen frem og tilbake mellom aktuell teknologi og IP. Pga bakoverkompatibilitet må det også være støtte for IPv4 på lik linje med IPv6 ettersom det IPv4 er det som i hovedsak er i bruk idag. Årsaken til denne oppgraderingen ligger i at det ikke eksisterer nok tilgjengelige IP-adresser i IPv4.[9]

I fremtiden vil antall enheter som tar i bruk AMS øke. Akkurat hvor mye er vanskelig å spå, men å se på hvordan IPv4 har økt over tid kan være en grei indikator på hvor fort økningen i fremtiden vil skje.[10] I gjennomsnitt har antall IPv4 adresser som har blitt gitt ut hatt en årlig økning på 7,7%. Om vi antar at antall enheter i huset skal ha samme økning og at huset i utgangspunktet har 5 installerte enheter, er antallet 23 etter 20 år. For å ta høyde for en eventuelle endringer i dette tallet, vil det her bli antatt en årlig økning på 15%. Dette vil føre til 81 enheter etter 20 år (se figur 3.2).

3.2.2 Dataoverføring

Med dataoverføring menes toveiskommunikasjon mellom AMS og en eller flere enheter rundt omkring i huset. Systemets overføringshastighet må være tilfredsstillende i henhold til ventet bruk. Fremtidig behov for overføringshastighet kommer til å øke like mye eller mer enn forventet økning av antall enheter i huset. Derfor må hastigheten være



Figur 3.2: Forventet økning i antall enheter sett i et 20 års perspektiv. Vi har her satt en årlig økning på 15% istedet for 7,7% som beregnet, for å ha en god sikkerhetsmargin. Av grafen ser vi at med start på 5 enheter som kommuniserer med AMS idag, ender vi etter 20 år på 81 enheter.

stor nok for å støtte denne økningen. Gruppe 5 i Eit - smartgrids, hadde under prosjektet vært i kontakt med Fredrikstad EnergiNett, og mottatt et datasett med informasjon om faktisk bruk hos EnergiNett kunder. Dette viser timesforbruk i enkelthus over et år. Med bakgrunn i dette settet har en minimal overføringshastighet mellom AMS og en enhet i huset blitt regnet ut. Det har blitt antatt at all tekst overføres som tekststreng og at overføringen skjer 10 ganger i sekundet. 2 byte¹ er antatt per bokstav og stammer fra Javas Unicode standard.[11] Total hastighet kan da regnes ut som følger:

$$H = 8 * s * n * b$$

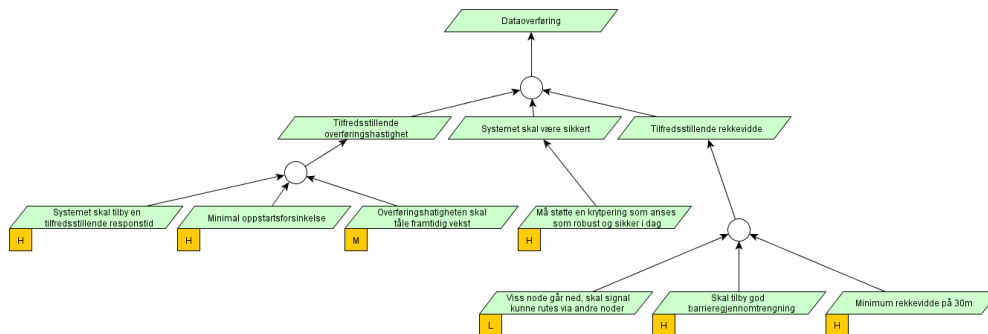
hvor H er minimum overføringshastighet [bit/s], s er antall ganger det skal overføres pr. sekund [sek⁻¹], n er lengden på tekststrengen og b er størrelse pr. bokstav i tekststrengen målt i bytes pr. Sekund [B/bokstav]. Til slutt ganges det med 8 for å få det på bits/sekund. Det er dermed kommet frem til et absolutt minimumskrav på 5,6 Kb/s overføringshastighet mellom AMS og en enhet. Data brukt ligger i tabell A.2 i appendiks. Overføring godt over dette er likevel foretrukket da det fort kan bli behov for store mengder data mellom AMS og eksterne enheter. Fra holdbarhetsperspektivet må systemet derfor være kapabel til å stå imot fremtidig økning i antall enheter som skal kommunisere med AMS. Som en konsekvens krever dette indirekte at systemet burde kunne kommunisere med flere enheter simultant.

Som insinuert i kravet om dataoverføring må systemet være kapabel til å stå imot fremtidig økning i antall enheter som skal kommunisere med AMS. Dette krever at systemet må kunne kommunisere med flere enheter simultant.

¹ 1 byte = 8 bit, byte = B, bit = b

For dårlig overføringsrate kan føre til forsinkelse i systemet ettersom det tar tid før all informasjon har kommet fram. Dette kan igjen føre til at systemets responsevne blir dårligere. Et mulig scenario kan være at en bruker fra et display ønsker å hente informasjon om total eller en enhets momentane strømforbruk. Som argumentert ovenfor forventes det at systemet skal respondere umiddelbart. Lang responstid er da et mulig irritasjonsmoment og et incentiv for en kunde å ikke ta i bruk systemet.

Tiden det tar før en enhet er i operasjonell tilstand er også en viktig faktor som kan føre til dårlig responstid. La oss si at kommunikasjonsmediet som styrer lysene er i strømsparende modus. Hvis en bruker ønsker å kontrollere belysningen fra et eventuelt display, må mediet komme i operasjonell tilstand før kommunikasjon er mulig. Dersom en bruker ender opp med å vente i la oss si 5 sekunder før noen lysforandring merkes, er dette et argument for ikke å ta i bruk AMS.



Figur 3.3: Dataoverføring

Datasikkerhet er en viktig faktor når et overføringssystem skal innføres. En bruker ønsker naturligvis ikke å bli overvåket og at andre kan ha tilgang til mulig sensitiv informasjon. Når protokollen tas i bruk, forventes det at systemet er sikkert, noe som igjen fører til støtte for en kryptering som er minst like robust og sikker i dag. Det finnes flere eksempler på hacking av datasystemer, og et slikt scenario er gitt for Bluetooth i appendiks A.6.

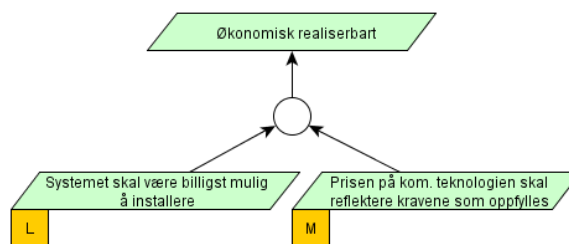
Rekkevidde for overføring er naturligvis også en viktig faktor. Brukere må kunne plassere AMS og eventuelle eksterne enheter hvor de måtte ønske i huset og forvente at kommunikasjonen derimellom går smertefritt. Husets geometri og oppbygning blir da selvsagt en utfordring for teknologien, og en støtte for svært lang rekkevidde utendørs blir derav ikke tilfredsstillende dersom vanlige innendørs objekter ødelegger for kommunikasjonen. En rekkevidde innendørs minimum på 30 meter og tilfredsstillende grad av veggjennomtrengning er derfor satt som krav til teknologien.

Eventuelle strømrubd på noen enheter skal ikke gå utover kommunikasjonen mellom andre enheter og AMS. For å muliggjøre dette, må datatrafikken kunne rutes gjennom oppegående enheter for å kunne nå fram til aktuelle punkt.

3.2.3 Økonomisk realiserbart

For at private kunder og leverandører skal være villig til å ta i bruk kommunikasjons-teknologien, burde systemet være økonomisk realiserbart. Dette innebærer at man som kunde ikke skulle være nødt til å betale store summer for å ta i bruk systemet. Dette kan f.eks. være dyre kabler og installatør for å legge disse, spesiellagede sendere/mottakere som må monteres hver kommunikasjonsenhet, dyrt tilleggsutstyr for å gjøre teknologien i stand til å benytte eksisterende infrastruktur etc. Om det er leverandør eller kunde som skulle ende opp med å måtte betale for dette, er det uansett viktig at prisen på systemet ikke blir for stor. Det er ikke satt en øvre eller en nedre grense på hvor mye det skal koste å installere siden det er uvisst hvor mye det koster for hardware og hvor mye det koster for selve installasjonen.

Prisen på teknologien skal reflektere det utbytte man faktisk oppnår. Dersom det for eksempel skulle vise seg å være vanskelig å tilfredsstille alle kravene som er satt ved hjelp av en teknologi, skal ikke prisen på systemet representere være på høyde et produkt som kanskje oppfyller samtlige tilfredsstilte krav.



Figur 3.4: Økonomisk realiserbart

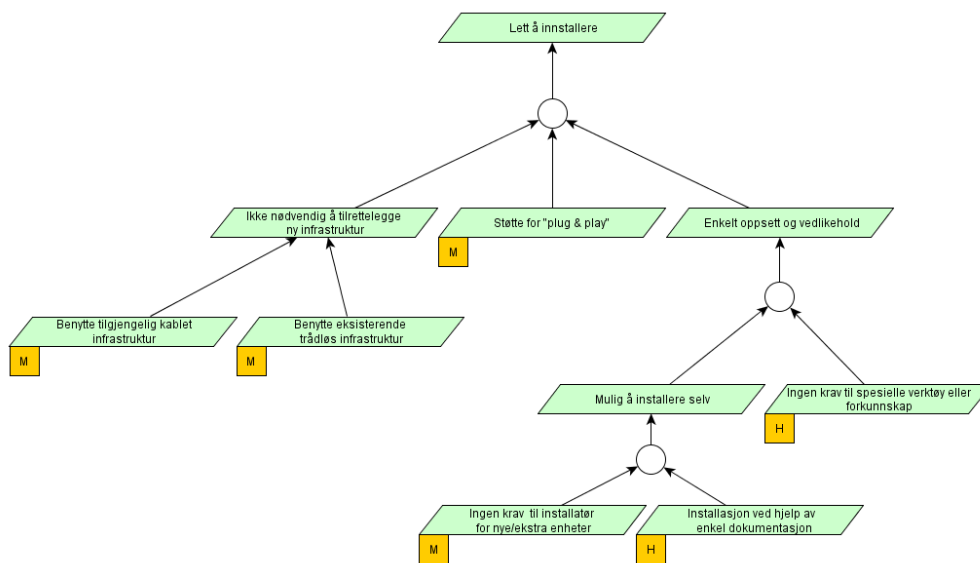
3.2.4 Lett å installere

Et incentiv for å utnytte mulighetene tilbudt av AMS og eksterne enheter er at man enkelt skal kunne installere systemet og fort komme i gang med å bruke det. Mange system er i dag svært brukervennlig, og installasjon av smarte enheter i hjemmet må ikke medføre en omfattende prosess hvis flest mulig skal orke å benytte seg av et slikt system.

Ved systeminstallasjon skal det ikke være nødvendig for kunde å tilrettelegge ny infrastruktur. Med et kabelbasert system som eksempel kan oppsett av nye kabler fort koste både tid og penger, samt kan kreve at man må sette seg inn i mye bakgrunnsstoff selv. Noen kan til og med måtte benytte seg av installatør for å få systemet opp å gå. Dette er en prosess som raskt kan sette en stopper for kunder som er litt i tvil på om de vil ta i bruk systemet eller ikke. For å kompensere for dette har vi satt et krav om at teknologien skal kunne benytte seg av infrastruktur som allerede er installert. Dette kan eksempelvis være å benytte Power Line Communication (PLC) for å kommunisere med enheter gjennom et allerede installert strømnett. Tilgjengelig trådløs teknologi kan også taes i

bruk. Da 83% av Norges befolkning har installert bredbånd i hjemmet per 2010²[12], kan f.eks. WiFi også være en infrastruktur som burde tas i bruk.

Som en naturlig følge av ovenstående avsnitt, har vi også satt krav til at systemet enkelt skal kunne settes opp og vedlikeholdes av kunde. Et krav om at systemet skal kunne settes opp ved hjelp av enkel dokumentasjon uten behov for spesielle forkunnskaper eller verktøy kommer derfor under dette kriteriet. Mange grensesnitt baserer seg i dag på “plug and play” som innebærer at en enhet skal kunne gjenkjennes og brukes av et system uten konfigurasjon. Da konseptet allerede er, og kommer til å bli stadig mer utbredt, er det i dag ofte forventet av en bruker at en enhet skal fungere av seg selv bare ved å plugge den inn i det aktuelle systemet. Vi har derfor satt et krav om at kommunikasjonsmodulen skal ha støtte for dette.



Figur 3.5: Lett å installere

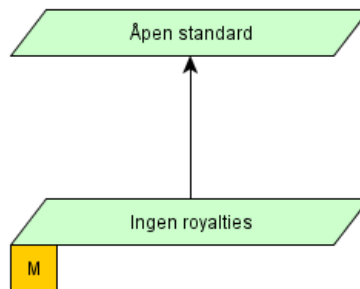
3.2.5 Åpen standard

At en standard er åpen, innebærer i Europa at teknologien er tilgjengelig for offentligheten for bruk og utvikling. Standardens spesifikasjoner skal være lett tilgjengelig enten gratis eller mot å betale en liten avgift samt at teknologien skal være opprettholdt av en null profitt-organisasjon. Dette skal sørge for konkurranse i markedet og at mange aktører tar del i å utvikle teknologien.[2] Royalties er her en avgift som må betales for å få rett til å kunne benytte seg av en teknologi utviklet av et annet selskap. Denne er typisk en prosentandel i forhold til pris på enhet som tar i bruk den aktuelle teknologien.[13]

Kravet om åpen standard er en videreføring av NVEs krav om at “kommunikasjonen mellom AMS og eksterne enheter skal være basert på åpne standarder”. For at markedet

²Et tall som lite sannsynlig har blitt mindre med årene

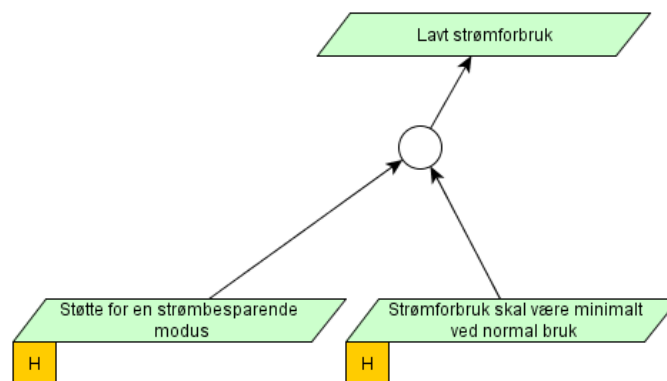
for teknologiene skal være så rettferdig som mulig, må dette være tilfellet. Dette vil føre til at flere produsenter tar i bruk den aktuelle teknologien i sine produserte enheter og sørge for kontinuerlig teknologisk utbedring. Ingen royalties vil dessuten føre til en minskning i pris per enhet og dermed systemets total kostnad.



Figur 3.6: Åpen standard

3.2.6 Lavt strømforbruk

Overvåkning av strømforbruk hjemme er et incentiv til nettopp å spare strøm³. At kommunikasjonsteknologien da har et lavt forbruk, er derfor å forvente. For å spesifisere dette burde strømforbruket være minimalt når enheten er operasjonell og burde inneha støtte for strømbesparende modus når enheten ikke er aktiv. Forsinkelsen gitt av tiden det tar for enheten å gå fra sparemodus til operasjonell tilstand blir også viktig å ta høyde for i tillegg til strømmen som brukes for å vekke denne. Hvis man for eksempel skal koble til en WiFi-enhet i sovemodus, kan det ta lang tid før den blir operasjonell.



Figur 3.7: Lavt strømforbruk

³il sammenligning bruker en vanlig gammeldags lyspære ca. 40-60 W, en PC ca. 80 W og LCD-skjerm ca 200 W

4

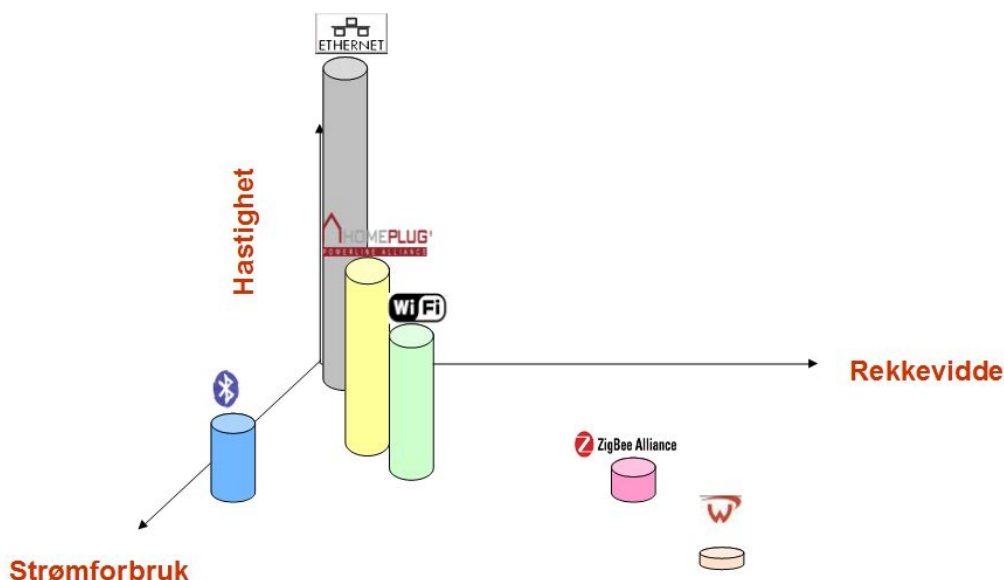
Kommunikasjonsstandarder

Det finnes mange teknologier som brukes for å kommunisere med enheter rundt i huset. Teknologiene varierer stort i hva slags typer kabler og radiofrekvenser som brukes og i fart og distanse. Felles for alle teknologiene er å få overført data fra en enhet til en annen ved hjelp av en av to generelle overføringsmetoder: trådløs eller kabelbasert. Å analysere samtlige tilgjengelige teknologier ville vært for omfattende for dette prosjektet, og vi har derfor valgt å analysere teknologier som representerer et bredt spekter av overføringshastigheter, rekkevidde og strømforbruk. Disse er dessuten godt utbredt og anerkjent på sine teknologiske bruksområder i markedet i dag, et viktig punkt ettersom markedsaksept er et av våre vurderingskriterier. To kablede (Ethernet og Green PHY) og fire trådløse (Wavenis, Bluetooth, ZigBee og WiFi) teknologier¹ er analysert, og en grov oversikt over hvordan de relaterer til hverandre er vist i figur 4.1.

Som vi ser av grafen, har vi valgt å analysere flest teknologier med høyere hastigheter og litt begrenset rekkevidde. Dette er fordi vi skal analysere bruk i forhold til bruk innad et smarthus, og ikke mellom nettselskap og smarthus. Det er vanskelig å forutse nøyaktig hvor strenge krav til overføringer det blir behov for i fremtiden, men tendensen går klart mot at stadig større mengder data skal kunne overføres på kortere tidsintervall.

Ettersom trådløs teknologi har mange åpenbare fordeler ovenfor kablet teknologi, har vi kun tatt høyde for to kablede mot fire trådløse. Trådløs overføring er dessuten vesentlig mer utbredt i markedet enn kablet teknologi i dag. To teknologier med høyere grad av fokus på rekkevidde (ZigBee og Wavenis) er valgt for analyse av hvordan disse vil plassere seg i forhold til teknologiene med fokus på høyere hastigheter og kortere avstander. Hvis kommunikasjon mellom eksterne enheter i huset kan slås sammen med den som foregår fra smarthus og ut i nettet, hadde det vært fordelaktig med hen-

¹Fakta som underbygger plasseringene er presentert i avsnittene under, og analyseres derfor ikke i detalj her



Figur 4.1: Oversiktsbilde over hvordan de forskjellige teknologiene grovt sett plasserer seg relativt til hverandre i forhold til rekkevidde, overføringshastighet og strømforbruk. Grafen er kun illustrativ ettersom noen teknologier scorer svært mye høyere på noen områder relativt til andre, noe som er vanskelig å representere med høy grafisk nøyaktighet. Ethernet har f.eks. hastigheter opp mot 10 Gbit/s mot Wavenis som opererer med hastigheter på rundt 19 kbit/s (en faktor 6 lavere).

syn på omfang av implementasjon. Nedenfor vil hovedtrekkene ved teknologiene på et faktagrunnlag bli presentert, og dette vil bli brukt i sammenligning og teknologianalyse senere i rapporten.

4.1 Trådløs

Trådløs kommunikasjonsteknologi er en kommunikasjonsmetode for to eller flere enheter som ikke er koblet sammen ved hjelp av ledninger. Mobiltelefonen kan trekkes fram som et eksempel. Hvis du ringer til en hjemmetelefon ved hjelp av mobiltelefonen, vil det bli opprettet en trådløs kommunikasjonskanal mellom deg og denne. Signalet sendes til hjemmetelefonen i form av elektromagnetiske bølger, og konverteres her til signaler som traverserer gjennom kablene. Ettersom mobiltelefonen ikke fysisk er koblet til hjemmetelefonen foregår derfor kommunikasjonen trådløst.

Trådløs kommunikasjon har blitt veldig populært den siste tiden, siden teknologien ikke er avhengig av ledninger og er lett å sette opp. Hvis du skal sette opp et trådløst nettverk hjemme, er det bare å kjøpe en trådløs ruter, en trådløs enhet og koble dem i stikkontakten. Man slipper styret med å legge kabler rundt i huset for at kommunikasjonen skal fungere. En mulig ulempe med trådløs kommunikasjon er at det ikke er like sikkert som kablet kommunikasjon. Når man bruker trådløs kommunikasjon er det mulig for andre å plukke opp signalet og bruke det på en ondsinnet måte. Kryptering og større

sikkerhet enn kablet teknologi blir da nødvendig. Trådløs kommunikasjon kan også ha vanskeligheter med å opprettholde signalstyrke over distanser og gjennom vegger sammenlignet med kablet teknologi. Hvis man har lagt kabler over hele huset, vil signalet nå fram uansett. Hvis man på en annen side bruker trådløs og setter opp det trådløse aksesspunktet på et ytterpunkt i huset, kan det være vanskelig å plukke opp signalet på andre siden av huset. Trådløs teknologi er også generelt sett tregere enn kablet. Et annet problem med trådløs kommunikasjon er at når en enhet skal kobles til, er den nødt til å slå seg på og bli aktiv før den er fullt operasjonell.

4.1.1 Wifi

I et WiFi-nettverk blir datapakker med informasjon sendt trådløst via radiobølger [Ref appendiks radiobølger og generelle overføringsprinsipper]. Fremdeles må en trådløs ruter fysisk være koblet til et modem, men selve enheten som skal være på nett kan flyttes rundt omkring i et avgrenset område. Flere enheter kan tilknyttes samme ruter slik at det i et fremtidig smarthus kan være flere ulike apparater koblet på samme nett gitt at det har trådløs nettverksadapter. IEEE har definert flere standarder innenfor elektronikk og telekommunikasjon, og for trådløse lokale nettverk er standarden 802.11 implementert. WiFi benytter seg av denne standarden og her er ulike sett med regler satt opp for hvordan kommunikasjonen skal skje. I hovedsak foregår kommunikasjonen over to frekvensbånd. Det første er på 2,4 GHz mens det andre er på 5 GHz, og hvilket frekvensbånd som benyttes har mye å si både for overføringshastighet og rekkevidde. Tabellen nedenfor oppsummerer kort noen av de forskjellige variantene av 802.11-standarder samt viktige egenskaper. Strømforbruket til WiFi er høyt i forhold til andre teknologier siden nettverksadapteren må være aktiv hele tiden. Det er ikke noe dvalemodus for WiFi-enheter. Nettverkstopologien baseres seg vanligvis på en stjerne-topologi, det vil si at en sentral enhet, ruter, binder alle enheten sammen og kommuniserer med andre rutere for å videresende data. [14] 802.11 er en åpen standard og man trenger ikke noen lisens for å ta i bruk denne teknologien.

Type	Bærefrekvens	Overføringsrate	Rekkevidde inne	Rekkevidde ute
802.11a	5 GHz	6,75 Mb/s	35 m	120 m
802.11b	2,4 GHz	1,38 Mb/s	38 m	140 m
802.11g	2,4 GHz	6,75 Mb/s	38 m	140 m
802.11n	2,4 GHz	9,04 Mb/s	70 m	250 m

Tabell 4.1: Oversikt over de forskjellige 802.11 protokollene

4.1.2 Bluetooth

Bluetooth er en åpen trådløs kommunikasjonsstandard designet for lavt strømforbruk og overføring av store datamengder over korte avstander. Frequency Hopping Spread

Spectrum (FHSS) med en sekvens på 1600 hopp/sek blir brukt for overføring. Viktige parametre er oppsummert i tabell 4.2.

Versjon	Overføringsrate	Båndbredde	Rekkevidde	Bærefrekvens
2,1	Inntil 2,1 Mbit/s	1 MHz	10 m	2,4 GHz
3,0	Inntil 24 Mbit/s	1 MHz	10 m	2,4/5 GHz
4,0	0,26 Mbit/s	2 MHz	50 m	2,4 - 2,5 GHz

Tabell 4.2: Oversikt over egenskaper til de forskjellige Bluetooth teknologiene[15]

Teknologien er designet for Personal Area networks (PANs) og legger til rette for at inntil åtte enheter kan kommunisere simultant i et såkalt piconet. Flere piconet kan kobles opp mot hverandre i et overordnet scatternet ved hjelp av point-to point arkitektur, og dataoverføring kan skje uavhengig mellom enhetene internt i piconetene. Bluetooth-enhetene kan opptre både som master og slave, dvs. at en master-enhet initierer et kall om sending eller henting av filer, og slaveenheten gjennomfører oppgaven den får beskjed om. Kommunikasjonen kan skje både asynkront og synkront. Ved asynkron (ACL) overføring blir pakker sendt ut med en spesifikk hoppesekvens til alle enheter i hele piconet. Ved synkron (SCO) overføring blir gitte enheter kontaktet direkte før unik hoppesekvens, og dataoverføring skjer mellom de to spesifikke enhetene².

Strømforbruk avhenger av rekkevidde, overføringshastighet og hvor raskt enhetene skal våkne fra dvalemodus. Her har vi tre strømspare-moduser tilgjengelig: HOLD, SNIFF og PARK. Når en enhet ikke sender eller mottar datapakker, er den initielt i HOLD. Hoppe-sekvensen blir holdt vha. intern timer på enhet i tilfelle den plutselig blir tilkalt for behandling av datapakker fra annen enhet i pico/scatternet. SNIFF er konstruert for strømsparing ved bruk av redusert overføringsrate og er aktuell når enhet er i slavemodus. Ved gitte intervall våkner enheten opp for å lytte på sekvens i aktuelle nett for å sjekke om den skal motta eller sende datapakker. Strømforbruket øker med kortere intervalltid. PARK-modus holder enheten synkronisert opp mot et piconet, men avventer med sending og mottak av datapakker.[16] Typisk strømforbruk avhenger av type modus, og rekkevidde, men kan i grove trekk oppsummeres som nedenfor.[17]

- 1 mW (10 m)
- 2.5 mW (20 m)
- 100 mW (100 m)

128 bit AES brukes til informasjonskryptering (se sikkerhets scenario i appendiks A.6), og er regnet som en sikker kryptering per i dag som brukes i WPA2-kryptering til WiFi. Responstid varierer ut fra om adressene til aktuelle enheter er kjent eller ikke. Hvis adressene er ukjent, er responstiden mellom 1.25 ms og 30 s med en gjennomsnittlig responstid på 3-5 s. Med kjente adresser varierer responsen mellom 2.5 ms, og 2.56 s

²I begge tilfellene må adressene til enhetene være kjent. Et INQUIRY signal blir sendt for å finne aktuelle enheter, og PAGE blir sendt hvis adressene er kjent.

med et gjennomsnitt på 1.28 s. Samtlige versjoner er bakoverkompatible, men en dual mode med større strømforbruk er påkrevd for versjon 4.0.[18]

4.1.3 Zigbee

ZigBee er en trådløs overføringsmetode.[19] Den baseres seg på IEEE 802 standard for lokalnettverk og fokuserer på å sende data mellom elektriske enheter rundt omkring i huset. ZigBee har overføringshastighet som varierer fra 20Kbs til 250 Kbs, noe som kommer an på hvor mange kanaler som brukes simultant. Rekkevidden ligger på rundt 50 meter avhengig av hvor mye strøm som skal brukes og omstendighetene. GE electric & Appliances kjørte en test på hvor mye strøm en ZigBee chipset bruker og kom fram til at det brukte i gjennomsnitt 0,39 W ved konstant dataoverføring.[20] Grunnen til at denne teknologien bruker så lite strøm er at hvis enhetene er inaktiv, skrur de av. Dette fører til minimalt strømbruk og enhetene kan vare i årevis på et batteri. Siden enhetene må vekkes for hver gang de skal utføre kommunikasjon, vil det bety litt oppstarttid for vanlige trådløse enheter. De som utviklet teknologien har imidlertid fått tiden til å bli så lav at det nesten er mulig å neglisjere dette. Det som gjør ZigBee interessant er at det er lett å installere, trådløst og innehar lavt strømforbruk. Nettverksstrukturen er bygd opp basert på meshmetodikken. Det vil si at alle enheter kan oppføre seg som server og klient. Dette betyr at den effektivt kan rute trafikk fra node til node. For å utvikle ZigBee-enheter, må man være medlem av ZigBee Alliance hvilket medfører royalties som produktleverandører må betale.[21] ZigBee kjører ikke IP-protokoll som standard, men en protokoll satt sammen av en del av protokollen laget av ZigBee og en del som kommer fra IEEE 802.15.4. Når det kommer til sikkerhet så er ZigBee godt utrustet, den bruker AES 128, som, per i dag, anses som en sikker kryptering.[22]

4.1.4 Wavenis

Wavenis er en åpen trådløs overføringsprotokoll produsert av Coronis designet for lavt strømforbruk og overføring av små mengder data over store avstander. Teknologien bruker FHSS modulasjon og de lisensfrie ISM frekvensbåndene 433 MHz, 868 MHz og 915 MHz samt at det har en overføringskapasitet på mellom 4 kbit/s og 100 kbit/s. Teknologien er i utgangspunktet dedikert til Machine to Machine (M2M)-kommunikasjon brukt i måle -og kontrollsystemer hvor behovet for stor overføringsrate ikke er kritisk. Strømforbruket varierer noe fra type applikasjon og rekkevidde, men kan i snitt oppsummeres[23]:

- Spenningskilde: fra 2V til 3,6V
- Standby: 3 μ A
- Våkne opp: 15 μ A
- Overføring: 45mA (25 mW, 1 km), 450 mA (500 mW, 4 km)
- Mottak: 18 mA

Arkitekturen er point-to-point/multipoint basert, noe som vil si at best tilgjengelige node punkter blir utnyttet til dataoverføring. Dette kan være repeatere, endepunkter, gateways

etc. I denne kategorien finnes to arbeidsmoder: Synkron og asynkron mode. Synkron kommunikasjon vil si at enhetene bruker en forhåndsinnstilt tidsplan for når de respektive enhetene skal våkne, overføre og synkronisere data mellom hverandre. Denne er designet for bruk av Wavenis i stor skala, statiske nettverk (byer, fabrikk lokaler etc.). Asynkron mode er laget for små dynamiske nettverk med inntil 200 enheter. Signalene rutes gjennom tilgjengelige nodepunkter fram til enhet, og responsen følger ruten tilbake eller til andre punkter hvis det ikke er mulig. Synkrone undernettverk kan kommunisere med asynkrone hovednettverk og visa versa. Når det kommer til sikkerhet er Wavenis, som flere andre nye trådløse teknologier, godt rustet. Den har mulighet til å velge flere sikkerhetskrypteringer, deriblant AES 128 som er veldig sikkert. Den åpne standarden ivaretas av Wavenis Open Standard Alliance jobber med muligheter for utvikling av teknologien, sertifisering og hvordan den kan representeres i industri og i andre interesseområder. Utviklingsgruppen samarbeider med flere uavhengige organisasjoner som BluetoothSIG, ZigBee og IEEE for å samkjøre ulike kommunikasjonsstandarder.[24]

4.2 Kabelbasert

Når det er snakk om kabelbasert teknologi[25, 26], menes det kommunikasjon som går gjennom et nettverk av kabler som for eksempel telefonkabel, Ethernet eller strømledninger. Si for eksempel at du har lyst til å lage et Ethernet-nettverk hjemme i huset ditt. Man er da nødt til å legge kabler mellom to eller flere statiske punkt i veggen. Hvis man, derimot, har lyst til å bruke strømledningsteknologi, er det sikkert lagt opp strømuttak rundt omkring i huset slik at man slipper å legge ledninger omkring i huset. Hvis man da har lyst til å opprette kommunikasjon mellom to eller flere datamaskiner, blir man også nødt til å installere en ruter som kobler sammen Ethernetkablene. Fordelene med å ha et kablet nettverk er at det er vanskelig å stjele eller sniffe informasjon fra nettverket i og med at dette kreves fysisk tilkobling. Til og med da er det ikke sikkert det kommer informasjon gjennom kablet man er koblet til. Det kommer an på hvilken enheter som fordeler informasjonen, som f.eks. hub eller svitsj. Et kablet nettverk har også høy hastighet og kan gå over lange distanser før det blir attenuering av signalet. Det er også noen ulemper med å bruke kablet nettverk. Hvis man skal ha et kablet nettverk, blir man nødt til å legge kabler i huset. Man trenger også mest sannsynlig å ha en installatør som gjør dette for deg hvis man ikke vet hvordan man gjør dette selv. Hvis man sammenligner kablet nettverk og trådløst nettverk, så koster det mer å installere et kablet nettverk enn et trådløst.

4.2.1 Ethernet

Ethernet er veldig vanlig i bruk for lokale nettverk og spesielt i firmabygg. Den har en overføringshastighet på 10Mbps, 100Mbps, 1Gbps eller 10Gbps, avhengig av hvilken modell av Ethernet som brukes. De to sistnevnte er vanligvis ikke brukt i hjemmet. Rekkevidden for en enkel Ethernetkabel er anslått til å være 100m. For en Ethernet-kontroller ligger strømforbruket på rundt 300 mW for 100 Mb/s og 1W for 1Gb/s.[27] Ethernet baserer seg på en åpen standard, 802.3 og vil derfor ikke koste noe i lisens eller

abonnement. Hopping fra en node til en annen er ikke fullt støttet, det vil si at det må vanligvis en svitsj eller en ruter til for at det kan foregå ruting mellom endepunktsnoder. Ethernet har IPv6- kryptering og anses dermed som ganske robust og sikker. Teknologien er lett integrerbar med andre teknologier som bruker IP, men er avhengig av egne Ethernetkabler.

4.2.2 Homeplug

Power Line Communication (PLC) er et system for å overføre datapakker over strømledninger. Vi har i denne rapporten valgt å bruke standarden Homeplug for å representere PLC, som er den som er mest utbredt for hjemmenettverk i dag.[28] Homeplug er et attraktivt alternativ ettersom det ikke er noe behov for å legge ekstra ledninger til enheter i huset, siden det benytter seg av det eksisterende strømmettet. Videre kan Homeplug operere på steder hvor radiofrekvenser ikke når til, som i en kjeller eller et hus med godt isolerte vegger. Det finnes flere versjoner av Homeplug tilgjengelig, som er presentert i tabell 4.3.

Versjon	Introdusert	Status	Overføringsrate
Homeplug 1.0	2001	Avsluttet	14 Mb/s
Homeplug AV	2005	I produksjon	85 Mb/s
Homeplug AV2	2011	I produksjon	500 Mb/s
Homeplug Green PHY	2011	I produksjon	10 Mb/s

Tabell 4.3: Oversikt over de ulike Homeplug versjonene

Alle versjonene er basert på IP og støtter IPv4, hvor de nyere versjonene også har støtte for IPv6. Forskjellen på de ulike versjonene er i hovedsak at det er benyttet bedre støyreducerende tiltak på de nyere versjonene, som igjen har ført til at overføringshastigheten har blitt forbedret. Green PHY, er spesielt rettet mot smartgrid ved at den fokuserer på strømbesparende tiltak og er designet for å bruke under 0.5W, som fører til at Green PHY har en reduksjon av strømforbruket på 75% sett i forhold til AV.[29] Dette oppnås ved å blant annet redusere overføringshastigheten ned til 10Mb/s og innføre en standby modus. Rekkevidden til Green PHY er opp til 300m(ref:), avhengig av kvalitet på strømkablene og sikringsskapet. Det er støtte for inntil 64 enheter på samme strømmett, men rent praktisk er det ikke anbefalt å benytte seg av mer en 16 enheter samtidig fra leverandørens side.[30] For kryptering benytter Green PHY seg av 128 bit AES, som er ansett som en sikker kryptering i dag. Ettersom IPv6 støttes nativt, har Green PHY IPv6-kryptering som anses som en sikkerhet fram i tid også. Det kreves medlemskap i Homeplug Alliance for å kunne ta i bruk deres protokoller i et produkt, hvor et er en medlemsavgift som må betales årlig.[31] Videre i denne rapporten vil vi bruke Green PHY når kommunikasjonsprotokollene skal sammenlignes.

5

Diskusjon og konklusjon

I dette kapitlet vil alle teknologiene som er nevnt i kapittel 4 bli satt opp mot hverandre og vurdert ut fra hvor godt egnet de er til bruk sammen med en AMS. Teknologiene er delt opp i to grupper: trådløs og kabelbasert. Dette er på grunn av at noen av kravene som er satt opp ikke gjelder for begge gruppene. Videre har begge typene sine utfordringer når det kommer til overføringsmediet som ikke gjør de sammenlignbar. I avsnittene [?] og [?] vil punkter som er av interesse, og som er uklart om hvorfor de har fått den poengsummen som er gitt, bli tatt fram og forklart. Av denne grunnen er derfor ikke alle kravene diskutert for hver teknologi.

5.1 Trådløst

5.1.1 Wifi

WiFi er en av de første teknologiene som ble utbredt når det kommer til trådløs kommunikasjon mellom enheter og benyttes i dag i veldig stor grad på offentlige samlingspunkt og i hjemmenettet. Teknologien benytter seg av åpne standarder og har meget høy overføringshastighet sammenlignet med andre trådløse alternativene. For at ruter skal ha kontroll på enhetene den er koblet til, er den nødt til å opprettholde en rutingliste. Dette fører til at alle enhetene ikke har mulighet til å gå i en strømsparende modus siden de er nødt til å si at de er tilkoblet hele tiden. På grunn av denne ekstra aktiviteten bruker den generelt mer strøm enn de andre teknologiene. Det innebærer få kostnader ved bruk av WiFi da det eneste kunden trenger å kjøpe er en ruter. Nettet kan enkelt settes opp selv og virker i dag å ha en god holdbarhet. Det medfølger også noen negative sider med WiFi som for eksempel lav responstid ved overføring av datapakker. Dette er på grunn av størrelse av IP-pakkene. Hvis man skal bruke WiFi til å slå av og på lyset, kan det

ta så lang tid at personen som trykket på bryteren kan reagere. WiFi har også en lang responstid når man tar en enhet fra dvalemodus til aktiv modus. I dette tilfellet er eneste måten å sette en WiFi-enhet i dvalemodus å slå den av. Dette er veldig ugunstig siden det kan ta flere sekunder før den er oppe å kjører igjen.

5.1.2 Bluetooth

Når det kommer til strømforbruk, presterer Bluetooth tilfredstillende til bruk i AMS. Begynnelsestilstand er dvalemodus, og enheten våkner ved jevne intervall for å motta eller sende data. Dette minimerer forbruket da enhetene kun bruker nevneverdig med strøm når de er aktive. Avhengig av hvor langt signalene skal transmitteres og hvor mye data som skal overføres, er det nokså stor variasjon fra versjon til versjon, men totalt overstiger ikke forbruket 100 mW under operasjon. Bluetooth er en åpen standard, har ingen royalties og innehar bred aksept i dagens marked da det allerede er implementert i et stort antall short-range applikasjoner som mobiltelefoni, headset, PC-printertilkobling o.l. Støtte for IPv6 er et krav for PANs, noe som setter krav til at Bluetooth skal være IPv6 kompatibel. Bluetooth er i utgangspunktet laget for å være bakoverkompatibel. Hvis antall enheter som skal kommunisere simultant øker over åtte, holder ikke protokollen mål per i dag. Når det kommer til infrastruktur, kreves det identifisering av enhetene som skal kommunisere via Bluetooth, og bruker må derfor manuelt registrere enheter og identifiseringskoder før teknologien kan tas i bruk. IPv6-støtte gjør at allerede eksisterende Internett-infrastruktur kan benyttes. Bluetooth er svært utbredt og plug and play støttes. Det er med bakgrunn i dette relativt enkelt å installere systemet selv, men ideelt sett skulle det helst hatt høyere grad av automatisering. Rekkevidden er begrenset i Bluetooth og i tillegg har det problemer med å trenge gjennom vegger. Hvis for eksempel AMS er plassert i en kjeller i et leilighetskompleks, kan det bli problematisk å styre enheter noen etasjer opp uten å skru opp strømforbruket betraktelig. Et alternativ er å bruke point-to-point arkitekturen, og slik sammenkoble enheter slik at signalene kommer fram dit de skal, men dette kan fort bli upraktisk dersom kritiske nodepunkter skulle være nede. Det er mange faktorer som spiller inn på responstiden for Bluetooth-enheter sin pakkelengde, hoppsekvens osv. Avhengig av hvor mange enheter som skal sammenkobles, kan denne komme opp i over 2 sekunder. Dette tilfredsstillende ikke et AMS system i stor grad, da det fort kan by på problemer og irritasjoner. Det kan også forsinke et totalsystem ytterligere hvis flere enheter prøver å aksessere måledata simultant i et piconet. Hvis disse er sammenkoblet i et større system og andre enheter eksempelvis må avvente på svar fra andre før informasjon kan videreføres, kan mange ledd i en rutingsprosess føre til store totale forsinkelser.

5.1.3 ZigBee

ZigBee har et lavt strømforbruk og kan benyttes som kommunikasjonsmedium mellom små enheter omkring i huset. Hver gang en enhet er inaktiv blir den satt i dvalemodus. Enheten vil bli aktiv når den trengs, og responstiden for når den skifter mellom de to stadiene er veldig små. ZigBee brukes vanligvis til å kommunisere med enheter som

lyspærer og lysbrytere. Når man slår på lyset, er det vanligvis ikke tålmodighet til lang ventetid for at lyset skal komme på. Dette er ikke et problem med ZigBee. Det er også støtte for flere typer enheter. Nettverket til ZigBee er designet for bruk i en mesh. Dette gjør at alle enhetene har, i teorien, mulighet til å snakke med hverandre. Det er veldig god støtte for skalering i ZigBee-nettverket, men når så små enheter skal bruke ZigBee, er det et behov for støtte for mange enheter. Det som kanskje ikke er så bra er at ZigBee bruker sin egen nettverksprotokoll. Den bruker ikke IP protokoll når den skal kommunisere. Dette er hovedsakelig på grunn av at datapakkene til IP er for stor til bruk mellom så små enheter. Dette fører til at ZigBee lager sitt eget nettverk utenom et mulig trådløst nettverk som allerede er installert i huset. Det er heller ikke mulig for andre enheter enn ZigBee-enheter å bruke dette nettverket. På grunn av det ekstra nettverket er det ikke enkelt å koble til smarte enheter.

5.1.4 Wavenis

Wavenis er som kjent designet for lavt strømforbruk. For å sette dette i perspektiv anser vi levetid på et 3,6 Ah litium batteri. I standby ville batteriet holde i 205,5 år, mens ved sammenhengende bruk med en rekkevidde på 4 km, ville det vart i 8 timer. Selvfølgelig er hverken det ene eller det andre alternativet realistisk ifht. bruk, men et estimat på en lesing av 24 logger i løpet av en dag gir en varighet på 10 år.[23] Måleinstrumenter som f.eks. ikke er koblet rett i strømkontakten kan da kommunisere over lang tid uten å måtte bytte batteripakke, noe som åpenbart har praktisk nytteverdi når mange smarte enheter skal kobles opp mot hverandre. Støtte for både strømsparende modus og minimalt bruk når operasjonell anses derfor som tilfredsstillende.

Standarden er åpen og har ingen royalties. Wavenis har støtte for IPv6, og muliggjør å assosiere en unik IP-adresse med hvert Wavenis-nodepunkt. Wavenis er kompatibel med mange av de mest utbredte protokollene som er tilgjengelig i dag. Disse innebærer blant annet PLC, GPRS og WiFi. Utnyttelse av allerede eksisterende infrastruktur for kommunikasjon mellom de aktuelle nodepunktene blir dermed muliggjort. Dette er en stor fordel da det nesten helt sikkert kommer til å være en form for infrastruktur installert i norske hjem når AMS skal installeres i 2017. Det skal dog være nevnt at denne kompatibiliteten bare kommer med noen modeller.

Basert på lavt strømforbruk blir Wavenis-transceivere levert med batteri på 10 års levetid. En liten on-chip lagring kombinert med point-to-point arkitektur sikrer kommunikasjon mellom komponenter selv om det mot formodning skulle oppstå et strømbrydd i huset og AMS skulle ligge nede. Teknologien har støtte for plug and play gjennom tilgjengelige USB-modem.

Rekkevidde¹ og evne til å trenge gjennom vegger anses som tilfredsstillende. Responstiden² varierer med strømbruk. Ekstrem strømsparing krever en responstid på mellom 1 og 2 s, men ned mot 10 ms respons kan oppnås. Det blir da et kompromiss mellom krav til respons og varighet, og i noen tilfeller 1-2 s for lite. Nedre del av ISM-båndet

¹ 1-4 km LOS, 200 m innendørs

² Enhetene er i dvalemodus opprinnelig og våkner opp når de blir påkalt

er lite trafikkert og minimaliserer interferensproblemer. Pga. point-to-point arkitektur, kan informasjon rutes gjennom oppegående noder, og muliggjør funksjonalitet selv om sentrale nodepunkter går ned. Når dette er sagt, kan det stilles spørsmålstegn om overføringshastigheten er tilfredsstillende. Med et estimat på minimum 5 kbit/s, er vanlig brukt hastighet på 19,2 kbit/s godt nok. Skal det derimot overføres store datamengder til et display, holder ikke dette mål. Med en maksimal overføring på 100 kbit/s er hastighet likevel tilfredsstillende ut fra våre kriterier. Sammenlignet med mange andre teknologier i et scenario der det plutselig blir behov for overføring av store datamengder, holder Wavenis derimot ikke mål. I slike sammenhenger er enten Ethernet, WiFi eller PLC mer dugende.

Teknologien er bakoverkompatibel mellom de ulike generasjonene og tar høyde for å være det i de kommende generasjonene også. Krypteringen er 128 bit AES, tilsvarende WPA2, og er ikke like sikker som 256 bit AES krypteringen som støttes av WiFi. Siden teknologien er laget for lange avstander og rapporterte angrep på slike krypteringer, kunne et mulig scenario være at huset blir hacket fra store avstander. Wavenis bruker til gjengjeld flere metoder kombinert med 128 bit AES for å skjule informasjonen som blir overført mellom enhetene og er derfor tilfredsstillende sikkert. Per 2008 var 1.5 millioner Wavenis-enheter i bruk, og er allerede brukt i smartgridssammenheng. Sammenlignet med Bluetooth og WiFi er likevel ikke markedsaksenten den største.

5.2 Kabelbasert

5.2.1 Ethernet

Ethernet er en gammel og veldig utbredt teknologi som i dag benyttes på plasser hvor det kreves høy overføringshastighet og lav responstid. Den innehar en bred markedsaksept og støtter IP fullt ut. Med Ethernetkabler er det mulig å sende signaler flere hundre meter før det oppstår attenuering. Videre anses overføring av informasjon via Ethernetkabler anses i dag som ganske sikkert grunnet tilknytningen til IPv6. Teknologien baserer seg på åpne standarder og krever ingen royalties. Siden de fleste hus vanligvis ikke har lagt et nettverk av Ethernetkabler, medfører det større installasjonskostnader sammenlignet med Homeplug. Selve kablene er ikke spesielt dyre, men i mange tilfeller må de legges av en installatør, som igjen medfører større utgifter.

5.2.2 Homeplug

Homeplug sin grønne satsning Green PHY er et system som lett kan installeres hos en kunde siden den benytter seg av eksisterende strømkabler. Installasjonskostnadene blir derfor relativt små siden det eneste man kan komme til å måtte betale for er flere strømskinner. I likhet med Ethernet benytter Green PHY seg av IP og innehar ellers en god holdbarhet bortsett fra Homeplug 1.0 som ikke kan kommunisere med de nyere versjonene. Strømforbruket er ganske lite på grunn av muligheten for å sette seg i standby-modus. Bruk av Green PHY innebærer royalties og gjør at man er nødt til å

betale et månedlig sum for å få være med i Homeplug Alliance. Sluttbrukere er derimot ikke nødt til å betale noen lisenser for å eie en enhet.

5.3 Sammenligning

5.3.1 Kabelbaset

Når man sammenligner de to teknologiene Ethernet og Green PHY, er de ganske jevn-gode på mange punkt. Begge er rask, har god rekkevidde, støtter IP og er ganske krypteringssikker. Hvis man skal installere nye enheter i det eksisterende nettverket, er det ikke store behov for installatører eller behov for noen spesielle verktøy eller kunnskap om det. Hvis man ønsker å integrere enheter med det eksisterende nettverket, LAN, er det ganske enkelt siden man bare trenger å plugge det til en nettverksruter. Siden de to teknologiene er flinke på det samme, er det bedre å se på de punktene som skiller dem. Green PHY er laget for smartgrids og bruker derfor veldig lite strøm. En av de støttede funksjonene er mulighet for å sette enheter i sparemodus. Ethernet-enheter har ikke disse funksjonene og bruker derfor mer strøm. Den viktigste forskjellen er hvordan disse to teknologiene installeres. Green PHY trenger bare å plugges i stikkontakten, mens Ethernetkabler må legges av installatør siden dette er noe folk sjelden har lagt i huset sitt fra før.

5.3.2 Trådløst

Det er stor forskjell i hvordan de forskjellige trådløse teknologiene brukes. Man har de som brukes til å overføre store datamengder over kort tid, de som har mulighet for å overføre over større rekkevidder, de som bruker lite strøm og de som støtter IP. Hvis man for eksempel tar WiFi, støtter den både IPv4 og IPv6. ZigBee og Bluetooth støtter IP til en viss grad. Her overføres informasjon til en node som konverterer Bluetooth- eller ZigBee-pakkene og legger på de 3 nederste elementene i OSI modellen (se appendiks A.4) slik at det er mulig og overføre på et IP nettverk. Når pakkene kommer fram til sluttdestinasjonen, må det være en enhet som kan lese Bluetooth- eller ZigBee-pakkene. Rekkevidden varierer også i stor grad blant de ulike teknologiene. Bluetooth ligger på rundt 10 - 20 meter dersom landskapet er åpent mens Wavenis har en maksimal rekkevidde på hele 4 km. Zigbee har en rekkevidde på snaut 100 meter innendørs. For at et helt hus skal dekkes, bør rekkevidden ligge på rundt 30 meter. Hvis man tar for seg overføringshastighet, ligger WiFi langt over de andre med en hastigheten på maksimalt 300Mb/s, noe som er langt mer enn det som trengs i et HAN. Sammenlignet med ZigBee, Wavenis og Bluetooth som spesialisere seg på HAN ligger de på maksimalt 1 Mb/s. En grei tommelfingerregel her er at jo mer fart det er på teknologien, jo mer strøm bruker den. Siden WiFi har 300Mb/s i overføringshastighet, har den til gjengjeld ingen strømsparende funksjoner som gjør at den bruker vesentlig mye mer strøm enn de teknologiene som spesialisere seg på HAN.

5.3.3 Tabell

I tabellen nedenfor er de ulike kommunikasjonsprotokollene blitt vurdert. Det er blitt lagt vektning på alle kravene som er i tabellen. Vektingen går fra 1 til 5, der 1 er ikke essensielt å støtte, mens 5 er et helt essensielt krav å oppfylle for å kunne anbefale protokollen. Hver enkelt protokoll er så blitt rangert fra 1 til 3, i henhold til hvor godt de oppfyller kravet;

1. Tilsvareer at kravet ikke støttes
2. Tilsvareer at kravet støttes til en viss grad
3. Tilsvareer at kravet er helt oppfylt

En poengscore vil så bli regnet ut ved å kombinere vektingen til kravet med rangeringen til kommunikasjonsprotokollen:

$$\text{Vektetscore} = \text{vekting} * \text{rangering}$$

På kravet *prisen på kom. teknologien skal reflektere kravene som oppfylles*, har ikke protokollene fått en rangering. Dette skyldes at vi ikke fant gode nok data til å kunne utføre en sammenligning. Derfor har vi valgt å ikke gi en rangering av protokollene her, og følgelig vil konklusjonen vår ikke ta med dette kravet.

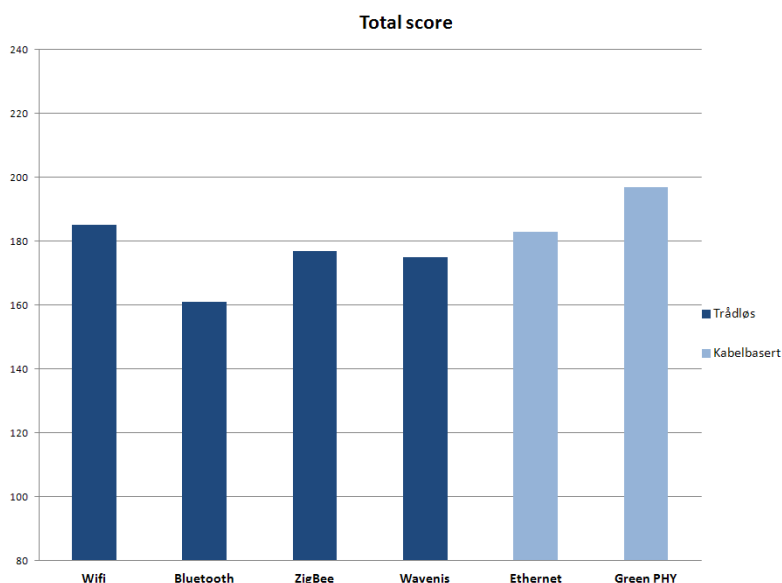
KAPITTEL 5. DISKUSJON OG KONKLUSJON

Vekting	Beskrivelse	Wifi	Bluetooth	ZigBee	Wavenis	Ethernet	Green PHY
4	Støtte for strømbesparende modus	1	3	3	3	2	3
4	Strømforbruk være minimalt ved normalt bruk	1	2	3	3	1	1
3	Ingen royalties	3	3	2	3	3	2
3	Benytte tilgjengelig kablet infrastruktur	N/A	N/A	N/A	N/A	1	3
3	Ta i bruk eksisterende trådløs infrastruktur	3	2	2	2	N/A	N/A
3	Støtte for plug & play	3	3	3	3	3	3
3	Ingen krav til installatør for ny/ekstra enhet	3	3	3	3	1	3
4	Installasjon ved hjelp av enkel dokumentasjon	2	2	2	2	3	3
4	Ingen krav til spesielle verktøy eller forkunnskap	2	2	2	2	3	3
2	Systemet skal være billigst mulig å installere	3	3	3	3	1	2
3	Prisen på kom. teknologien skal reflektere kravene	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
5	Systemet skal tilby en tilfredstillende responstid	1	1	3	2	3	3
4	Minimal oppstartsforsinkelse	1	2	3	2	3	3
3	Overføringshastighet skal tåle framtidig vekst	3	2	1	1	3	3
5	Støtte en kryptering som anses som robust og sikker i dag	3	2	2	2	3	3
1	Viss en node går ned, skal signal kunne rutes via andre noder	3	2	2	2	3	3
4	God barrieregjennomtrengning	3	1	1	3	N/A	N/A
4	Minimum rekkevidde på 30m	3	2	3	3	3	3
5	Bakoverkompatibel for alle oppgraderinger/oppdateringer	3	3	3	3	3	2
3	Kompatibel med eksisterende nettverk/smarte enheter	3	2	1	1	2	3
2	Skal støtte dagens IPv4	3	2	2	2	3	3
4	Skal ha støtte for IPV6	3	1	1	1	3	3
3	Støtte et tilfredstillende sntall enheter i forhold til forventet vekst	3	2	3	3	3	3
4	Bred markedsaksept	2	2	2	1	1	2

5.3.4 Summering

Fra figur 5.1, ser vi at de ulike kommunikasjonsprotokollene scorer relativt jevnt. Skalaen ligger fra 80, den lavest mulig oppnåelige scoren, opp til 240. Scoren til kommunikasjonsprotokollene varierer fra 161 til 197. Dette forteller oss at det er ganske jevnt mellom dem uten noen klar favoritt.

På den trådløse siden får WiFi den høyeste poengsummen på 185. ZigBee og Wavenis følger etter med en score på 177 og 175, mens Bluetooth havner på 161 poeng. Grunnen til at WiFi får en så god poengsum, er at vi har vektet støtte for IPv6 og IPv4 høyt og at det er en veletablert standard som er utbredt i dag. Videre har WiFi få steder den scorer lavt, og gjør det derfor veldig bra sett opp mot vår kravspesifikasjon. Strømsparende funksjonalitet, lavt strømforbruk, god responstid og lav forsinkelse er de andre punk-



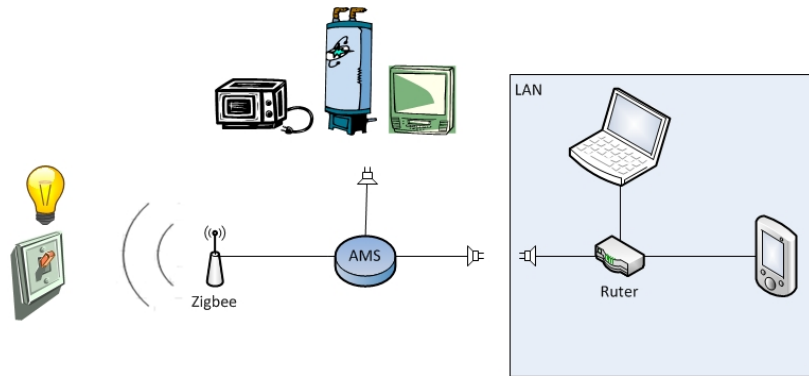
Figur 5.1: Total score

tene som har fått en høy vekting. Her scorer både ZigBee og Wavenis godt. Alle de ulike teknologiene tilbyr god sikkerhet sett i forhold til dagens situasjon, men sett i forhold til et 20 års perspektiv, har vi valgt å dømme relativt strengt her. Bluetooth havner litt mellom WiFi og ZigBee og Wavenis i de ulike kravene, og får derfor den laveste poengsummen. Hos de kabelbaserte kommunikasjonsprotokollene scorer Green PHY 197 mot Ethernet sin poengsum på 183. De samme elementene som nevnt ovenfor går igjen her. Green PHY tilbyr mer funksjonalitet mot strømsparing og benytter seg av det allerede eksisterende strømnettet.

5.4 Anbefalt løsning

Nå som de ulike teknologiene har fått en poengsum kan det i utgangspunktet virke enkelt å velge korrekt løsning. Imidlertid er det enkelte aspekter som bør påpekes og kommenteres ytterligere. Det burde være støtte for IP og at både små og store enheter skal kunne være med i nettverket i tillegg til allerede eksisterende smarte enheter. Enhetene skal kunne styres og sende nødvendig informasjon til AMS som igjen evt skal kunne leses av på et display. Det er derfor kommet frem til en hybridløsning bestående av både kabelbasert og trådløst nettverk. Green PHY er valgt til å være det kabelbaserte nettverket for å slippe installasjonsproblematikken til Ethernet. De større enhetene som vaskemaskin, TV o.l. skal kobles til dette. De små enhetene bør kobles sammen i et trådløst nettverk for å unngå unødvendig mye ledninger. Her er det mulig å bruke WiFi, men siden de små enhetene ofte vil være batteridrevne, er ikke WiFi spesielt gunstig likevel siden denne teknologien bruker mye strøm og har en høy responstid. Wavenis passer heller ikke så bra siden overføringshastigheten er begrenset og den store rekkevidden medfører et spørsmål om sikkerhet og interferens med andre potensielle trådløse

nettverk. Når Bluetooth igjen har ganske begrenset rekkevidde, anser vi ZigBee som den beste trådløse løsningen. Den har lav responstid og tilstrekkelig overføringshastighet til hva de små enhetene skal brukes til. Videre scorer den jevnt over godt på de fleste områder. Vi anbefaler derfor bruk av Green PHY for typisk store husholdningsartikler og ZigBee for mindre enheter.



Figur 5.2: Anbefalt løsning

Det overordnede systemet fungerer da slik at AMS-sentralen kan kobles til det eksisterende LAN-et i huset i tillegg til de nye større eller mindre enhetene. Fra AMS-sentralen vil det også være kommunikasjon med nett- og kraftleverandøren. Styring av strømforbruket kan følgelig optimaliseres om en følger med på momentant forbruk og sammenligner med strømprisen. Videre ser vi for oss at det utvikles en fjernkontroll som kan styre de forskjellige enhetene slik at f.eks lyset i et ønsket rom skrur av ved hjelp av et enkelt tastetrykk. Figur 5.2 illustrerer vår anbefalte løsning.

6

Videre arbeid

I fremtiden vil det være behov for grundigere analyser innenfor de ulike teknologiene og kundens forventinger. Gruppen hadde ingen spesialkompetanse på hverken den tekniske biten eller hvordan markedet fungerer og vektingen ble følgelig noe usikker. Med den tidsbegrensningen vi hadde fikk vi heller ikke gjennomført omfattende kundeundersøkelser eller nøye tekniske vurderinger til å gjøre kundespesifikasjonen helt reell. Videre kan det være lurt å starte flere pilotprosjekter for å kartlegge hvordan teknologiene fungerer i praksis. Dette har blitt gjort med stor suksess både på Hvaler og i Stockholm og vil gi en god pekepinn for hvor optimalt systemene opererer og hvor fornøyd kunden er.

Referanser

- [1] NVE. Ams - oppsummering av hoeringsuttalelser og endelig forskriftstekst. <http://www.nve.no/Global/Publikasjoner/Publikasjoner%202011/Dokument%202011/dokument1-11-oppsummering.pdf>, 2011.
- [2] THEMA. Ams - tilleggstenester og tredjepartsadgang. Technical report, NVE, 2011.
- [3] Norwegian Smartgrid Centre. Hvorfor smartgrid? <http://www.smartgrids.no/content/36/Hvorfor-smartgrid>, 2012.
- [4] Christine Hertzog. The difference between hems and hans. <http://www.smartgridlibrary.com/2009/12/14/the-difference-between-hems-and-hans/>, 2009.
- [5] Vidar Kristoffersen. Smart energi hvaler. <http://www.energinorge.no/getfile.php/FILER/KALENDER/Foredrag%202011/Nettkonferansen%202011/2%201%201100%20Smart%20Grid%20Kristoffersen.pdf>.
- [6] Ingeborg Graabak and Hanne Saele. Kravspesifikasjon fullskala utbygging av avanserte male og styringssystemer (ams) (toveiskommunikasjon). Technical report, SINTEF Energi AS, 2011.
- [7] Wikipedia. Moore's law. http://en.wikipedia.org/wiki/Moore's_law, 2012.
- [8] International Telecommunication Union. The internet of things - executive summary. http://www.itu.int/dms_pub/itu-s/opb/pol/S-POL-IR.IT-2005-SUM-PDF-E.pdf, 2005.
- [9] Store norske leksikon. Ip-adresse - it. <http://snl.no/IP-adresse/IT>, 2009.
- [10] Guoqiang Zhang, Bruno Quoitin, and Shi Zhou. Phase changes in the evolution of the ipv4 and ipv6 as-level internet. <http://arxiv.org/pdf/1007.2280.pdf>, 2010.
- [11] Rosette Code. String length. http://rosettacode.org/wiki/String_length, 2012.
- [12] SSB. Informasjonssamfunnet. <http://www.ssb.no/emner/10/03/ikt/>, 2010.
- [13] Patentstyret. Royalties. <http://www.patentstyret.no/no/Handbok-for-ideskapere-og-innovatorer/Avtaler/Royalties/>, 2012.

- [14] Pablo Brenner. A technical tutorial on the iee 802.11 standard. http://www.sss-mag.com/pdf/802_11tut.pdf, 1996.
- [15] BlueTomorrow.com. Bluetooth versions. <http://www.bluetomorrow.com/about-bluetooth-technology/general-bluetooth-information/bluetooth-versions.html>, 2012.
- [16] RAD data communications. What is bluetooth? http://www.pulsewan.com/data101/bluetooth_basics.htm, 2012.
- [17] Rahul Balani. Energy consumption analysis for bluetooth, wifi and cellular networks. Technical report, Electrical Engineering, University of California at Los Angeles, 2007.
- [18] Bluetooth Special Interest Group (SIG). Adopted bluetooth specifications. <https://www.bluetooth.org/Technical/Specifications/adopted.htm>.
- [19] Patrick Kinney. Zigbee technology: Wireless control that simply works. 2003.
- [20] Jeff Drake, David Najewicz, and William Watts. Energy efficiency comparisons of wireless communication technology options for smart grid enabled devices. 2010.
- [21] ZigBee Alliance. Member benefits. <http://www.zigbee.org/Join/MemberBenefits.aspx>, 2012.
- [22] ZigBee Alliance. Zigbee specification overview. <http://www.zigbee.org/Specifications/ZigBee/Overview.aspx>, 2012.
- [23] Coronis. Wavenis specifications. <http://www.coronis.com/en/specifications.html>, 2012.
- [24] Coronis. Wavenis network architecture. http://www.coronis.com/en/network_architecture.html, 2012.
- [25] Bradley Mitchell. Wired vs wireless networking. <http://compnetworking.about.com/cs/homenetworking/a/homewiredless.htm>, 2012.
- [26] Christian Haugen. Vurdering av kommunikasjonsalternativer mellom ams og et smart kraftnett. Master's thesis, NTNU, 2010.
- [27] Intel. Intel 82541pi gigabit ethernet controller. <http://www.intel.com/design/network/products/lan/controllers/82541pi.htm>, 2012.
- [28] Muhammad Salman Yousuf and Syed Z. Rizvi. Power line communications: An overview - part 2. Technical report, KFUPM, 2008.
- [29] Homeplug Powerline Alliance. Home plug green phy - the standard for in-home smart grid. http://www.homeplug.org/tech/whitepapers/HomePlug_Green_PHY_whitepaper_100614.pdf, 2012.
- [30] TIM HIGGINS. Smallnetbuilder's powerline faq. <http://www.smallnetbuilder.com/lanwan/lanwan-basics/31585-smallnetbuilders-powerline-faq>, 2011.

- [31] Homeplug Powerline Alliance. How to join homeplug. <https://www.homeplug.org/join/>, 2012.



Appendiks

A.1 Kundeforventninger til AMS

Enkelt å installere	Kunden vil ha et system som er enkelt å installere
Enkelt å bruke	Kunden vil ha et system som ikke krever noe
Ivaretar personvern	Kunden forventer at systemet skal ha samme nivå av personvern som dagens løsning
Kompabilitet	Kunden forventer at systemet skal fungere opp mot utstyr levert av flere forskjellige leverandører
Tilfredsstillende sikkerhet	Kunden forventer at systemet skal være sikkert, tilsvarende dagens løsning
Lavt strømforbruk	Forventes at det skal være så lavt strømforbruk som mulig
Billig å installere	Det skal være så billig som mulig å installere systemet

Tabell A.1: Forventninger til systemet stilt av kunde

A.2 Datapakker

Lengde på tekststreng	35
Byte pr bokstav	2 Byte
Tidsintervall	100ms
	0,1s
Antall overføringer pr. Sekund	10
Overføringshastighet	700 Byte/s
	5600 bit/s
	5,6 Kb/s

Tabell A.2: Størrelse på min. datapakker

A.3 Radiobølger og generelle overføringsprinsipper

Aksellererte elektriske ladninger gir opphav til elektromagnetiske bølger med frekvens lik svingefrekvensen til ladningen. Når bølgen brer seg gjennom rommet med lysets hastighet og går gjennom en antenne, oppstår det en elektrisk spenning som kan forsterkes og omformes til et hørbart eller synlig signal. Hvilken frekvens som påtrykkes har mye å si hvor rekkevidden til signalet. Pga. signalenes bølgenatur er det alltid et kompromiss mellom rekkevidde og overføringshastighet når et kommunikasjonssystem skal lages. Større rekkevidde oppnåes ved lave enn ved høye frekvenser (pga dispersjon og attenuasjon), og høyere overføringsrate oppnås ved høye frekvenser. Den internasjonale teleunionen ITU deler frekvensområdene inn i frekvensbånd på følgende måte:

Bånd	Betegnelse	Frekvensområde	Bølgelengde
ELF	Ekstremt lav frekvens	3 – 30 Hz	100 000 – 10 000 km
SLF	Super lav frekvens	30 – 300 Hz	10 000 – 1000 km
ULF	Ultra lav frekvens	300 – 3000 Hz	1000 – 100 km
VLF	Veldig lav frekvens	3 – 30 kHz	100 – 10 km
LF	Lav frekvens	30 – 300 kHz	10 – 1 km
MF	Medium frekvens	300 – 3000 kHz	1 km – 100 m
HF	Høy frekvens	3 – 30 MHz	100 – 10 m
VHF	Veldig høy frekvens	30 – 300 MHz	10 – 1 m
UHF	Ultra høy frekvens	300 – 3000 MHz	1 m – 10 cm
SHF	Super høy frekvens	3 – 30 GHz	10 – 1 cm
EHF	Ekstremt høy frekvens	30 – 300 GHz	1 cm – 1 mm

Tabell A.3: Radiobølger

Bruksområdene til radiobølger har utviklet seg stort siden de første oppdagelsene ble gjort. Spesielt i begynnelsen ble radiobølger mye brukt til sjøs ved å sende informasjon via morsealfabetet. Siden den gang har overføringen i mye større grad også inkludert bilder og brukes derfor i dag i trådløse nettverk, mobilkommunikasjon og kringkasting.

I forbindelse med overføring av informasjon mellom AMS-måler og ekstern enhet kan radiobølger være en aktuell løsning. Både, Wavenis, ZigBee, Bluetooth og Wifi benytter seg av radiobølger, og bruken av sistnevnte har økt kraftig de siste årene siden trådløse nettverk i mange sammenhenger har erstattet de ordinære kabelnettene.)

A.4 OSI-modellen

Forskrift som karakteriserer og standardiserer funksjonene til et kommunikasjonssystem gjennom abstrakte, logiske lag. Systemet er hierarkisk oppbygd slik at hvert lag i modellen tjener ovenstående lag.

Lag 1: Fysisk

Enhetens fysiske kommunikasjonskanal, f.eks. optisk eller elektronisk tilkobling. Hovedoppgavene:

- Tilkobling og avkobling til kommunikasjonsmedium
- Flyt kontroll
- Signal modulasjon

Lag 2: Data link

Funksjoner og prosedyrer for å overføre data mellom nettverksenheter og oppdage/rette opp i eventuelle feil fra det fysiske laget. Hovedoppgaver:

- Flyt kontroll
- Arrangerer bits i logiske sekvenser (rammer)

Lag 3: Nettverk

Funksjoner og prosedyrer for å frakte digital informasjon mellom kilde -og mottaker enhet, gjennom variable bit-sekvenser. Hovedoppgaver:

- Nettverks Routing – Overføre datapakker mellom sender og mottaker gjennom valgte node punkter (tilkoblingspunkter)
- Fragmentering og remontering
- Feil-rapportering

Lag 4: Transport

Holder styr på overføring og reparering av segmenter for å sikre datakvalitet ovenfor de øvrige lagene. Kan i stor grad sammenlignes med TCP og UDP. Oppgaver:

- Motta og kontrollere ferdige pakker
- Sørge for at riktig pakke blir sendt til riktig sluttport

Lag 5: Sesjon

Kontrollerer tilkobling mellom enheter (datamaskiner). Hovedoppgaver:

- Lage, styre, og terminere tilkoblinger mellom maskin og ekstern applikasjon

- Halv duplex (toveis), full duplex (toveis simultankapasitet) og simplex (enveis) operasjoner – enheter som i kommuniserer med hverandre vha. to veis kommunikasjon (point-to-point).

Lag 6: Presentasjon

Lager forbindelser mellom applikasjons-entiteter. Forskjellig syntakser kan ofte være brukt i applikasjonslaget ifht. de underliggende lagene, og dette laget skal oversette og kryptere/dekryptere datapakker til og fra overliggende lag. Eks. EBCDIC kodet tekst fil til ASCII-kodet fil.

Lag 7: Applikasjon

Kommunikasjon mellom sluttbruker og underliggende lag. Sørger for oversettelse mellom forskjellige typer software og presentasjonslaget. Hovedoppgaver:

- Identifisere kommunikasjons parter for datatransmisjon
- Ressurs tilgjengelighet – er det nok resurser tilgjengelig for overførsel?
- Synkronisere kommunikasjon – samkjøre kommunikasjonsparter

A.5 FHSS i Bluetooth

FHSS foregår ved at frekvensbåndet mellom 2,4 og 2,45 GHz blir delt opp i 79 ulike bånd, hver med bredde på 1 MHz (første sentrert på 2402 MHz opp til 2480 MHz). Det blir så laget en hoppe sekvens på 1600 hopp i sekundet, kjent både av master og slave enhet, hvorav informasjonen som skal overføres fordeles over det valgte frekvensbåndet. Selve bæreølgen blir modulert over tilgjengelige frekvenser, og holder informasjonen som skal overføres uforandret. Dette er motsatt av DSSS som har en sentrert bærefrekvens og modulerer informasjonen som skal overføres rundt denne. Fordi signalet er spredt over mange frekvenser og signalstyrken generelt er svak, er denne modulasjonsteknikken svært motstandsdyktig til interferens-problemer (se radiobølger), men det er til gjengjeld en viss begrensning i overføringshastighet som følge av at det tar tid å hoppe mellom respektive frekvenser. Bluetooth utnytter multiple access point for å kunne realisere dette: dvs. alle enhetene som informasjonen overføres mellom bruker samme hoppe sekvens, og samme tilkoblingspunkt.

Protokollen legger til rette for at 8 enheter kan kommunisere simultant i et såkalt piconet. Et piconet kan kobles opp mot et annet, og danne et scatternet. Hoppesekvensen er kun kjent av enhetene som befinner seg i de lokale piconettene, slik at kommunikasjon kan foregå internt i hvert nett, uten å forstyrre de andre piconettene om nødvendig. Videre er AFH (Adaptive Frequency hopping) tatt i bruk for å sikre overføringskvalitet på signalene. Vha. et scan blir kanalen med minst interferens fra andre kommunikasjonsenheter brukt for overføring.

A.6 Bluetooth sikkerhetsscenario

Hentet fra:

<http://www.symantec.com/connect/articles/bluetooth-security-review-part-1>

Siden Bluetooth kommuniserer over korte avstander, må en mulig hacker for det første befinne seg innen rekkevidde for de aktuelle enhetene. Deretter må en identifiseringskode oppgis for å kunne utveksle filer mellom enheter, og en mulig hacker må dermed finne denne. Det finnes flere måter dette kan foregå på, og noen mulige scenarioer er vurdert nedenfor: Bluetooth bruker som kjent FHSS til å overføre datapakker, noe som kompliserer situasjonen for en mulig hacker drastisk ifht. hvis kommunikasjonen skulle foregått over en frekvens. I protokollen blir 48 bit brukt til å identifisere aktuelle enheter. I heksadesimale tall ser fordelingen slik ut:



Hver leverandør av Bluetooth enheter har tilordnet 16 777 216 adresser for å identifisere en modell. Fordi signalet bruker FHSS er et tidsestimat fra Symantec på å scanne en kanal ca. 6 sekunder. Dvs. det tar 1165 dager å kjøre en full gjennomgang. Forøvrig finnes det måter å korte scanne-tiden på: man kan eksempelvis bruke flere Bluetooth-dongles simultant, noe som vil redusere scanne-tiden til ca. 146 dager. Videre går det an å finne tendenser til repetisjoner i bruk av de 48-bitene i ID-en: SE P900 blir identifisert ved 00:0A:D9, som i sin tid reduserer antall adresser som må gjennomføres til 524 288 stk. og dermed søketiden til ca. 4,5 dager.

Et annet aspekt som kan være til fordel for en hacker, er enhetenes evne til å operere i “synlig” mode: dvs. alle som har Bluetooth kan se om en enhet er på eller ikke. Det er derav mulig for hackeren falskt ID, og dermed dukke opp på respektive enheter som riktig. Denne kan på den andre siden slås av, men er fortsatt et element som bruker må ta hensyn til når Bluetooth skal brukes i kommunikasjon. Videre er det mulig å finne predefinerte hoppe-sekvenser hos forskjellige enheter. Er Hackere klar over dette, kan han scanne de enhetene som bruker disse oppgitte sekvensene, og derav raskere få tilgang til PIN-koden.

Som vi ser av resultatet ovenfor er Bluetooth per idag en nokså sikker kommunikasjonskanal når det kommer til bruk i AMS. Det skal likevel være sagt at å hacke Bluetooth-enheter er en forholdsvis ny affære, og at det derfor vil komme nye og forbedrede metoder til å “sniffe” på Bluetooth-brukere i framtiden.