

Vurdering av kommunikasjonsalternativer for informasjonsutveksling med AMS mellom smarte hus og et smart kraftnett

Christian Haugen

Master i kommunikasjonsteknologi

Oppgaven levert: Juni 2010

Hovedveileder: Steinar Andresen, ITEM

Biveileder(e): Hanne Sæle, Sintef
Kjell Sand, Sintef

Oppgavetekst

Et forslag ligger til behandling om en lovpålagt installasjon av smarte energimålere innen 2016 i Norge. Dette innebærer at norske nettselskap skal gjennomføre en enorm utbygging av ny målerteknologi kalt AMS. Denne teknologien er det første steget mot etableringen av et smartgrid. For å støtte toveis kommunikasjon mellom forbruker, nettselskap og leverandør av strøm i et smartgrid må kommunikasjonsnettene som kobler de sammen endres drastisk. Smartgrid er et samlebegrep for intelligente måle- og styringsystemer som legger grunnlaget for neste generasjon kraftnett i Norge. Smartgrid-løsninger er under utbygging flere steder i verden og mye kan læres av disse prosjektene når liknende løsninger skal implementeres i Norge. Et smartgrid er en av de viktigste verktøyene vi har for å redusere strømforbruket i Norge, både hos sluttbrukere og i nettet selv.

Man skal studere hvilke teknologivalg som må gjøres for å bane vei for morgendagens intelligente kraftnett, med hovedvekt på kommunikasjonsutvekslingen hos sluttbruker og fra sluttbruker til nettselskapet. I tillegg til den rent tekniske analysen av kommunikasjonsutvekslingen i Norge skal man også kort evaluere det økonomiske aspektet ved en slik utbygging. For å gjøre en vurdering av slike teknologivalg må dagens og fremtidige smartgrid løsninger vurderes opp i mot funksjonaliteten til kravspesifikasjonen for AMS som NVE har lagt ut som et forslag.

Masteroppgaven vil se nærmere på disse problemstillingene:

- Sammenligning av standarder for smartmåleren sin kommunikasjon med smarthus.
- Sammenligning av teknologivalg (kommunikasjonsmedium, standarder og protokoller for overføring av data) for kommunikasjonsvei fra smartmåler til nettselskap.
- Hvordan vil pålegget om bruk av smarte energimålere endre dagens kraftnett, pålitelighet av strømforsyning, potensialet for forbruksreduksjon, introduksjon av nye tjenester, integrasjon av sikkerhetsløsninger og datalagring av sluttbrukerinformasjon om forbruk?

Oppgaven gitt: 31. januar 2010

Hovedveileder: Steinar Andresen, ITEM

Sammendrag

Europa står samlet bak beslutningen om å øke andelen fornybare energikilder med 20%, redusere energiforbruket med 20% og redusere utslippene av drivhusgasser med 20% innen 2020. Enda mer ambisiøse planer er under planlegging frem mot 2050. Det er ingen tvil om at kraftbransjen står sentralt i dette arbeidet da både mye av problemet, store utslipp fra varmekraftverk, og potensielle løsninger, fornybare energi og smarte energiløsninger, er lokalisert innenfor kraftbransjen. Smartgrid er på mange måter kraftbransjens fremtidssikre løsning for å gjøre verden klar for nullutslippssamfunnet.

Dagens kraftnett har nådd slutten på sin teknisk-økonomiske levetid, og har i stor grad unngått den positive teknologiske utviklingen som har foregått de siste 20 årene. Et stort steg i retning av et mer intelligent kraftnett er utbyggingen av et Avansert Måle- og Styringssystem (AMS). Et AMS er endenodene i et smartgrid og samtidig startpunktet for økt intelligens i sluttbrukerens hus. Installasjonen av et komplett toveis-kommunikasjonsnettverk mellom nettselskap og sluttbrukere vil muliggjøre konsepter som sanntidsprising, forbruksutjevning, økt kontroll på forbruk av strøm, integrasjon av elektriske biler og integrasjonen av distribuerte former for kraftproduksjon som solcellepanel og vindturbiner. Dette nye kommunikasjonslaget som legges over det eksisterende kraftnett, kommer til å benytte seg av en rekke ulike kommunikasjonsmedier og nye protokoller og standarder for utveksling av måledata.

NVE har lansert et forslag til endring i forskrift 11. mars 1999 nr. 301 om måling, avregning og samordnet opptreden ved kraftomsetning og fakturering av nettjenester. Dette innebærer at en utredning er i gang angående hvordan strukturen til et AMS skal se ut i Norge, basert på innspill fra andre land som allerede har innført liknende systemer og standardiseringsarbeid som foregår i Europa per i dag.

Formålet med denne masteroppgaven var å undersøke eksisterende kommunikasjonsmedier, standarder og protokoller for utveksling av måledata, for å legge frem et forslag for hvordan et fremtidig AMS kan være bygd opp i Norge. Samtidig ønsket jeg å se på hvordan informasjonen fra såkalte smart-

målere, toveiskommuniserende strømmålere, kunne brukes innad i fremtidige smarthuskonsepter og dets påvirkning på blant annet strømforbruk..

Smartgrid- og AMS-markedet er per i dag ungt og er derfor teknologimesig fortsatt fragmentert. Jeg har likevel på bakgrunn av markedssituasjonen per i dag, standardiseringsarbeid i Europa og pilotprosjekter i hele verden funnet frem til en struktur for hvilke standarder, protokoller og kommunikasjonsmedium som jeg mener er relevant for et AMS i Norge. Jeg vurderte hver av teknologiene og standardene etter 7 ulike kriterier; grad av standardisering, robusthet, skalerbarhet, kostnad, grad av fremtidssikkerhet, funksjonalitet og sikkerhet. Løsningen jeg beskriver er et produkt av en teknologisk vurdering av datamengder, dataformater, kostnader og standardiseringsprosesser i gang per i dag. Avhengig av geografisk lokasjon i Norge, en variabel som samtidig bestemmer befolkningstetthet og eksisterende kommunikasjonsinfrastruktur, anbefaler jeg en løsning basert på PLC(PRIME), mobile teknologier (3G, 4G), eksisterende fibernett og RF mesh-nettverk. For kommunikasjonen fra smartmåler til enheter i huset er konklusjonen at Zigbee tilbyr den mest funksjonelle og skalerbare løsningen for fremtidige smartgrid/smarthus synergier.

Vedrørende dataformater er det viktig at Norge som en liten aktør i markedet bestemmer seg for et format som gir oss et størst mulig marked å handle på, for å kunne redusere investeringskostnadene. Basert på min egen vurdering og standardiseringsprosessene som foregår i Europa, OPENmeter og M/441, har jeg vurdert DLMS/COSEM og SML som de beste kandidatene. Av disse to er det DLMS/COSEM som vil være den beste løsningen for Norge da den per i dag har det største nettverket av samarbeidspartnere samtidig som at det er det foretrukne valget til OPENmeter/M441 organisasjonene.

En AMS-utbygging i Norge er starten på overgangen til et intelligent kraftnett som kommer til å endre hvordan vi forbruker strøm. Samtidig åpner det for helt nye farer ved at vi kobler kontroll over huset opp mot Internett og tredjepartsselskaper. Denne risikoen kan ikke undervurderes, og strategiske grep må gjøres for at implementasjonen av teknologivalgene beskrevet i denne oppgaven skjer med fokus på sikkerhet. Jeg har valgt TCP/IP-familien som

transmisjonsprotokoller for transportlaget og nettverkslaget. Kombinasjonen av IPv6 sin innebygde IPsec sikkerhetspakke og DLMS-organisasjonens fokus på sikkerhet i applikasjonslaget, innebærer en sikkerhet som jeg ser på som tilstrekkelig for et AMS. Dette betyr imidlertid ikke at systemet ikke kan misbrukes, noe som betyr at nettselskapene må utvikle betydelig kompetanse på dette området for å verne om både sine nett og sine sluttbrukere.

Med grunnlag i disse teknologivalgene er det ingen grunn til at Norge skal vente med AMS-investeringene, da meldingsformatene ovenfor støtter alle relevante kommunikasjonsmedium, samtidig som at vi unngår en begrensning på funksjonalitet innad i Norge. Dette skjer ved at DLMS/COSEM-standarden muliggjør en objektbasert implementasjon av funksjonalitet, noe som innebærer at vi kan velge å sette lista høyt for å fortsatt beholde den ledende posisjonen Norge har blant kraftmarkeder i Europa. Det pågående standardiseringsarbeidet i Europa vil med stor sannsynlighet ikke stille flere krav til nasjonale AMS-system enn hva den foreliggende OPENmeter/M441-spesifikasjonen forespeiler. Foruten bruk av prepayment er det norske forslaget til en kravspesifikasjon, utarbeidet i høringsutkastet til NVE, helt likt. Da det i tillegg per i dag foreligger en rekke pilotprosjekter og installasjoner av Avanserte Måle- og Styringssystem (AMS) i land så nærliggende som Sverige, kan vi lære av disse prosjektene og dermed øke sannsynligheten for både økonomisk, energibesparende og driftsmessig suksess i løpet av kort tid etter implementasjon. Dette innebærer at det eneste incentivet Norge har til å vente ytterligere på det europeiske standardiseringsarbeidet er for å gi markedet nok tid til å oppnå produksjon av smartmålere i stor skala. Da NVE allerede har tatt med 3-4 år med planlegging for nettselskapene i Norge er det ingen faktorer som tilsier at et påbud om AMS for landets nettselskap skal utsettes videre. AMS er starten på smartgrid i Norge og vil være en av de viktigste investeringene vi gjør for å nå 20/20/20-målene.

Forord

Denne rapporten er resultatet av min masteroppgave ved Institutt for Telematikk (ITEM) ved fakultet for informasjonsteknologi, matematikk og elektroteknikk (IME) på Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim. Oppgaven ble veiledet av Professor Steinar Hidle Andresen (ITEM) samt Hanne Sæle og Kjell Sand ved SINTEF Olje og energi. Denne rapporten beskriver det teoretiske arbeidet og analyser som ble foretatt fra januar til juni 2010.

Takk til Professor Steinar Hidle Andresen for at han tok på seg å veilede denne oppgaven, som delvis ligger utenfor vårt institutts teknologiske sfære, men samtidig omfavner alle aspektene ved dette fagfeltet som jeg har blitt så engasjert i. En spesiell takk til Hanne Sæle som er grunnen til at denne oppgaven ikke stoppet med min personlige interesse i mulighetene teknologien rundt oss har til å redusere vårt forbruk. Jeg setter stor pris på all tilbakemelding og begrepsopplæring innenfor et helt nytt fagfelt. Våre gode samtaler førte til at jeg kunne trekke mine egne konklusjoner, basert på min egen faglige bakgrunn, i et fagområde som var nytt for meg. Også takk til Kjell Sand som kom med konstruktive tilbakemeldinger på struktur og innhold.

En siste takk går til min samboer og foreldre for å ha støttet meg igjennom alle årene på NTNU.

Christian Haugen

14. Juni, 2010

Innhold

Sammendrag	IV
Forord	VI
Innholdsfortegnelse	VI
Figurliste	XI
Akronymer	XIV
Definisjoner/Begreper	XXI
1 Introduksjon	1
1.1 Mål og avgrensning	1
1.1.1 Metode for vurdering av teknologier, standarder og protokoller for smartgrid	2
1.2 Beskrivelse av oppgavestruktur	3
2 En introduksjon til kraftnettet i Norge	5
2.1 Produksjon av elektrisitet i Norge	6
2.2 Aktører i kraftsektoren	7
2.3 Overføringsnettet	9
2.4 Nettselskapenes rolle i neste generasjons kraftmarked	10
3 Hva er et smartgrid?	13
3.1 Drivere og barrierer for smartgrid	16
3.1.1 Drivere for smartgrid	16
3.1.2 Barrierer for smartgrid	20
3.2 Investeringer i neste generasjons kraftnett	22
3.3 Smartgrid og miljøet	23
4 AMS - Avanserte Måle- og Styringssystem	27
4.1 Formål med AMS	28
4.2 AMS i Norge	29

4.2.1	Norske krav til AMS	30
5	Organisasjoner og standardiseringsorganer	35
5.1	Gridwise	35
5.2	Smartgrids Europe	36
5.3	European Energy Regulators CEER og ERGEG	36
5.4	NEMA	37
5.5	NIST	37
5.6	CEN	38
5.7	CENELEC	38
5.8	ETSI	38
5.9	M/441 og OPENmeter	39
6	Oversikt over pilotprosjekter for smartgrid og AMS	41
6.1	Europa	41
6.1.1	Sverige	42
6.1.2	Italia	44
6.1.3	Nederland	47
6.1.4	Storbritannia	48
6.1.5	Tyskland	49
6.1.6	Spania og Portugal	50
6.2	Nord-Amerika	51
6.2.1	Canada	51
6.2.2	USA	51
6.3	Asia og Stillehavsregionen	53
6.3.1	Kina	53
6.3.2	Australia	53
6.3.3	Sør-Korea	53
7	Fra passive til aktive energiforbrukere	55
7.1	Smarthus og smartgrid	55
7.2	PHEV PEV og V2G	58
7.2.1	Potensialet for V2G i Norge	59
7.3	Forbruksutjevning og reduksjon i energiforbruk	60

7.3.1	IHD - In-Home Displays	64
7.3.2	Forbruksutjevning i Norge - en umulighet?	67
8	Fra sentraliserte til desentraliserte kraftverk	69
8.1	Mikrokraftnett	71
8.2	Virtuell Kraftproduksjon	71
8.3	Egenproduksjon av energi	72
8.4	Energilagring	73
9	Definisjon av vurderingskategorier	75
10	Kommunikasjonsstandarder for morgendagens smarthus	79
10.1	Trådløse standarder for smarthusimplementasjon	80
10.1.1	Zigbee	83
10.1.2	Z-Wave	85
10.2	Kabelbaserte teknologier for smarthusimplementasjon	87
10.2.1	LonWorks	87
10.2.2	KNX	89
10.3	Mellomvareteknologier for interoperabilitet	90
10.4	Anbefalinger vedrørende smarthusstandarder for Home Area Network (HAN)	91
11	Medium, protokoller og standarder for kommunikasjon i AMS	93
11.1	Informasjonsutveksling i kraftbransjen	95
11.2	Alt over IP?	96
11.2.1	Private eller offentlige kommunikasjonsmedium	98
11.3	Kommunikasjonsmedium	98
11.3.1	Fiber	100
11.3.2	xDSL	101
11.3.3	Kabel-TV/HFC	102
11.3.4	PLC - Power Line Communication	102
11.3.5	IEEE 802.16/WiMax	104
11.3.6	RF	104
11.3.7	GSM/UMTS/HSPA/LTE	106

11.4	Eksisterende dataformater for AMS	107
11.4.1	IEC 61850	108
11.4.2	IEC 62056-21 "Flag" / IEC61107	108
11.4.3	Sitred	108
11.4.4	M-Bus	109
11.4.5	SML	109
11.4.6	DLMS/COSEM - IEC 62056	110
11.4.7	IEC 62056-31 "Euridis"	111
11.4.8	DPWS	111
11.4.9	ODEL/GS2	112
11.4.10	EDIEL/EDIFACT - PRODAT, MSCONS, UTILTS . .	112
11.5	Mellomvareteknologier for interoperabilitet	113
11.6	Analyse av potensielle datakrav for AMS-systemer	114
11.6.1	Vurdering av total AMS-datatrafikk i Norge	115
11.7	Økonomisk vurdering av ulike AMS-systemer	117
11.8	Anbefalinger vedrørende medium, protokoller og standarder for kommunikasjon i AMS	119
11.8.1	Kommunikasjonsmedium	119
11.8.2	Dataformater	122
12	Foreslått teknologiplattform	125
12.1	Foreslått teknologisk plattform	127
12.1.1	Standard for smarthuskommunikasjon	127
12.1.2	Applikasjonslaget	128
12.1.3	Nettverkslaget	129
12.1.4	Det fysiske laget	129
13	Datasikkerhet og personvern hensyn i et smartgrid	133
13.1	Svindel	134
13.2	Koordinerte angrep mot eksisterende AMS-teknologi	134
13.3	Misbruk av sluttbrukerens personlige forbruksdata	135
13.4	Sentral eller desentraliserte måledatabaser	136
13.5	Sikkerhetsvurdering av anbefalt løsning	137

14 Konklusjon	139
Bibliografi	142
Tillegg	153
A Analyseresultater Smarthusteknologier	155
B Analyseresultater Transmisjonsmedium	156
C Analyseresultater Dataformater	157
D Bakgrunnsmateriale for radardiagrammer	159

Figurer

1.1	AMS-delen av et smartgrid	2
2.1	Gjennomsnittlig krafproduksjon fordelt etter kilde 2000-2007	7
2.2	Ulike aktører i kraftbransjen [34]	8
2.3	Oversikt mellom relasjonene i det norske kraftnettet [47]	9
3.1	Fremtidig kraftnett - Smart Grid [91]	15
3.2	AMS sin del av det totale smartgrid-bildet [90]	17
3.3	Smart2020 sitt estimat på CO2-reduksjon ved implementasjon av smartgrid-teknologi [106]	24
3.4	Hvorfor smartgrid er en driver for et grønnere kraftnett [94]	25
4.1	Sammenligning mellom NVE sine krav og OpenMeter/M441 spesifikasjonene	33
6.1	AMS i Europa per i dag [13]	42
6.2	Telegestore Systemarkitektur [10]	46
6.3	NTA-8130 strukturelt design	48
7.1	Fra passive til aktive energiforbrukere	56
7.2	Typiske husholdningsforbruk per time fra REMODECE forsk- ningsprosjektet [50]	61
7.3	In-Home Displays	66
10.1	Stukturelt design av et smarthus	81
10.2	Grafisk vurdering av de ulike smarthusstandardene	92
11.1	Oversikt over informasjonsutveksling per 2006 [78]	95
11.2	TCP/IP-protokollstruktur [95]	96
11.3	Eksempel på arkitektur med PLC kommunikasjon [57]	104
11.4	Eksempel på masketopologi i et RF kommunikasjonsnett [30]	105
11.5	Oversetting av ulike dataformat ved bruk av Powel ELIN data løsningen [78]	114
11.6	Kostnad per smartmåler over tid [23]	118

11.7 Grafisk vurdering av de ulike kommunikasjonsmediene	120
11.8 Grafisk vurdering av de ulike dataformatene	122
12.1 Oversikt over standarder og protokoller for kommunikasjon mellom smarthus og smartgrid	126
12.2 OSI basert kommunikasjonsmodell for AMS i Norge og kom- munikasjonsledd mot HAN	127
12.3 Zigbee radardiagram	128
12.4 Grafisk vurdering av de valgte dataformatene	129
12.5 Grafisk vurdering av valgte kommunikasjonsmedier	131
A.1 Analyse av smarthusprotokoller	155
B.2 Analyse av transmisjonsmedium	156
C.3 Analyse av dataformater del I	157
C.4 Analyse av dataformater del II	158

Akronymer

ADDRESS	Active Distribution network with full integration of Demand and distributed energy RESourceS
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AEEG	Autorità per l'energia elettrica e il gas
AES	Advanced Encryption Standard
AMM	Automatic Meter Managment
AMO	Association of Meter Operators
AMS	Avanserte Måle- og Styringssystem
ANSI	American National Standards Institute
APDU	Application Protocol Data Units
API	Application Programming Interface
ARRA	American Recovery and Reinvestment Act
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BERR	Department for Business, Enterprise and Regulatory Reform
BPL	Broadband over Power Line
BPSK	Binary phase-shift keying
CABA	Continental Automated Buildings Association
CAS	Central Access Server
CEER	Council of European Energy Regulators
CEN	European Committee for Standardization
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization

CHAP	Challenge-Handshake Authentication Protocol
COM	Microsoft Component Object Model
CORBRA	Common Object Request Broker Architecture
COSEM	Companion Specification for Energy Metering
DEFRA	Departement of Environment, Food and Rural Affairs
DER	Distributed Energy Resources
DLC	Distribution Line Carrier
DLMS	Device Language Message Specification
DOE	Department of Energy
DPWS	Devices Profile for Web Services
DRSG	Demand Response and Smart Grid Coalition
EDF	Electricite de France
EDI	Electronic Data Interchange
EDSN	Energie Data Services Nederland
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
ESO	European Standards Organizations
EISA	Energy Independence and Security Act
EPRI	Electronic Power Research Institute
ERA	Energy Retailers Association
ERDF	Électricité Réseau Distribution France
ERDF	European Regional Development Fund
ERREG	European Regulators Group for Electricity and Gas

ESMA	European Smart Metering Alliance
ESMIG	European Smart Metering Industry Group
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FERC	Federal Energy Regulatory Commission
FP5	Fifth Framework Programme
FP7	Seventh Framework Programme
FSK	Frequency Shift Keying
FTTH	fiber to the home
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HAN	Home Area Network
HDLC	High-level Data Link Control
HFC	Hybrid Fibre-Coaxial
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSPA+	Evolved High Speed Packet Access (HSPA)
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IEA	Det internasjonale energibyrådet
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IHD	In-Home Displays

IKT	Informasjon- og Kommunikasjonsteknologi
IP	Internet Protocol
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPv4	Internet Protocol (IP) version 4
IPv6	IP version 6
IR	Infrared
IRED	Integration of Renewable Energy Sources and Distributed Generation into the European Electricity Grid
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISM	industrial, scientific and medical
ISO	International Organization for Standardization
JIP	Justert innmatingsprofil
J2EE	Sun's Java 2 Enterprise Edition
KIS	Kundeinformasjonssystem
KSGA	Korea Smart Grid Association
LR-WPAN	low-rate wireless personal area networks
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Control
M-Bus	Meter bus
MIBEL	Iberian Electricity Market
MVDB	Målerverdidatabasen
NDA	Non-Disclosure Agreement

NEMA	National Electrical Manufacturers Association
NES	Networked Energy Systems
NIST	National Institute of Standards and Technology
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
OASIS	Organization for the Advancement of Structured Information Standards
ODEL	Object oriented datamodell for electricity supply
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OED	Olje- og energidepartementet
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFGEM	Office of Gas and Electricity Markets
OSI	Open System Interconnection
PEV	Plug-in Electrical Vehicles
PHEV	Plug-in Hybrid Electrical Vehicles
PL	Power Line
PLC	Power Line Communication
PPP	Point-to-Point Protocol
PRIME	Powerline Intelligent Metering Evolution
PSTN	Public Switched Telephone System
RAND	Reasonable and Non-Discriminatory
RF	Radio Frequency
SAMS	Svenska Mätsamarbetet

SDD	Strategic Deployment Document
SGA	Smart Grid Australia
SGIG	Smart Grid Investment Grant
SM-CG	Smart Meters Co-Ordination Group
SML	Smart Message Language
SNR	signal noise ratio
SOAP	Service Oriented Architecture Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
TCP/IP	Transmission Control Protocol (TCP)/IP
ToU	Time of Use
TP	Twisted Pair
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UPnP	Universal Plug and Play
U-SNAP	Utility Smart Network Access Port
V2G	Vehicle to Grid
W3C	World Wide Web Consortium
WPAN	Wireless Personal Area Network
xDSL	x Digital Subscriber Line
XML	eXstensible Markup Language
ÖIS	Öppet Insamlingsystem

Definisjoner/Begreper

Sluttbruker En sluttbruker er personen, huststanden eller bedriften som er ansvarlig for betalingen av målt forbruk av strøm registrert av strømmåleren.

Forbruksutjevning Forbruksutjevning er prosessen med å jevne ut forbruket til sluttbrukerne til et nettselskap ved hjelp av prisinsentiver eller automatiserte systemer for kontroll av elektriske enheter som varmtvannstanker eller el-biler.

Måledata Måledata er tallet på strømmåleren/smartmåleren som beskriver forbruk på avlest tidspunkt til en sluttbruker. Disse rapporteres per i dag manuelt inn en gang i kvartalet, men skal rapporteres inn automatisk av et fremtidig AMS-system.

Protokoller er en formell beskrivelse av meldingsformater og reglene for å utveksle disse meldingene.

Standarder er en samling protokoller som sammen skal utføre en spesifikk funksjon.

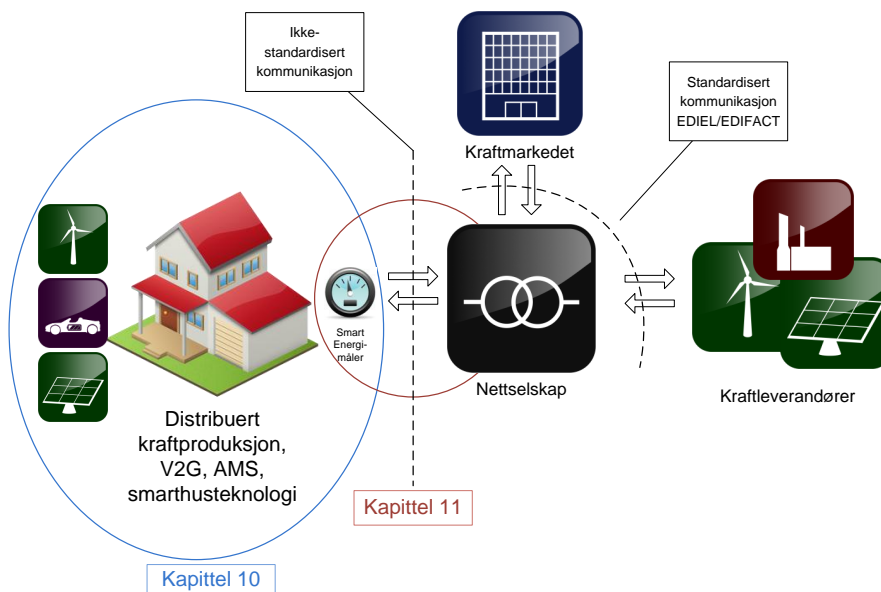
1

Introduksjon

1.1 Mål og avgrensning

Hovedmålet med denne oppgaven er å se nærmere på de tekniske sidene ved informasjonsutvekslingen i neste generasjons kraftnett i Norge. Jeg vil samtidig vurdere mulighetene som et smartgrid og AMS bærer med seg og se på det i relasjon til det norske markedet. Jeg fokuserer spesielt på kommunikasjonen med nettselskapet samt kommunikasjonsaspektet innad i sluttbrukerens hus. Hovedfokus ligger derfor på standarder og teknologier bak AMS og hvordan dette kan integreres i et smarthus. Jeg ser spesielt på kommunikasjonsmedium og flyt av data, og hvordan den teknologiske utviklingen på dette området kommer til å være i Norge i nærmeste fremtid. Det finnes allerede mange sammenfattende dokumenter og oppgaver rundt smartgrid-teknologi, denne oppgaven prøver å dekke område i krysningen mellom elkraft og kommunikasjonsteknologi som det så langt ikke har blitt satt nok fokus på. Med tanke på at et kommende smartgrid er en synergi av kunnskapene til elkraft- og IKT-bransjen, er det viktig at begge sidene får brukt sin kompetanse i dette spennende neste kapitlet av norsk kraftnetthistorie. Oppgavens tverrfaglighet har ført til at jeg har lagt vekt på begrepsforklaringer og utdyping av grunnleggende teori innenfor hvert av feltene for å gjøre denne rapporten mulig å lese sett med både elkraft- og IKT-øyne. Dette har til tider gått på bekostning av dybden på teknologibeskrivelsene mine fra både elkraft og IKT. Figur 1.1 nedenfor viser en minimalisert fremstilling av et smartgrid og

hvor fokusen i oppgaven min kommer til å ligge.



Figur 1.1: AMS-delen av et smartgrid

1.1.1 Metode for vurdering av teknologier, standarder og protokoller for smartgrid

Informasjonsfeltet smartgrid er stort og AMS er en stor del av dette igjen. Jeg har som nevnt tidligere valgt å se på to grensesnitt i et slikt system, smartmåler til Home Area Network (HAN) og smartmåler til nettselskap. Dette innebærer at jeg ser på transmisjonsmedium, dataformater og relevante standarder og protokoller som kan brukes til dette formålet. For å vurdere teknologiene har jeg gjort et grundig litteraturstudie hvor jeg til slutt kartlegger funksjonaliteten til teknologiene satt opp mot norske krav ved bruk av radardiagrammer. Resultatet av denne kartleggingen av teknologier gir til slutt et subsett av relevante teknologier, standarder og protokoller som jeg anbefaler for bruk i det norske markedet. Definisjoner på mine kriterier for vurdering finnes i kapittel 9 mens samtlige radardiagrammer for teknologier beskrevet i denne oppgaven finnes i vedlegget til denne oppgaven.

1.2 Beskrivelse av oppgavestruktur

Under er en kort guide for å gi et overblikk over kapitlene i dette dokumentet:

Kapittel 1 Gir en introduksjon til oppgaven samt å definere mål og avgrensning.

Kapittel 2 En innføring i det norske kraftnettet. Beskrivelse av produksjon, overføring og forbruk av strøm i Norge

Kapittel 3 En generell introduksjon til smartgrid. Drivere og barrierer for smartgrid samt en beskrivelse av hva smartgrid kan gjøre for miljøet i Norge.

Kapittel 4 Beskrivelse av AMS-teknologi og hva den kan gjøre for det norske kraftnettet.

Kapittel 5 Oversikt over organisasjoner og standardiseringsorganer som er involvert med teknologi- og standardutviklingen per i dag. Fokus på amerikanske og europeiske organisasjoner.

Kapittel 6 Aktuelle pilotprosjekter som Norge kan lære av gruppert etter verdensdeler.

Kapittel 7 En beskrivelse av hvordan dagens sluttbrukere går fra en passiv rolle som forbrukere til aktive energiaktører i et mer dynamisk marked gjort mulig av smartgrid-teknologi.

Kapittel 8 Tar for seg hvordan kraftnettet endrer seg i takt med endringene hos forbrukerne beskrevet i kapittel 7. Dette innebærer en endring fra dagens sentraliserte kraftnett til desentraliserte mikrokraftnett med produksjon av kraft i mindre skala.

Kapittel 9 Definisjon av vurderingskategorier beskriver hva jeg legger i de ulike kategoriene som jeg har vurdert samtlige av teknologiene i denne oppgaven utifra.

Kapittel 10 Beskrivelse og vurdering av kommunikasjonstandarder for smart-
hus.

Kapittel 11 Inngående beskrivelse av dagens teknologistandarder og kom-
munikasjonsprotokoller for morgendagens kraftnett. Inneholder vurde-
ringer av ulike kommunikasjonsmedium samt standarder og transport-
protokoller som skal operere på toppen av disse, med bakgrunn i en
personlig vurdering av potensielle datakrav for et AMS-system i Nor-
ge.

Kapittel 12 Foreslått teknologiplattform for smarthus- og smartgridkom-
munikasjon.

Kapittel 13 Introduksjon til de potensielle farene som en digitalisering av
kommunikasjonen i et smartgrid medfører samt en diskusjon rundt bru-
ken og lagring av sluttbrukerens personlige forbruksdata.

Kapittel 14 Avsluttende konklusjon og oppsummering.

Vedlegg Består av samtlige radardiagrammer for analyserte teknologier gjort
i denne oppgaven samt tallgrunnlaget som disse diagrammene er laget
utifra.

2

En introduksjon til kraftnettet i Norge

For å kunne forstå mye av terminologien, samt de ulike aspektene ved smartgrid sitt potensiale i Norge, starter jeg denne masteroppgaven med et kort innblikk i hvordan kraft produseres, distribueres og forbrukes i Norge per i dag.

Det er Stortinget som setter de politiske rammene for energi- og vannressursforvaltning i Norge. Olje- og energidepartementet (OED) har det overordnede forvaltningsansvaret, samt å påse at denne forvaltningen utføres etter de retningslinjene som Stortinget har vedtatt. OED består av fire avdelinger; økonomi- og administrasjonsavdelingen, energi- og vannressursavdelingen, olje- og gassavdelingen samt avdelingen for klima, industri og teknologi. Det er energi- og vannressursavdelingen som har ansvaret for den delen av kraftnettet i Norge som denne oppgaven er vinklet mot, og de har dermed ansvaret for forvaltningen av vannressurser og øvrige innenlandske energikilder. Avdelingen ivaretar også Statens eierfunksjoner i Statnett og Enova. Avdelingen består også av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) som er OED sitt fagdirektorat for forvaltning av energi- og vassdragsressursene i Fastlands-Norge.

NVE har ifølge OED ansvaret for å [34]:

Sikre en helhetlig og miljøvennlig forvaltning av vassdragene, fremme en effektiv kraftomsetning, kostnadseffektive energisystemer og bidra til effektiv energibruk.

Statnett har ansvaret for å bygge og drifte sentralnettet i Norge. Foretaket ble stiftet i 1992 og eier 87% av sentralnettet. Statnett har også systeman-

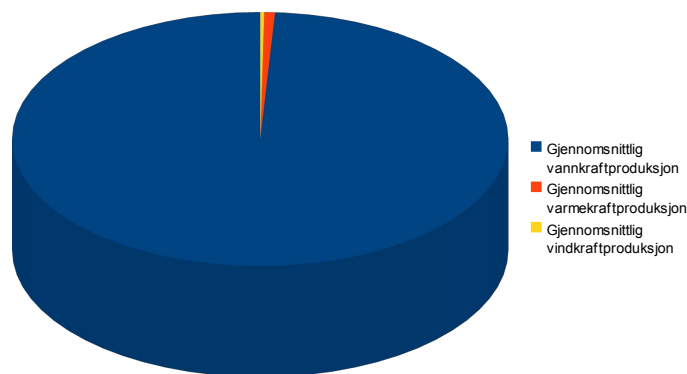
svaret i Norge på både kort og lang sikt. Dette innebærer at ansvaret for å sikre momentan kraftbalanse og tilrettelegging av leveringskvalitet i hele landet ligger hos Statnett. Inntektene til Statnett er underlagt NVEs monopolkontroll [34].

Enova ble stiftet i 2001 og tok i 2002 over ansvaret for statens arbeid knyttet til omlegging av energibruk og energiproduksjon. Enova får sine inntekter fra et energifond som finansieres av et påslag på nettariffen på 1 øre per kWh, samt en investering fra Grunnfondet for fornybar energi og energi-effektivisering. Enova har som mål å fremme mer effektiv energibruk, økt produksjon av fornybar energi og miljøvennlig bruk av naturgass.

2.1 Produksjon av elektrisitet i Norge

Den totale elektrisitetsproduksjonen i Norge i 2007 var på 137 TWh. Denne produksjonen kom fra vannkraft, varmekraftverk (olje, kull og gass) og vindkraftverk med henholdsvis om lag 135 TWh fra vann, 1,5 TWh fra varmekraftverk og 0,9 TWh fra vindkraft. Den produserte energimengden (MWh) er produktet av gjennomsnittlig effekt på kraftverket (Watt) og tiden som det produserer kraft (timer). Den norske kraftproduksjonskapasiteten har tradisjonelt vært avhengig av tilsiget, vannmengden som renner til et kraftverk fra dets lokale nedbørfelt. Dette har i de siste årene endret seg ved at vindkraft og gasskraftverk utgjør en økende del av kraftproduksjonen. Nedbørsmengden vil likevel helt klart være den mest avgjørende faktoren for å regne ut potensiell kraftproduksjon, da vannkraft kommer til å være den dominerende kraftformen i overskuelig fremtid.

En stor fordel med vannkraft er at vannets potensielle energi kan lagres i reguleringsmagasiner. Dette gjør at det er lettere å opprettholde kraft og effektbalansen som alltid må være tilstede i et kraftnett. Den økte sammenkoblingen av kraftmarkedene i Europa har ført til at kraftbalansen i Norge ikke er like avhengig av tilsiget, da vi kan importere kraft hvis det har vært lite nedbør.

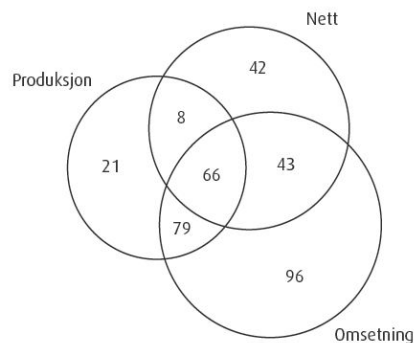


Figur 2.1: Gjennomsnittlig krafproduksjon fordelt etter kilde 2000-2007

2.2 Aktører i kraftsektoren

Kraftsektoren er organisert rundt de forskjellige aktivitetene; produksjon, distribusjon og omsetning av kraft. Følgende betegnelser på selskaper i kraftbransjen benyttes avhengig av virksomhet; produksjonsselskaper, nettselskaper, omsetningsselskaper, vertikalt integrerte selskaper eller industriverk. I tillegg til dette finnes det selskaper som kun driver med megling og trading av kraftkontrakter. Den nordiske kraftbørsen Nord Pool består av 420 medlemmer fra 20 land. Den norske kraftsektoren kan beskrives som særegen da den består av et stort offentlig eierskap og et mangfold av ulike aktører. Figur 2.2 viser også at det er et stort antall aktører som driver med både to og tre av de nevnte aktivitetene i kraftsektoren. Disse selskapene betegnes ofte som vertikalt integrerte selskaper hvis de har to eller tre av disse aktivitetene innefor den samme juridiske enheten. Det er per 2008 355 selskaper som har omsetningskonsesjon i Norge [34]. Av de kraftproduserende selskapene eier kommuner og fylkeskommuner om lag 52%, Staten gjennom Statkraft om lag 36% og private selskaper 12%. Omsetningsselskaper er selskaper som ikke eier noe nett eller kraftproduksjon selv, men som kjøper kraft i markedet for å så selge den videre. Kraftmeglere og -trudere kjøper ikke kraft selv, men formidler kjøp og salg på vegne av en kunde. Denne typen forretning krever ikke omsetningskonsesjon hvis salget bare foregår i det finansielle markedet. Figur 2.2 viser hvor de ulike aktørene i kraftmarkedet er plassert mens 2.3

viser en oversikt over aktørene i kraftmarkedet.



Figur 2.2: Ulike aktører i kraftbransjen [34]

Nettselskapene er sluttbrukerens kontaktpunkt til kraftnettet. De er monopolistiske eiere av det lokale distribusjonsnettet og er ansvarlig for måling og avregning i tillegg til overføring av kraft til sluttbrukeren.

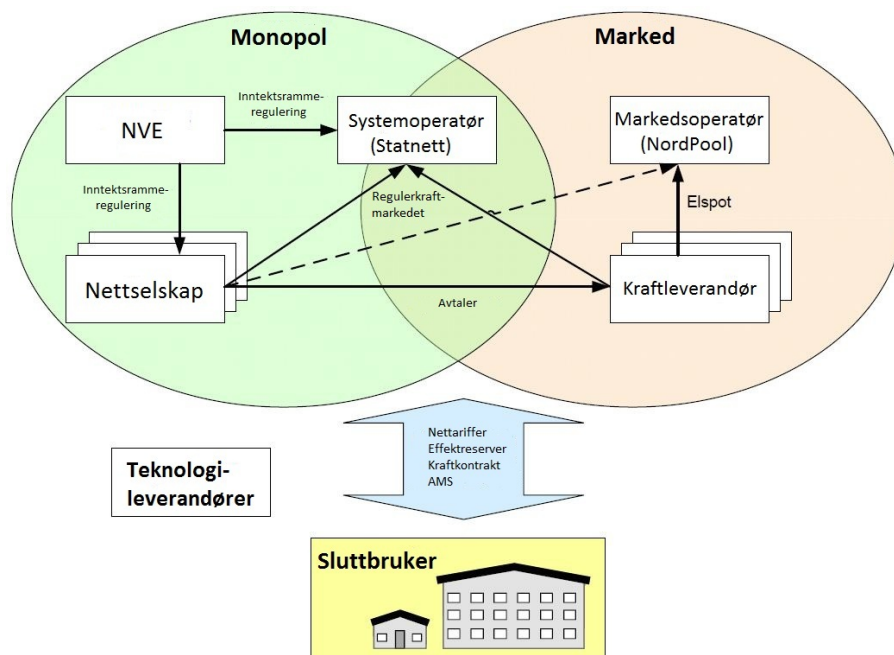
Statnett er den norske systemoperatøren, og er ansvarlig for å utvikle og drifte det sentrale kraftnettet slik at det til enhver tid møter de kravene samfunnet har til energisektoren.

Kraftleverandørene/Produksjonsselskapene produserer, selger og kjøper kraft på Nord Pool. De kommuniserer direkte med Statnett da de er balanseansvarlige for kraftnettbalansen i sitt område.

Nord Pool er mardedsoperatøren og ivaretar en kraftbørs som muliggjør kjøp og salg av kraft. Kommuniserer direkte med kraftleverandørere for å sette prisene på kraft basert på anmeldelser om produksjon og forbruk.

Sluttbruker kjøper kraft basert på kraftkontrakter med kraftleverandøren og betaler nettleie til sitt lokale nettselskap.

NVE er reguleringsorganet som ivaretar monopolkontrollen og dermed setter rammebetingelsene for kraftmarkedet. Disse rammebetingelsene regulerer inntektene til nettselskapet.



Figur 2.3: Oversikt mellom relasjonene i det norske kraftnettet [47]

2.3 Overføringsnett

Overføringsnett i Norge kan deles inn i tre nivåer; sentralnettet, regionale nett og lokale nett. Sentralnettet er hovedveien i kraftsystemet og binder sammen alle de regionale og lokale nettene til et landsdekkende kraftnett. Forbindelser med andre land dekkes også av sentralnettet. Sentralnettet har høy kapasitet og er som regel høyspenningsnett. Regionalnettene har også høy kapasitet, men dekker bare en region. Regionalnettene kan ses på som bindeleddet mellom sentralnettet og distribusjonsnettene som sluttbrukerne har direkte kontakt med. De lokale nettene (distribusjonsnettene) sørger for kraft til sluttbrukerne mens den kraftintensive industrien ofte er koblet direkte til de regionale nettene.

De lokale nettene har spenningsnivåer opp til 22 kV, men transformeres ned til 220 V før elektrisiteten leveres til sluttbrukeren. Da det ikke er samfunnsmessig lønnsomt å bygge parallelle overføringslinjer i områder som allerede har kapasitet nok i det eksisterende lokalnettet, gjør dette at nett-

virksomhet karakteriseres som et naturlig monopol. En konsekvens av dette er at sluttbrukeren er bundet til sitt lokale nettselskap, som igjen kontrolleres av myndighetene gjennom en monopolkontroll for å unngå at monopolsituasjonen utnyttes. Med bakgrunn i energiloven har alle sluttbrukere rett på ikke-diskriminerende og objektive punkttariffer og vilkår, samt at det lokale nettselskapet er påbudt å sikre alle sluttbrukere tilgang til kraftmarkedet.

Nettselskapene får primært sine inntekter fra overføringstariffer. Dette er tariffer som dekker nettleie og innmatingstariff for kraftprodusenter. Det er også nettselskapene som er ansvarlig for måling og avregning.

2.4 Nettselskapenes rolle i neste generasjons kraftmarked

Da det er nettselskapene som i Norge er ansvarlige for måling, avregning og overføring av kraft til sluttbruker, er det også nettselskapene som kommer til å merke den største endringen av å innføre intelligens i kraftnettene. Jeg kommer derfor til å fokusere på nettselskapenes nye rolle i morgendagens kraftmarked, da sluttbrukerens opplevelse av et mer effektivt og moderne kraftnett er avhengig av nettselskapets tilpasning til en ny informasjonsteknologisk hverdag.

Det norske kraftnettene inneholder omfattende og moderne IKT-systemer som gjør oss til en av de globale lederne innenfor kraftbransjen. Dette gjelder imidlertid ikke distribusjonsnettene, som er hovedfokus for denne oppgaven. Graden av standardisering og samspill i det nordiske kraftmarkedet er enestående, og er en inspirasjon for andre kraftmarkeder rundt om i verden. Den sterke monopolreguleringen og svake økonomiske insentiver fører imidlertid til at innovasjonen har vært begrenset i forhold til nyvinninger som AMS i distribusjonsnettene. Det er derfor viktig at reguleringene som per i dag bestemmer hvordan nettselskapene skal operere endres. Dette er viktig for at den økonomiske gevinsten ved å innovere økes slik at det norske kraftnettene fortsatt skal beholde en ledende posisjon i verdensmarkedet.

Den norske energiloven fra 1990 [33] åpnet for utvidet konkurranse in-

nenfor produksjon og omsetning av kraft. I løpet av 90-tallet førte dette til at en rekke nettselskap tok grep for å sikre lojaliteten fra sluttbrukere i sitt eget distribusjonsnett. Utbyggingen av tripple-play-løsninger er en del av utviklingen som kom av liberaliseringen i valg av kraftprodusent for sluttbruker. Dette har blitt etterfulgt av andre tjenester som fjernvarme i visse deler av landet. Disse investeringene har kommet som en følge av ønsket om å sikre kundelojalitet i sammenheng med et ønske om å utvide forretningsplattformen for å øke profitten. Endringsomfanget introdusert av AMS- og smartgrid-teknologi er stort, og vil i fremtiden kreve store investeringer. Avenir sin rapport "Nettselskapenes rolle med AMS" [9] tar nettopp for seg dette da de fortsatt ser på nettselskapets rolle som monopolist som viktig for morgendagens kraftnett også. De store investeringene som er basis for AMS og smartgrid kan likevel stå i fare for en dominerende monopolistisk kontrollfunksjon. Dette innebærer at de teknologiske ambisjonene i nettselskapenes fremtidsplaner kan økonomisk bli vanskelig å gjennomføre da reguleringene de følger hindrer innovasjon. Avenir mener at det er viktig å løfte fram nettselskapet i en rolle som vital pådriver, markedsaktør, eier og driftsoperatør for kraftinfrastrukturen relatert til miljøorientert og effektiv bruk av energi. Det er derfor NVE er ansvarlig for at reguleringene de foreslår kan på best mulig måte legge opp til insentiver som bidrar til realisering av effektive og samfunnsøkonomiske tiltak som AMS.

3

Hva er et smartgrid?

Smartgrid er et samlebegrep som omfatter en hel del utvidelser, nyvinninger og totale omstruktureringer av dagens kraftnett. Smartgrid er blitt et moteord, noe som gjør at det finnes en mengde definisjoner som forklarer hva temaet innebærer avhengig av hvilken organisasjon, produsent eller enkeltindivid som forfatter det. Jeg velger å benytte meg av Electronic Power Research Institute (EPRI) sin definisjon [105]:

"The term smart grid refers to a modernization of the electricity delivery system so it monitors, protects, and automatically optimizes the operation of its interconnected elements - from the central and distributed generator through the high-voltage network and distribution system, to industrial users and building automation systems, to energy storage installations and to end-use consumers and their thermostats, electric vehicles, appliances, and other household devices."

Denne definisjonen er vid nok til å omfatte alle felt som jeg mener er essensielle for at synergien mellom elkraft og kommunikasjonsteknologi skal skape et økosystem som fører med seg positive effekter for både produsent, leverandør, sluttbruker og miljø. I en rapport fra U.S Department of Energy [84] blir det estimert at byggingen av et smartgrid i USA vil redusere CO₂-utslippene fra kraftbransjen med mellom 12- og 18%. I Norge per i dag er AMS et stort diskusjonstema da staten har planer om å gjøre en installasjon av automatiske målesystem, heretter kalt smartmålere, obligatorisk for alle kunder. Disse smartmålerne skal være de intelligente endenodene i nestege-

nerasjons kraftnett. AMS er derfor bare det første steget mot et smartgrid, på samme måte som utviklingen av Internettet førte til en aggregering av intelligens i det daværende uintelligente analoge svitsjede telefoninettet hvor datatrafikk etterhvert tok over for taletrafikk. Analogien mellom telefoninettet og dagens multikommunikasjonsnett, hvor alt fra data til stemme og video føres over i høy hastighet, brukes ofte da mange mener at vi står overfor en liknende revolusjon i kraftnett. Dette fordi formålet med en introduksjon av intelligens i kraftnett ikke bare er å modernisere det, men også å gjøre det klart for fortsatt ikke-utviklede tjenester som kan revolusjonere kraftnettets funksjon i dagens samfunn. Målet per i dag med smartgrid er å gjøre kraftnett mer stabilt, legge til rette for energisparing, muliggjøre samhandling med elektriske biler, klargjøre for fornybare energikilder og distribuert produksjon, tilrettelegge for egenproduksjon av strøm som vi kan selge tilbake til kraftnett samt å optimalisere overføring av energi og administrasjonen av dette. Formålet med Internett var å utveksle informasjon mellom forskningsinstitusjoner, noe som ble kraftig effektivisert med Bernard Lee sin oppfinnelse av http-protokollen. Hvilke lignende nyvinninger og oppfinnelser som et standardisert kraftnett, bygd på åpne og sikre protokoller, gjør mulig er vanskelig å forestille seg. Det vil uten tvil ikke ta lang tid før kraftnettets Ebay eller Facebook dukker opp.

Morgendagens smartgrid vil være strukturelt nesten likt som dagens konvensjonelle nett. Det vil bestå av aluminium, kobber og jern og vil være et gjennomtenkt høyspenningsnett bygd for å kunne overføre og balansere fremtidens energiresurser. Hovedforskjellen ligger i det intelligente kommunikasjonslaget som legges som en usynlig lag over hele overføringsnettet fra produksjon til sluttbruker. Dette vil gjøre at intelligent kontroll av produksjon, overføring og forbruk blir mulig.

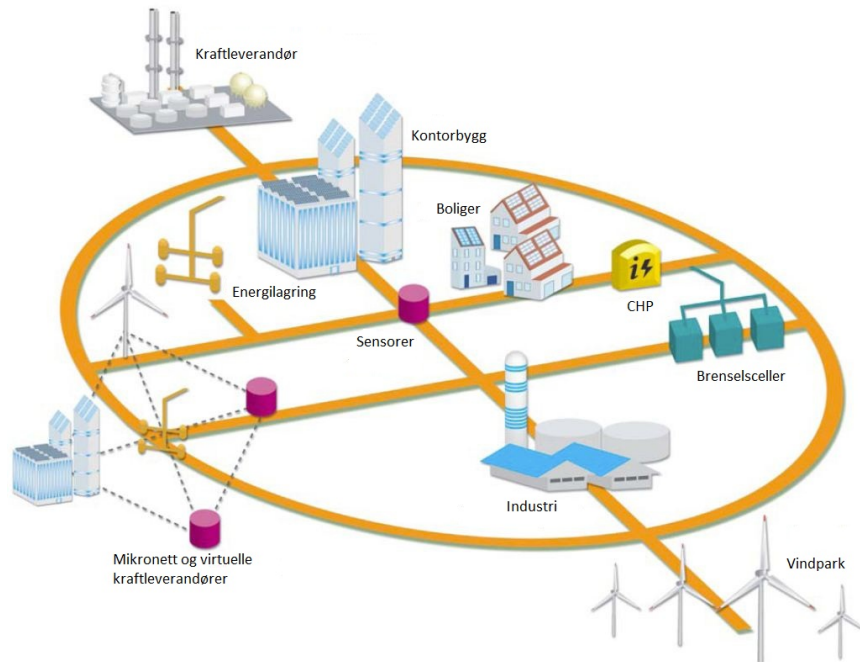
I likhet med EPRI [94] mener jeg at utviklingen mot et mer intelligent kraftnett består av fire hovedfelt som vil påvirke hvordan vi produserer, kjøper, selger og forbruker strøm.

Økt inkludering av kommunikasjonsteknologi er den viktigste utviklingen fra dagens enveiskommuniserende kraftnett til det toveiskommuniserende intelligente kraftnett som et smartgrid er.

Innovative prisbestemmelser og reguleringer muliggjør økt energieffektivitet ved å øke insentivene for både produsenter og sluttbrukere. Dette innebærer dynamiske prismodeller som vil påvirke hvordan og når forbruket er høyest. Reguleringer er viktige for at nettselskap og kraftleverandører skal ha insentiver for å iverksette programmer som øker både sin egen og sluttbrukerens energieffektivitet.

Intelligente endenoder - smartmålere gir sluttbrukeren verktøy for å synliggjøre sitt eget forbruk samtidig som det gir nettselskapene viktig forbruksstatistikk og feilkildehåndteringsinformasjon. Smartmålere tilbyr sluttbrukere en helt annen forbruksfleksibilitet enn det statiske forbruket vi er vant med i dag.

Innovative markeder innebærer at reguleringer gjort av myndighetene skal utformes slik at et selvstendig marked selv kan effektivisere energibruken sin med grunnlag i progressive energieffektiviseringsprogrammer.



Figur 3.1: Fremtidig kraftnett - Smart Grid [91]

3.1 Drivere og barrierer for smartgrid

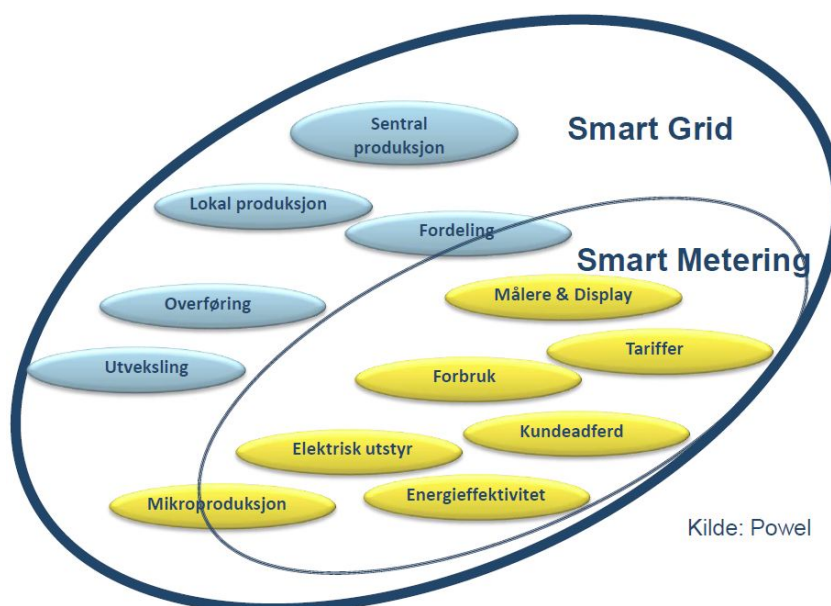
Den inkrementelle utviklingen som kraftnettet har opplevd frem til nå ville på et eller annet tidspunkt ha ført til en introduksjon av digitale sensorer i samme grad som det smartgrid jeg har beskrevet i denne oppgaven. Problemet med en inkrementell utvikling som dette er at ulike nettselskaper og nettleverandører ofte utvikler egne løsninger som på nasjonalt eller global basis vil føre til at samarbeid blir vanskelig. Det gjøres i dag store investeringer i infrastruktur og forskning i forbindelse med smartgrid i land over hele verden. En stor grad av åpenhet og samarbeid preger disse investeringene samtidig som at klimaproblemet gjør at alle ønsker en hurtig integrasjon av fornybare energikilder i kraftnettet. Disse punktene er sterke drivere for utviklingen og installasjonen av smartgrid-teknologi samtidig som de store investeringene og umoden teknologi står frem som barrierer for utviklingen.

3.1.1 Drivere for smartgrid

Videreutvikling av kraftnettinfrastruktur og forskning er i høy grad aktuelt og foregår over hele verden. I Norge er det først og fremst vært snakk om AMS, som i manges øyne er den første byggesteinen for et fullverdig smartgrid. På mange måter vil et AMS-system være det eneste visuelle beviset vi får på at kraftnettet til boligen vår er en del av et nytt og mer intelligent nett, bestående av sensorer og avanserte analysesystemer som til enhver tid balanserer kraftbruken optimalt. Figur 3.2 nedenfor viser hvorfor AMS-termen er så mye brukt i tilknytning til smartgrid og hvorfor jeg spesielt har fokusert på denne delen av smartgrid i min masteroppgave.

Under følger en liste over driverne og mulighetene som smartgrid-teknologien har å tilby nettselskaper, kraftprodusenter, samfunnet og sluttbrukeren:

Redusere tap i kraftnett: India er et godt eksempel på hvor ineffektivt et kraftnett kan være. Mangelen på transparens i kraftnettet gjør det vanskelig å måle tapene, men det er estimert at i 2007 tapte India 32% av total kraftproduksjon [85]. Grunnet en enorm forventet økning av forbruk sammen med et ineffektivt kraftnett og kullbasert forurensende



Figur 3.2: AMS sin del av det totale smartgrid-bildet [90]

kraftproduksjon er smartgrid-teknologi spesielt relevant for India. Det er imidlertid ikke bare India som opplever tap i strømmettet. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)-landene hadde ifølge Det internasjonale energibyrådet (IEA) World Energy Outlook rapporten [85] et gjennomsnittlig tap fra kraftnettet på 14%. Det vil alltid være et transmisjonstap i kraftnett, men økt bruk av overføring ved høyere spenningsnivå og smartere kontroll av nettet senker dette tapet.

Effektivisering av drift: Besparelsene og effektiviseringen som følger av en økt integrasjon av IKT er ubestridt. AMS fører med seg en mer strømlinjeformet faktureringsprosess, samtidig som det fjerner behovet i Norge for å estimere forbruk ved bruk av Justert inmatingsprofil (JIP) for kunder med selvavlesning av måleren sin. JIP er forskjellen mellom totalt registrert forbruk fra lokalt nettselskap og summen av estimert tap og faktiske målerverdier hos forbruker. Beregningen av disse tallene for de enkelte sluttbrukerne er en prosesseringskrevende arbeidsprosess som kan ta opptill 8 timer selv med nyere dataverktøy.

Innføring av AMS fører også til at nettselskap får beskjed om problemer med kraftnettet før sluttbrukerne selv ringer og forteller om det.

Integrering av fornybare ressurser: Integreringen av fornybare energikilder i mye større grad enn i dagens kraftnett er en operasjon som for det meste vil påvirke overføringsnettet. Dette fordi fornybare energikilder ofte er lokalisert langt fra hvor energi forbrukes, men også grunnet den periodiske og uregelmessige naturen til fornybare energikilder som sol og vind. Balanseringen av forbruk og produksjon vil bli mer komplisert, da energi vil produseres mer distribuert og på mindre anlegg enn i dag. Integreringen av fornybare energikilder er et stort insentiv til modernisering av kraftnettet da dagens kraftnett bare støtter en begrenset andel uregelmessige energikilder samtidig som at EU sitt mål om 20% fornybare energikilder innen 2020 bare er starten på en sterk økning av fornybare energikilder i det fremtidige kraftbildet.

Energilagring: Smartgrid vil introdusere intelligens i nettet som selv kan bestemme når energi skal lagres og når det skal distribueres. Kombinert med en intensiv forskning på lagringsmetoder for energi gjør dette at fornybare energiresurser kan kombineres med offentlige (store energilagringssparker) og private (f.eks elbiler) lagringsmedium for å sikre distribusjonsnettet mot kraftmangel.

Forbruksutjevning: Forbruksutjevning er prosessen med å justere forbruket til sluttbrukere ned i perioder med høyt forbruk i kraftnettet. Ved å jevne ut forbrukskurven til sluttbrukere med smarthus teknologi, In-Home Displays (IHD) eller automatisk forbruksutjevning unngår kraftprodusentene å sette igang toppplastkraftverk under perioder med høyt forbruk. Disse toppplastkraftverkene kan brukes så lite som en dag i året og medfører økte kostnader for sluttbrukere grunnet høye investering- og driftskostnader.

Forenkle energieffektivisering: Ved å implementere AMS, som er en elementær del av et smartgrid, gir man ved hjelp av IHD økt informasjon

om sanntidsprising og forbruk i sanntid til sluttbrukerne. Dette medfører at sluttbrukeren får vite nøyaktig hvor mye strøm han/hun bruker til enhver tid, noe som igjen kan føre til en begrenning av forbruk.

Distribuert produksjon av kraft: Introduksjonen av distribuerte fornybare energikilder, sammen med smartgrid sin muliggjøring av tilbake salg av kraft til nettet ved overproduksjon i hjemmet, gjør at et smartgrid må ta stor høyde for distribuert produksjon av kraft. Distribuert produksjon av kraft har sine fordeler ved at mindre områder kan bli nærmest uavhengige ved sentrale kraftnettproblemer, og dermed produsere nok strøm til seg selv i en kortere periode (mikrogrid).

Aktiv forbrukerdeltakelse: Ved å gi sluttbrukere muligheten til å få en aktiv rolle i administrasjonen av sitt eget forbruk, samt også produksjonen av egen strøm, gjør man at det stigende forbruket ikke nødvendigvis betyr utbygging av kraftproduksjon i en så stor grad som statistikken tilsier. Det forventes større økning i effekttopper, altså perioder med høyt forbruk, enn det gjør i generelt strømforbruk.

Økt operasjonell sikkerhet av kraftnettet: Mer intelligente sensorer fører også til en større grad av kontroll for nettselskapene og kraftleverandørene. Økt kontroll fører igjen til forbedret kvalitet i kraftnettet og økt sikkerhet mot delvise eller fullstendige mørklegginger av kraftnettet. Dette fører også til muligheter for å utføre preventivt vedlikehold og dermed unngå at elementer i nettet som viser irregulær opptreden potensielt har muligheten til å skape usikkerhet i kraftforsyningen.

Hensyn til miljøet og dermed indirekte lovgivninger: Utifra målene som Norge, EU og mange andre land i verden har satt seg, så er en overgang til et smartere kraftnett en av de letteste og mest kostnadseffektive løsningene for å senke strømforbruket og minske utslippet av CO₂ [94]. Dermed påvirker da lovgivninger relatert til miljø i Norge hvordan smartgrid-utbyggingen kommer til å foregå.

3.1.2 Barrierer for smartgrid

Det finnes ingen generell oppskrift på hvordan et smartgrid skal se ut eller være bygd opp. Eksisterende infrastruktur, sammen med politiske, regulatoriske og kommersielle drivere, vil påvirke hvordan nettet vil utvikle seg i en mer intelligent retning. Grunnen til at det ikke har skjedd mye på smartgridfronten før de senere år er en kombinasjon av en rekke barrierer til utviklingen av kraftbransjen. I Norge er vi utsatt da vi er et lite marked som har vanskeligere med å oppnå de enorme stordriftsfordelene som andre land kan dra nytte av. På den andre siden har vi et høyt teknologisk nivå og høyt forbruk, noe som gjør at Norge ligger langt fremme i kraftbransjesammenheng. De eksisterende barrierene for det norske markedet kan deles opp i følgende kategorier;

Politikk og reguleringer: NVE la i 1999 ut "Forskrift om måling, avregning og samordnet opptreden ved kraftomsetning og fakturering av netttjenester". Dette var reguleringsorganet sitt første utkast til en forskrift som fortsatt er under endring. Flere høringer med påfølgende endringer har funnet sted i etterkant, og grunnet usikkerheten rundt det finansielle aspektet for nettselskapene har det enda ikke kommet et vedtak om utrulling av et AMS-system. Det er NVE som bestemmer inntektsgrunnlaget til nettselskapene gjennom reguleringene organisasjonen forfatter. Det kan derfor oppstå barrierer i form av mangel på insentiver for at nettselskapene skal investere i et smartere nett. Mangelen på klare teknologiske krav til funksjonene i morgendagens kraftnett kan føre til en vegring for å investere da det potensielt kan føre til at investeringen slår feil.

Finansiering: Investeringene som må foretas for å oppgradere infrastrukturen til kraftnettet er enorme. Usikkerheten rundt forretningsmodellene bak smartgrid, og mangel på eksisterende prosjekter som kan vise til lønnsomhet i markeder som likner på Norge, gjør at investeringen i et helhetlig nestegenerasjons-kraftnett er risikabel.

Innvolvering av sluttbruker: Med stor sannsynlighet kommer investeringen i kraftnettet, og da kanskje spesielt i AMS-systemer, til å føre til økt nettleie for sluttbrukeren. Dette medfører at nettselskapene må på en enkel og hensiktsmessig måte forklare hvorfor en slik investering er nødvendig, samt å sette fokus på hva sluttbrukeren selv kan tjene på dette. Gjennomføres ikke dette på en hensiktsmessig måte vil det føre til store protester blant sluttbrukerne. Frem til nå har nettselskapene og kraftleverandørene vært i et marked hvor relativt lite kommunikasjon mellom sluttbruker og bransjen har funnet sted. Dette kommer garantert til å endre seg når potensialet til smartgrid begynner å bli utnyttet. Sluttbrukeren vil da gå fra å være en passiv mottaker av strøm til å aktivt ta del i reduseringen av sitt eget forbruk, samt å selge egenprodusert eller lagret energi for profitt. Dette vil føre til at kraftbransjen må endre dens kommunikasjonsvaner med sluttbruker, og vil i mange tilfeller føre til økte investeringer på kundeservicefronten.

Teknologi: Da smartgrid-teknologi fortsatt er langt fra et etablert konsept, fører dette til en naturlig skepsis og forsiktighet fra aktørene i kraftbransjen. Da investeringene som skal foretas i selve overføringsnettet og distribusjonsnettet skal ha en levetid på minimum 10 år er det viktig at teknologien som det investeres i er moden og kommersielt tilgjengelig. Mange nettselskap i Norge er for små til at de kan eksperimentere med forskjellige typer teknologi for å komme frem til et resultat som vil lønnes seg. Disse nettselskapene er avhengige av leverandører som i et ungt marked ikke har mange nok prosjekter bak seg til å kunne etterleve kravene som kraftbransjen stiller.

Standarder: Global standardisering av måten informasjon utveksles på er essensielt for å administrere og utvikle smartgrid-løsninger. Det er spesielt innenfor kommunikasjonsstandarder det finnes lite interoperabilitet. Det er nettopp dette feltet som er hovedfokusen for denne oppgaven da interoperabilitet og globale standarder er spesielt viktig i et kraftmarked hvor økt samarbeid på tvers av landegrensene er en utbredt trend. Eksisterende standardiseringsorganisasjoner som jeg beskriver i

kapittel 5 er spesielt viktige og ansvarlige for at denne utviklen fortsetter i riktig retning. Riktig retning i dette markedet er åpne standarder som danner industristandarder for produksjon og implementasjon av utstyr.

Sikkerhet og data privacy: Vi lever i dag i en digital verden hvor mer og mer av vår personlige informasjon lagres på nettet i takt med at nettkriminalitet, hacking og identitetstyveri blir en vanligere og vanligere del av vår hverdag. Ved å koble den tradisjonelle strømmåleren opp mot et kommunikasjonsnett tar man samtidig steget inn i en ny alder, hvor alt fra forbruksmønsteret ditt til kontroll over elektriske enheter i huset kan risikere å komme i hendene til uønskede personer. Det er derfor viktig at nettselskapene i Norge tar private data og sikkerheten til systemet seriøst fra første implementasjon.

3.2 Investeringer i neste generasjons kraftnett

Hvordan de store investeringene i smartgrid skal fordeles i Norge er enda ikke bestemt, men at sluttbrukere gjennom nettleie kommer til å være med på å finansiere tjenester som AMS er svært sannsynlig. Da smartgrid-teknologi, uten AMS, i svært liten grad vil ha noe observerbar påvirkning på sluttbrukernes opplevelse av strømleveransen, er det naturlig å trekke slutningen at de som drar nytte av teknologien også må betale for den. Smartgrid vil selvfølgelig gi økt leveringssikkerhet, pålitelighet, bedre leveringssikkerhet osv, men dette vil ikke sluttbruker i særlig grad legge merke til. I dette tilfellet blir dette systemoperatøren Statnett, kraftprodusenter og nettselskapene som drar nytte av investeringene. Disse investeringene vil gi store besparelser i driften av kraftnettet i forhold til dagens situasjon. Da dette hovedsaklig er en teknisk oppgave skal jeg i liten grad gå inn på samfunns-, bedrifts- og privatøkonomiske konsekvensene som innføringen av IKT-teknologi i kraftnettet medfører. Jeg ønsker likevel å ta med tall som beskriver nettopp disse konsekvensene for innføringen av kun AMS i Norge. Da smartgrid er enda lenger

frem i tidshorisonen er det vanskelig å spekulere i økonomiske gevinster før et AMS-system er operasjonelt.

Nina Arvidsen gjorde gjennom sin masteroppgave, "Smarte nett med smarte målere" [8], en nytte-kostnadsanalyse som konkluderte med at AMS til alle sluttbrukere er samfunnsøkonomisk lønnsomt. Hennes analyse ga en samfunnsøkonomisk nytte på 1182 kr per måler per år hvor størsteparten av nytten tilfaller sluttbrukeren. Nettselskapets nytte blir 200 kr per måler per år. Denne analysen er likevel avhengig av at innføringen av AMS gir et redusert energiforbruk på minimum 5%. Som beskrevet i seksjon 7.3.1 er dette sannsynlig basert på relevant forskning. I sitt notat om nye målinger fra 2007 [75] beskriver NVE at de har gjennomført fire uavhengige nytte-kostnadsanalyser siden 2004. I løpet av de siste årene har tendensen i disse analysene vært at nytte/kostnadsforholdet har forbedret seg da investeringskostnaden i ny teknologi har falt. NVE vurderer investeringene ved innføring av slik teknologi til å ligge på rundt 1850 kr per måler eller totalt 4,5-5 milliarder kr totalt sett. Dette er da ikke inklusivt utbedringene nettselskapene må foreta for å ruste opp sine internet IT-systemer til å takle den voksende informasjonsmengden. Uttalelser fra NVE kan tyde på at investeringen vil finansieres gjennom inntektsrammereguleringen. Inntektsrammereguleringen innebærer at NVE setter en inntektstramme for hvert enkelt nettselskap. Det er nettopp denne inntektsrammereguleringen som sikrer at nettselskapene ikke får en urimelig monopolfortjeneste da inntektene som nettselskapet får gjennom overføringstariffer ikke skal overstige inntektsrammen som NVE har fastsatt.

3.3 Smartgrid og miljøet

De siste rapportene presentert av klimaforskere maler et mørkt bilde av fremtiden. Mengden drivhusgasser i atmosfæren vokser raskere enn forventet, og den generelle overensstemmelsen har gått fra å argumentere om klimaendringene er menneskeskapte til å diskutere hvordan vi kan unngå å øke den pågående skaden vi påfører kloden. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) sin rapport fra 2007 [99] fastslår følgende:

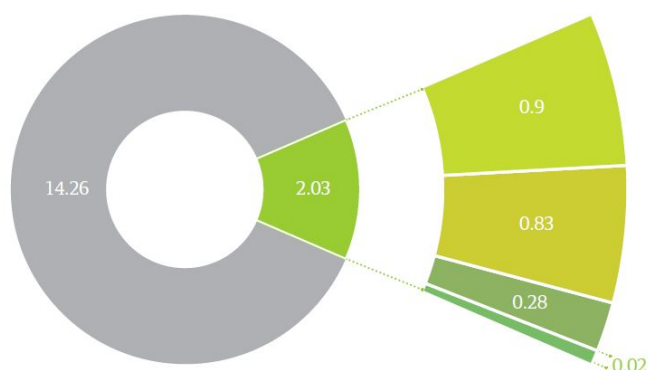
"Warming of the climate system is unequivocal, as is now evident from observations of increases in global average air and ocean temperatures, widespread melting of snow and ice and rising global average sea level".

Smart2020 [106]-rapporten har estimert at kraftbransjen sto for 24% av globale utslipp av CO₂ i 2002. Kraftbransjen kunne potensielt være ansvarlig for 14,26 GtCO₂ i 2020 [106]. Den samme rapporten ser også et CO₂-reduksjonspotensiale i smartgrid-teknologi tilsvarende 2,03 GtCO₂ innen det samme tidspunktet.

GtCO₂e

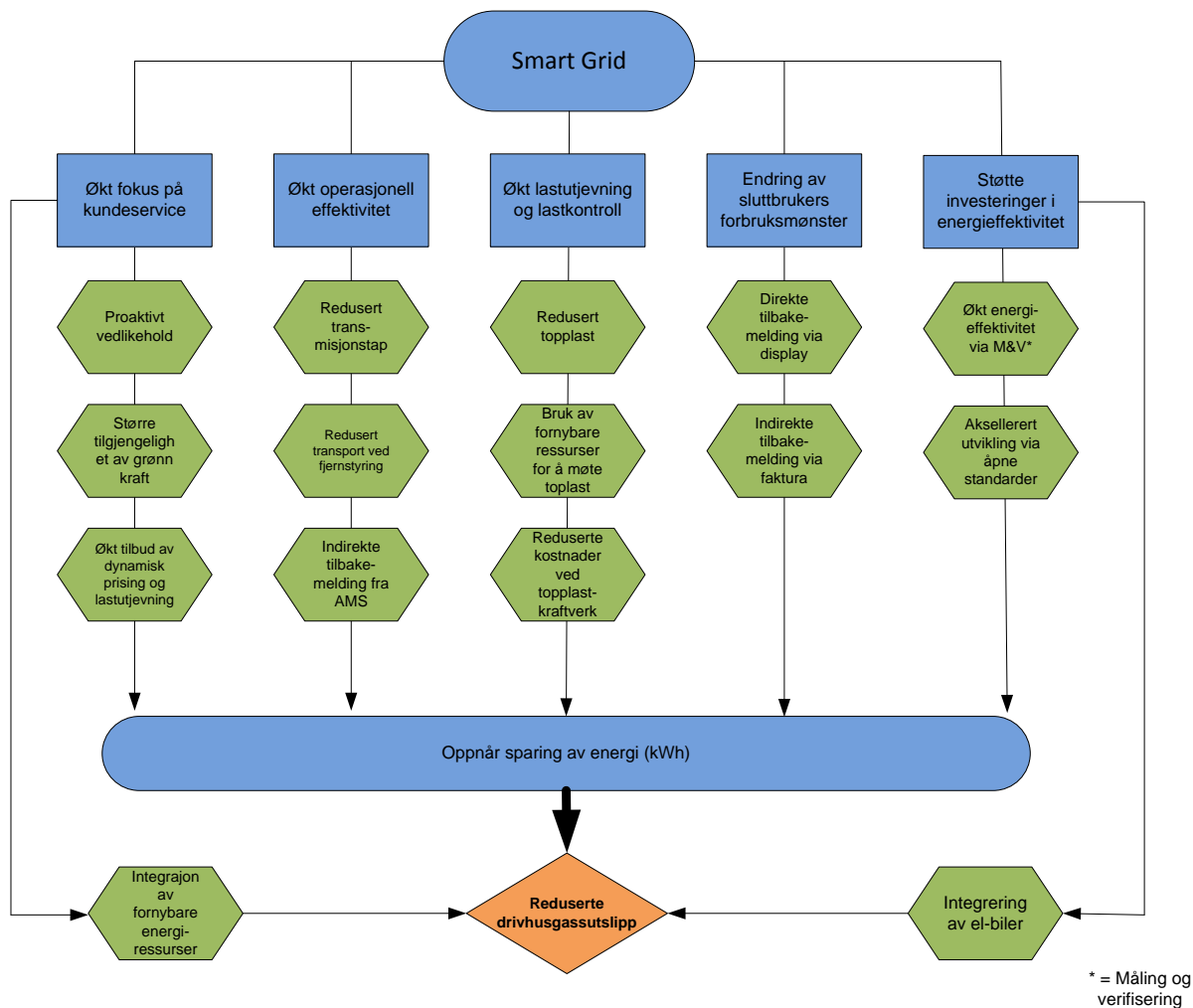
Total emissions BAU
in 2020 = 51.9 GtCO₂e

- Total emissions from the power sector
- Total ICT smart grids abatement potential
- Reduce T&D losses
- Integration of renewables
- Reduce consumption through user information
- DSM



Figur 3.3: Smart2020 sitt estimat på CO₂-reduksjon ved implementasjon av smartgrid-teknologi [106]

Som nevnt tidligere har en rapport fra U.S Department of Energy [84] estimert at byggingen av et smartgrid i USA vil redusere CO₂-utslippene fra kraftbransjen med mellom 12- og 18%. Disse utslippsreduksjonene er basert på 8 felt som spenner fra reduksjon av forbruk i hjemmet, grunnet digital tilbakemelding på forbruk, til inkludering av elektriske biler i kjøretøyparken. Bare 5% av reduksjonspotensialet kommer fra overgangen fra varmekraftverk til fornybare ressurser, noe som betyr at størsteparten av potensialet for reduksjon i drivhusgassutslipp også er realiserbart i Norge. Diagrammet under fremhever hvorfor EPRI ser på smartgrid som "The Green Grid" [94]



Figur 3.4: Hvorfor smartgrid er en driver for et grønnere kraftnett [94]

4

AMS - Avanserte Måle- og Styringsystem

I innledningen til denne masteroppgaven ble det nevnt at det er NVE som i Norge har ansvaret for å forvalte Norges vann- og energiresurser. NVE tok først til ordet i mars 1999 om en forskrift om måling, avregning og samordnet opptreden ved kraftomsetning og fakturering av netjtjenester (avregningsforskriften)[35]. I Norge har denne teknologien stort sett vært omtalt som toveiskommunikasjon (2VK eller TVK), men i dokument 12/2008 innførte NVE begrepet Avanserte Måle- og Styresystemer (AMS). Høring to av to hadde høringsfrist 28. august 2009, og i [35] svarte NVE på innspillene til denne høringen. NVE sin definisjon og hovedmålsetting med innføringen av AMS er som følger [35]:

"Hovedmålsettingen med innføringen av AMS er å bidra til et mer samfunnsøkonomisk rasjonelt kraftmarked gjennom å legge til rette for:

- Mer effektiv avregning.
- Mer effektiv leverandørbytteprosess
- Optimal tilpasning av forbruk og lokal produksjon."

Formålet med denne høringen er å etablere hvordan disse målene kan oppnås ved bruk av eksisterende standarder og teknologiske løsninger. AMS er i all enkelhet et system som benytter seg av smartmålere som kommuniserer med nettselskaper for å rapportere inn data som muliggjør målene ovenfor.

Smartmålere er da tekniske installasjoner plassert ut hos sluttbruker som måler faktisk energibruk og sender disse dataene tilbake til nettselskapet over et valgt kommunikasjonsmedium.

4.1 Formål med AMS

Et økende kraftforbruk, samtidig som at verden i økende grad blir klar over at forurensningen som foregår i dag er grunnen til global oppvarming, har ført til en sterkt økende interesse for å effektivisere energibruken vår. Effektivisering av dagens energiforbruk er det mest kostnadseffektive middelet vi har for å bekjempe klimaproblemet. Den amerikanske energisekretæren Steven Chu sa det slik:

Energy efficiency is not just low-hanging fruit; it is a fruit that is lying on the ground [15].

Systemet per i dag, hvor man får en oversikt over forbruk av strøm en gang i kvartalet, gjør det veldig vanskelig, om ikke umulig, for sluttbrukere å relatere strømsparende tiltak mot miljømessig og kostnadmessig gevinst. Kempton og Layne [22] beskrev situasjonen for dagens sluttbrukere slik:

Consider groceries in a hypothetical store totally without price markings, billed via a monthly statement. How could grocery shoppers economise under such a billing regime?

Tidligere forsøk i Norge viser hvordan sluttbrukere satte pris på økt detaljnivå og mer informasjon i regningene sine, og hvordan dette førte til at de studerte regningene sine nøyer og tilpasset forbruket sitt deretter [107], [108]. Ved bruk av eksterne skjermer som kommuniserer med de smarte energimålerne er det mulig å vise kontinuerlig forbruk samt sanntidspriser for strøm. Økt bevissthet om eget forbruk, kombinert med informasjon om energisparende tiltak basert på statistiske data samlet på landsbasis, gir sluttbrukerne ikke bare informasjon, men også verktøyene og konkrete tiltak som kan begrense både deres strømregning og påvirkning på miljøet. En systematisert

versjon av dette hvor kontrollen av elektriske enheter på gitte tidspunkt kan styres av nettselskapet kalles automatisk forbruksutjevning.

Selv om energieffektivisering er ytterst viktig for å begrense energiforbruket vårt, og på et globalt plan minimere utslippene våre, så er det langt fra alt AMS kan tilby av forbedringer i kraftnettet. Som beskrevet tidligere så er kraftnettet på distribusjonsnivå relativt uintelligent. Dette innebærer at hvis strømmen går i et hus, eller i et helt nabolag grunnet problemer i en transformator, så vil ikke nettselskapet få vite om dette før sluttbruker/sluttbrukere selv ringer og rapporterer det inn. Det finnes per i dag ingen kommunikasjonsutveksling på de lavere nivåene i kraftnettet. Et AMS-system ville derfor fungere som endenodene i ett større smartgrid-nettverk. Dette øker fleksibiliteten til nettselskapene ved at de alltid vet hvordan det står til med helsen til kraftnettet sitt.

Den økte mengden data som nettselskapene ville få gjennom smartmålerne vil på sikt gi lavere kostander for nettselskapene. Dette kommer først og fremst av lavere driftsutgifter på manuell innsamling av målerdata, men også fordi den økte mengden data kan benyttes til å optimalisere nettet slik at man kan begrense vedlikehold og reparasjoner. Formålet med AMS er på mange måter det samme som formålet med implementasjonen av et smartgrid. Forskjellen ligger i at et AMS-system bare er starten på en fundamental endring i hvordan kraftnettet vårt blir administrert.

4.2 AMS i Norge

Per dags dato har 10% av landets sluttbrukere automatisk måleravlesning installert i huset sitt [38]. Selv om nettselskapene i Norge har uttrykt interesse for AMS-løsninger lenge er den lave prosentdelen av norske husstander et tegn på at reguleringer i form av forskriften som NVE har foreslått, vil fremskynde utviklingen drastisk. Teknologien for å opprette automatisk måling av energiforbruk på nasjonal basis eksisterer allerede og er i bruk flere steder i verden, inkludert i Norge for installasjoner over 100 000 kWh per år [26]. Disse større sluttbruker står for ca 60% av det norske kraftforbruket fordelt på 4% av de om lag 2,6 millionene med målepunkter i Norge [26].

Ifølge rapporten "Toveiskommunikasjon i Norge 2008" fra ECgroup [66] var det i 2006 allerede 10-15 små og mellomstore nettselskaper som har iverksatt full utbygging av AMS i distribusjonsnettene sine. Erfaringene fra disse nettselskapene er ifølge rapporten blandet, da utbyggingskostnadene ofte har blitt høyere enn forventet i kombinasjon med at teknologien ikke har vært moden nok. Noen av disse nettselskapene hadde imidlertid positive resultater. Eidefoss Energi har installert AMS hos størsteparten av sine sluttbrukere og har investert 25 millioner kr med en smartmålerpris på 2000 kr per stykk [8]. Eidefoss ble kvitt manuelle rutiner, og reduserte risikoen for tastefeil og feilavlesning i tillegg til å ha unngått en eneste klagesak på 3-4 år. Gudbrandsdal Energi og Valdres Energiverk er to andre nettselskaper som er tilnærmet ferdig med sin installasjon av AMS-system. Begge selskapene har hatt positive erfaringer, og Valdres Energiverk forventer at systemet skal ha tilbakebetalt seg innen få år. I motsetning til andre land i Europa så vil norske nettselskaper ikke spare like mye på innføringen av AMS, da all innrapportering av målerstand skjer fra sluttbrukerens side. I andre europeiske land er det vanlig at nettselskapet selv leser av måleren noe som fører til betydelige bemannings- og transportkostnader.

4.2.1 Norske krav til AMS

Utfordringen ligger i å definere et sett med krav for smartmålerne slik at de er avanserte nok til å vokse med nettet mens det utvikler seg fra dagens kraftnett til et smartgrid. For å gjøre påbudet om smartmålere fremtidsrettet har NVE så langt kommet frem til følgende krav [35]:

"Nettselskapet skal i hvert enkelt målepunkt installere et avansert måler- og styringssystem (AMS). Målersystemet skal blant annet kunne bidra med nødvendige data til gjennomføring av leverandørbytte og avregning i kraftmarkedet. Alle måleverdier skal:

1. registreres og lagres i målepunktet inntil disse er overført til nettselskapets innsamlingsentral,
2. lagres med en registreringsfrekvens på maksimalt 60 minutter, og

3. overføres til nettselskapet minst en gang per uke. Målesystemet skal også:
4. kunne lagre data med en registreringsfrekvens på 15 minutter,
5. være innrettet slik at måleverdiene kan innhentes momentant av nettselskapet,
6. med ett sekunds nøyaktighet registrere tidspunktet for og varigheten av alle tilfeller der spenningen faller under 50 prosent av sin nominelle verdi og overføre data fra sluttbruker til nettselskap,
7. kunne tilknyttes og kommunisere med eksternt utstyr, der kommunikasjonen og grensesnittene skal være basert på åpne og ikke-proprietære standarder,
8. kunne registrere og lagre data hos sluttbrukeren i tilfelle avbrudd i strømforsyningen, og
9. kunne gi sikkerhet for at data ikke misbrukes og at systemet hindrer uønsket tilgang til systemene både lokalt og sentralt. Nettselskapet skal hvis sluttbrukeren krever det installere et målersystem for måling av lokal produksjon. Sluttbrukeren skal dekke merkostnaden for dette.

Følgende funksjoner er ikke forskriftsfestet men forventes å bli inkludert i en eventuell kravspesifikasjon [35]:

- Overvåkning av spenningskvalitet
- Rasjonering, for eksempel i en beredskapssituasjon
- Registrering av jordfeil

Anlegg med forventet energiuttak mindre enn 1000 kWh per år kan unntas fra kravet om installasjon av AMS. Nettselskapet skal tilby sluttbrukeren informasjon om sitt forbruk vederlagsfritt. Informasjonen skal gjøres tilgjengelig via Internett. Tredjepart skal ved fullmakt fra sluttbruker vederlagsfritt få tilgang til avregningsdata fra nettselskapet."

Det er i dette tilfellet høstet kunnskap fra den svenske utbyggingen av AMS, der mangelen på klare krav til nettselskapene førte til at det har blitt installert forskjellige systemer med forskjellige grader av funksjonalitet hos de ulike nettselskapene. Det er NVE sitt ønske å ha en forskrift som spesifiserer de grunnleggende kravene som et norsk system skal følge.

NVE har ventet med å fastsette et lovbestemt tidspunkt for når AMS skal være rullet ut i påvente av erfaringer gjort gjennom det tidligere beskrevne europeiske standardiseringsprosjektet OPENMeter og M/441. Det ser likevel nå ut som NVE sine krav er tilnærmet like som disse organisasjonene sine foreløpige resultater. I forhold til prosjekter som SmartHouse/SmartGrid [18], som er en del av EUs sjuende rammeverkprogram, kan spesifikasjonene i OpenMeter/M441 være minimale og dermed sette Norge i en posisjon hvor vi begrenses i teknologiske muligheter av standardkravet vi velger å sette.

Som man kan se fra figur 4.1 så er NVEs funksjonelle krav nesten identiske til OPENmeter/M441 spesifikasjonen. Dette er selvfølgelig basert på et utkast av OPENmeter/M441, men indikerer likevel at de norske kravene er relativt like. Siden investeringene som skal foretas relatert til AMS skal vare i mellom 10-20 år er det viktig at utviklingen av kraftnettet ikke blir hindret av underinvesteringer i dag. Det er derfor et par krav som ikke er en del av NVE sitt høringsutkast, men som jeg mener bør være med for å fremtidssikre en investering som Norges smartgrid skal være bygget på:

- Mulighet for måleravlesning i sanntid internt i huset og tilnærmet sanntid mot nettselskap
- Støtte for tredjepartsstyring av blant annet forbruksutjevning.
- Et nasjonalt standardisert meldingsformat med et funksjonelt API som legger til rette for tredjepartsleverandører.

Funksjonalitet	NVE sitt forskriftforslag	OpenMeter/M441	
Lokal lagring av måleverdier	x	x	
Registreringsfrekvens	60/15 min	x	
Overføring til nettselskap	ukentlig	x	
Momentanavlesning	x	x	
Spenningsfallalarm	1 sekunds nøyaktighet ved spenningsfall under 50%	x	*= Valgfri ifølge OpenMeter spesifikasjonen
Støtte for eksternt trådløst utstyr (åpen/ikkeproprietær)	x		**= Satt som mulig fremtidig oppgave ifølge NVE
Kan registrere data ved avbrudd i strømforsyningen	x	x	***= Ifølge M441 et potensielt videreutviklingsområde
Sikkerhet mot uønsket tilgang lokalt/sentralt	x	x	****= Ikke et krav, men det forventes at nettselskapene selv vil investere i muligheten
Registrering av jordfeilsignaler	x		
Fjernavkobling tilkobling av strøm	x****	x	
Fjernoppdatering av firmware	x**	x	
Lastutjevning	x**	x*	
Forhåndsbetaling		x*	
Struping/Rasjonering	x**	x***	
Støtte for egenproduksjon	x	x	
Leverandørskifte	x	x	

Figur 4.1: Sammenligning mellom NVE sine krav og OpenMeter/M441 spesifikasjonene

5

Organisasjoner og standardiseringsorganer

I løpet av de siste årene har det blitt etablert en rekke organisasjoner og samarbeidsorganer som jobber for integrasjonen av IKT i dagens kraftnett. Dette er organisasjoner som består av ledende industrigrupper, kraftprodusenter, nettselskaper, regulatorer og standardiseringsorganer. Fellesnevneren er at de er alle interessert i at smartgrid-infrastrukturen skal utplasseres så fort som mulig. Nedenfor er de viktigste organisasjonene nevnt, men det er en rekke mindre organisasjoner som European Smart Metering Industry Group (ESMIG), Smart Grid Australia (SGA), EPRI, Continental Automated Buildings Association (CABA), European Smart Metering Alliance (ESMA)(ferdig med sitt arbeid men har sine rapporter tilgjengelige på nett), Demand Response and Smart Grid Coalition (DRSG) og Eurelectric (bransjeorganisasjonen for elektrisitetsindustrien i Europa) som alle jobber for det samme målet.

5.1 Gridwise

Gridwise [49] er en uavhengig amerikansk arkitekturorganisasjon som primært jobber mot det amerikanske markedet, men også samarbeider med europeiske organer. Organisasjonen er dannet ut ifra ideer fra Department of Energy (DOE) og innebærer en helhetlig tankegang for hvordan et smartgrid

skal utvikles i Nord-Amerika. Hovedtanken bak denne arkitekturtankegangen er at informasjonsteknologi skal være grunnfundamentet for nestegenerasjons kraftnett i Norge. Organisasjonen arrangerer regelmessige interoperabilitetskonferanser og samarbeidende gruppeprosjekter for sine medlemmer. Organisasjonen har blant annet vært delaktig i pilotprosjekter i samarbeid med Pacific Northwest med deres Gridwise Testbed Demonstration Project [54].

5.2 Smartgrids Europe

Smartgrids Europe [37] er en organisasjon som er støttet av EU-kommisjonen. Organisasjonens formål er å bygge og vedlikeholde en delt visjon for fremtiden til Europas kraftnett, samt å være en katalysator for dens implementasjon. Organisasjonen ble dannet etter den første internasjonale konferansen for integrering av fornybare og distribuerte energiresurser i 2004. På denne konferansen ble det første forslaget om å lage en felles europeisk teknologiplattform (ETP) [79] fremsatt. Smartgrids Europe lanserte i 2008 sitt Strategic Deployment Document (SDD), som beskriver prioriteringer for utbyggingen av fremtidens kraftnett, samt et foreløpig tidsskjema for utplassering av infrastruktur i Europa.

5.3 European Energy Regulators CEER og ERGEG

Council of European Energy Regulators (CEER) og European Regulators Group for Electricity and Gas (ERGEG) er to organisasjoner som jobber med reguleringen av kraftmarkedet i Europa. CEER er en frivillig organisasjon som består av de europeiske regulerende organene, mens ERGEG ble opprettet av EU-kommisjonen i 2003 som deres offisielle rådgivende organ rundt energisaker. Smartgrid og fremtidige AMS-systemer er en viktig del av både CEER og ERGEG sitt arbeid, da innføringen av infrastruktur som dette gjør en helhetlig regulering av det europeiske kraftmarkedet lettere gjennomførbart.

5.4 NEMA

National Electrical Manufacturers Association (NEMA) er en amerikansk standardorganisasjon som jobber for å standardisere løsninger for det amerikanske markedet før utplasseringen av infrastruktur begynner for fullt. De samarbeider med blant annet American National Standards Institute (ANSI) og International Electrotechnical Commission (IEC) for å gi ut anbefalinger til andre nasjonale organer som NIST, angående hvilke standarder og protokoller som er hensiktsmessige i ulike scenarioer.

5.5 NIST

National Institute of Standards and Technology (NIST) [102] fikk hovedansvaret under Energy Independence and Security Act (EISA)-avtalen undertegnet i 2007. Dette ansvaret innebærer å koordinere utviklingen av et rammeverk som inkluderer protokoller og standarder for informasjonsadministrering for å oppnå interoperabilitet mellom smartgrid-enheter og systemer. NIST er finansiert av det amerikanske energidepartementet, DOE. NIST jobber sammen med Gridwise og har foreløpig startet sitt arbeid med protokoller og standarder til smartgrid ved å lansere NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards [96], som er den første fasen i en tredelt plan for å fremme standard og interoperabilitetsarbeidet for smartgrid. NIST-rapporten beskriver en høynivå konseptuelt referansemodell for smartgrid og identifiserer 75 eksisterende standarder som med stor sannsynlighet kan brukes i den pågående utviklingen av smartgrid-infrastrukturen. Rapporten spesifiserer også 15 høyprioritetshull hvor standarder ikke eksisterer i dag. Fase to av standardiseringsarbeidet startet i november 2009 og innebærer opprettelsen av et smartgrid interoperabilitetspanel som skal jobbe med å videreutvikle eksisterende standarder og oppmuntre til utviklingen av nye standarder som kan fylle allerede eksisterende hull. Den tredje fasen av NIST sitt arbeid vil bestå av testing og sertifisering av smartgrid-enheter og -systemer.

5.6 CEN

European Committee for Standardization (CEN) er et europeisk standardiseringsorgan som jobber med å legge til rette for utbredelsen av europeisk teknologi innenfor alle områder av økonomisk aktivitet, med unntak av områdene som European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC) og European Telecommunications Standards Institute (ETSI) dekker. CEN, CENELEC og ETSI er de tre offisielle European Standards Organizations (ESO). CEN sine 31 nasjonale medlemmer jobber sammen for å opprette frivillige europeiske standarder (EN). Disse standardene har en unik status siden de også er nasjonale standarder i hver av de 31 medlemslandene. CEN-nettverket består av mer enn 60 000 tekniske eksperter, samt forretnings-, forbruker- og samfunnsorganisasjoner. CEN er den europeiske likeverden til den internasjonale International Organization for Standardization (ISO)-organisasjonen.

5.7 CENELEC

CENELEC er en ideell organisasjon som jobber for å utarbeide frivillige elektrotekniske standarder som skal hjelpe med å utvikle det europeiske markedet. Organisasjonen er satt opp under belgisk lov og består av de nasjonale elektrotekniske komiteene til 31 europeiske land.

5.8 ETSI

ETSI er europeisk organisasjon som produserer internasjonale standarder for Informasjon- og Kommunikasjonsteknologi (IKT). Dette inkluderer kabel-, mobil-, radio-, kringkastings- og internetteknologier. ETSI er en ideell organisasjon som består av 700 medlemsorganisasjoner fra 62 land på 5 kontinenter.

5.9 M/441 og OPENmeter

M/441 er ikke en organisasjon, men et mandat fra EU-kommisjonen om å standardisere kommunikasjon og funksjonalitet for smartmålere i Europa for elektrisitet-, gass-, varme- og vannapplikasjoner. Mandatet krever at standardiseringsprosessen skal sikre interoperabiliteten mellom teknologier og applikasjoner innenfor et harmonisert europeisk marked. Mandatet er gitt til de tre ESO-organisasjonene beskrevet ovenfor. Disse tre standardiseringsorganisasjonene har opprettet gruppen Smart Meters Co-Ordination Group (SM-CG) [93]. Produktet fra dette mandatet skal være standarder og tekniske dokumenter.

OPENmeter er en organisasjon hvis mål er å spesifisere et sett med åpne og offentlige standarder for AMS. Resultatet fra dette prosjektet skal være et sett med standardskisser som er basert på allerede eksisterende og aksepterte standarder. Disse standardene inkluderer IEC 61334 Power Line Communication (PLC)-standarder, IEC 62056 DLMS/COSEM standardene for smartmåler måling samt andre relevant standarder. OPENmeter består av ledende industripartnere som IBERDROLA, ENEL, Landis+Gyr og Actaris.

M/441 med SM-CG samarbeider sterkt med OPENmeter og OPENmeter mottar i likhet med M/441 støtte fra EU. Begge prosjektene har samme tidsramme, men formelt ligger ansvaret for M/441 hos SM-CG mens mye av utredningen og testingen gjøres i OPENmeter-organisasjonen. Det er i all hovedsak dette EU-mandatet og arbeidet til OPENmeter/M441-gruppene som er grunnen til at NVE har utsatt sitt vedtak om fullskala AMS i Norge i påvente av en ferdig standard.

6

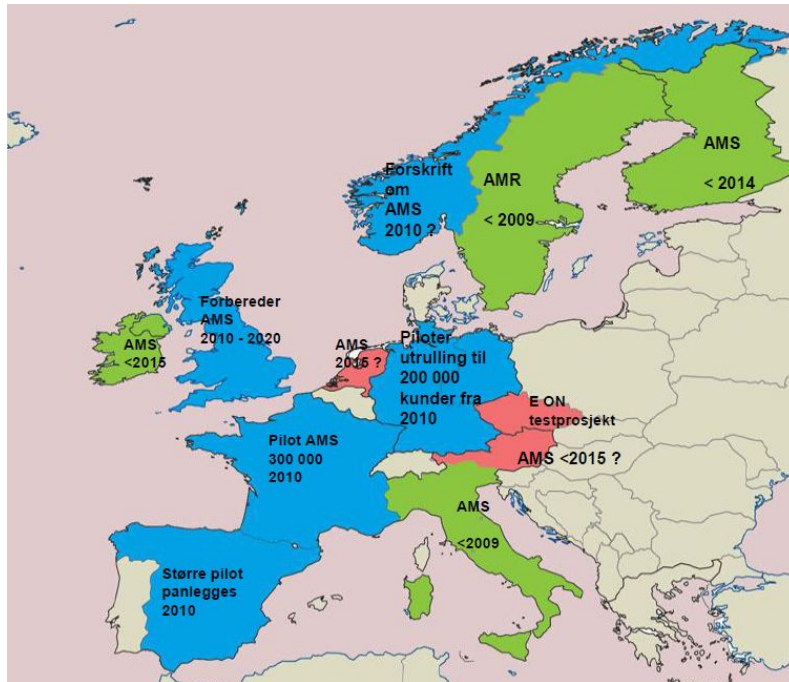
Oversikt over pilotprosjekter for smartgrid og AMS

Selv om regelverk, standard og protokollutviklingen på smartgrid-fronten er langt fra ferdig, så er det mange større pilot og fullskala operative systemer rundt om i verden i dag. I dette kapittelet kommer jeg til å beskrive flere operative og planlagte prosjektene som eksisterer i dag. Det er mulig å dra mye nytte av erfaringene disse prosjektene har gjort, spesielt rundt valg av kommunikasjonsløsninger og hvordan disse skalerer.

6.1 Europa

Smart Energy Networks er et hovedfokusområde for det pågående rammeprogrammet i EU, Seventh Framework Programme (FP7) 2007-2013. Hovedfokuset her ligger på integreringen av fornybare ressurser, distribuert produksjon av strøm, økt leveringssikkerhet, tilrettelegging for aktiv involvering av sluttbrukere i kraftmarkedet samt å innføre sanntidsprising av elektrisitet for alle brukere. Av prosjekter som støttes direkte gjennom FP7-planen er blant annet OPENmeter-standard som har som mål å standardisere AMS-systemer, og Active Distribution network with full integration of Demand and distributed energy RESOURCE (ADDRESS)-prosjektet som ser på tekniske løsninger for forbruksutjevning i kraftnettet for å gjøre brukeren mer aktiv i reduksjon av forbruket sitt. Europa har satt seg et 20-20-20 mål som

innebærer at EU skal øke andelen fornybar energiproduksjon til 20%, senke energiforbruket med 20% og redusere drivhusgassutslippene med 20% innen 2020.



Figur 6.1: AMS i Europa per i dag [13]

6.1.1 Sverige

I Sverige ble det 1. juli 2009 krav om at alle husstander skulle få sine målere avlest automatisk en gang i måneden. Alle sluttbrukere med over 63 ampers tilslutningssikring må i tillegg ha timebasert avlesning av forbruk, et krav innført i 2006. Det svenske markedet består av 5,2 millioner sluttbrukere, hvor 4 millioner av disse er private husholdninger og feriehus. Sverige har som Norge et høyt antall nettselskaper i forhold til innbyggertall. Totalt består markedet av 170 nettselskaper og 100 kraftprodusenter. Eme Analys gjorde en analyse av funksjonskravene for det svenske målermarkedet etter introduksjonen av lovbestemt automatisk måleravlesning [7]. Analysen deres er basert på seks intervjuer av nettselskaper i Sverige, samt analyser av markedet for resten

av Europa. Av de intervjuede selskapene er det PLC som er det foretrukne kommunikasjonsprotokollen fra sluttbruker til konsentrator. Trenden blant leverandørene er likevel at jo senere valget av kommunikasjonsprotokoll har skjedd desto flere har valgt trådløse kommunikasjonsprotokoller som General Packet Radio Service (GPRS). Redusert pris for datatrafikk er mest sannsynligvis grunnen til at flere av selskapene så på GPRS som et meget godt alternativ til PLC. I det neste leddet fra MV/LV-nettstasjon til databasesystemet til nettselskapet er det IP via GPRS eller fiber som er det foretrukne valget. Et problem med GPRS som kom frem i intervjuene var at et bytte av telekomleverandør medførte at SIM-kortet hos sluttbruker måtte byttes, noe som medførte en ekstra administrativ kostnad relatert til å holde prisen på datatrafikk nede. Da det ikke ble stilt spesifikke krav til de automatiske målersystemene har nettselskapene i Sverige installert en blanding av både toveiskommunikasjon og enveiskommunikasjonsenheter. AMS-systemer i Sverige i dag klarer generelt:

- automatisk månedlig avlesning
- timeavlesning av varierende kvalitet og oppløsning
- styring av enkelte elektriske enheter hos sluttbrukere

Moderne systemer klarer imidlertid:

- sanntidsavlesning av strømforbruk
- målerstand ved timeskifte
- timeverdi med desimaler
- måle el-kvalitet
- avbruddsrapportering
- lese av momentan effekt
- alarmhåndtering
- koble inn/ut målepunktet

Før beslutningen om at månedlig avlesning av målerne skulle være kravet i Sverige pågikk det en intensiv diskusjon om det ikke skulle leses av på timebasis isteden. Argumentet mot timeavlesning var den potensielle kostnaden. I etterkant kan man se at et krav om timeavlesning ikke trenger å bli spesielt dyrt hvis regelverket rundt utformes på en hensiktsmessig måte. Et annet viktig punkt i analysen er muligheten til å registrere avbrudd til sluttbrukeren, da sluttbrukeren har rettighet på erstatning etter strømbrydd utover 12 timer. I dagens systemer får man ikke vite om et avbrudd har skjedd før sluttbrukeren rapporterer det. Sverige er et av de få landene i verden som har implementert AMS-funksjonalitet i en så stor prosentmessig andel av befolkningen. Grunnet lite regulering i oppstartsfasen og svake krav fra myndighetene sliter de likevel med dårlig funksjonalitet som gjør at det er vanskelig å utnytte mange av de åpenbare fordelene som en avansert AMS-plattform har for sluttbrukere, nettselskaper og kraftprodusenter.

I forhold til Norge har Sverige lavere investeringskostnader, både på grunn av lavere lønns- og kostnadsnivå, men også fordi rundt 80% av målerne er montert slik at de er tilgjengelige uten av huseier er tilstede. Denne andelen er bare på 5% i Norge [81]. Svenska Mätsamarbetet (SAMS) er et svensk samarbeid mellom ca. 30 mindre nettselskap som til sammen representerer om lag 1,2 millioner målepunkt. Ved å samarbeide på denne måten kan de utnytte samdriftsfordeler der det er mulig da investeringer i AMS er kostbart.

6.1.2 Italia

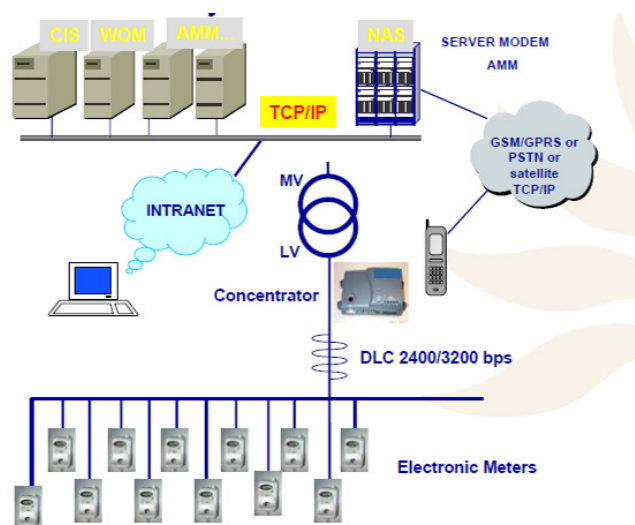
I Italia er det også nettselskapet som er ansvarlig for måling av forbruk. Det italienske kraftmarkedet ble deregulert den 1. juli 2007 og man har nå mulighet til å velge krafteverandør selv. ENEL, som orginalt var det statsstyrte kraftselskapet, er fortsatt det største kraftselskapet i Italia og er ansvarlig for det største AMS-prosjektet i verden så langt. Telegestore-prosjektet til ENEL ble en suksess og førte til at myndighetens organ for regulering av elektrisitet og gass, Autorità per l'energia elettrica e il gas (AEEG), innførte krav for at alle nettselskap skal installere avanserte AMS-systemer. De resterende nettselskapene i Italia har enten benyttet seg av ENEL sine målere

og infrastruktur for å bygge sine egne AMS-systemer, eller gått til innkjøp av egne systemer fra leverandører som Landis+Gyr, BTicino eller Ericsson.

ENEL Telegestore, Italia

I Italia er produksjon, transmisjon og distribusjon av elektrisitet som i Norge ofte utført av forskjellige selskaper. ENEL er det største distribusjonsselskapet, etterfulgt av mindre regionale selskaper. Distribusjonsselskapet til ENEL har siden begynnelsen av 90-tallet eksperimentert med systemer for å lese av strømmålerne automatisk. Da det allerede var fastsatt at automatiske avlesningssystemer var økonomisk gunstige for større sluttbrukere satte ENEL i gang et pilotprosjekt med 70 000 installasjoner (hvor 40 000 av disse var i Roma) for å teste om automatisk avlesning av strømmåleren var teknisk og økonomisk mulig i lavspenningskraftnettet. Pilotprosjektet kom frem til at hybride målere, elektromekaniske systemer, ikke var kostnadseffektive. Mot slutten av 1998 tok ENEL opp saken igjen da nyere teknologi som elektroniske strømmålere var teknisk mulig, og utrulling av et AMS-system var økonomisk lønnsomt. ENEL satte da i gang en forretningsplan som investerte 2100 millioner euro i forskning, produksjon og installasjon av målere, produksjon og installasjon av konsentratorer og utbedringer av IT-systemet [92]. Målerne som ENEL investerte i var konservative, og tok ikke hensyn til fremtidige funksjonaliteter som forbruksprofiler, forbruksutjevning (Demand Side Management) eller smarthus-funksjoner.

Målerne kommuniserte via Distribution Line Carrier (DLC) til LV-konsentratorer (CBT), som er installert i hver MV-nettstasjon med en hastighet på 2400/3200 bps (en konsentrator per transformator). Kommunikasjonen mellom målerne og konsentratorene går over en utvidet LonTalk-protokoll eller ENEL sin proprietære High-level Data Link Control (HDLC)-protokoll SITRED. Fra disse konsentratorene går kommunikasjonen til Automatic Meter Management (AMM)-datasentraler over kommunikasjonsnett som Global System for Mobile Communications (GSM), GPRS, Public Switched Telephone System (PSTN) eller satellitt. Disse konsentratorene fungerer da som en gateway, og kommuniserer med målerne på LonTalk eller SITRED, IP for TCP/IP el-



Figur 6.2: Telegestore Systemarkitektur [10]

ler Challenge-Handshake Authentication Protocol (CHAP) og Point-to-Point Protocol (PPP) for GSM eller PSTN kommunikasjon [10]. Målerne leses av hver andre måned og gjør at sluttbrukerne får regninger basert på faktisk forbruk. Målerne har imidlertid mulighet til å måle forbruk hvert 15 minutt og kan lagre denne informasjonen i opptil 38 dager [92].

ENEL installerte 29,8 millioner målere fra 2001 til 2006. ENEL har nå også utviklet nestegenerasjonsmålere som også støtter distribuert produksjon hos sluttbruker fra f.eks solcellepaneler. De skal gradvis også gå over fra GSM til GPRS-kommunikasjon samt at mulighetene for multimålere, som også kan måle forbruk fra vann, gass og oppvarming, er under utvikling.

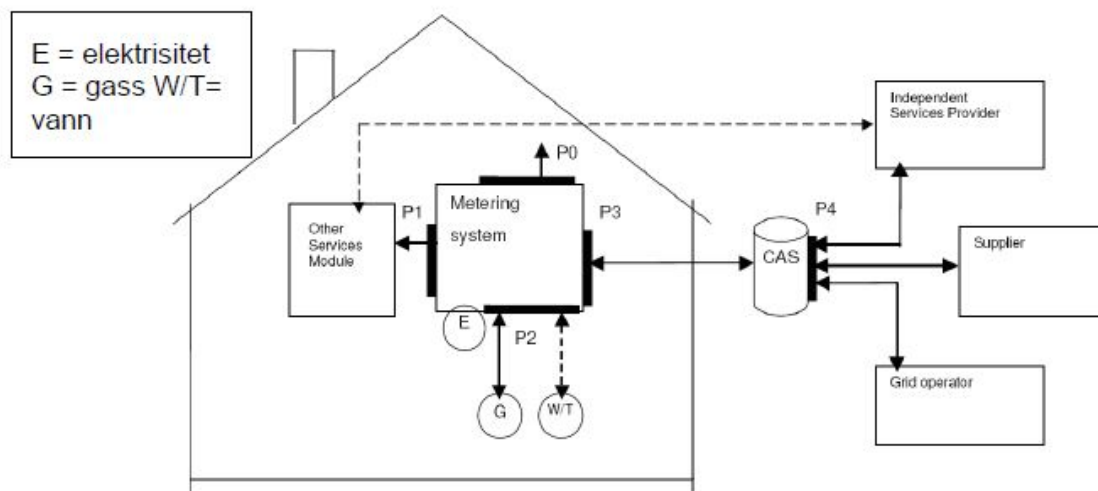
Telegestore sin systemarkitektur består av fire nivåer, se figur 6.2. Det øverste nivået er et sentralt overliggende system. Laget under består av 14 kommunikasjonsentraler om igjen er koblet til 356 000 konsentratorer via GSM/GPRS nett [7]. Disse konsentratorene er igjen koblet til ca. 30 millioner smarte energimålere via PLC (Lonworks). ENEL sitt system, som markedsføres sammen med IBM sine produkter, har blitt en de facto standard i Italia etter at de gjennomførte Telegestore-prosjektet.

6.1.3 Nederland

I februar 2006 bestemte Økonomidepartementet i Nederland seg for å innføre et nytt regelverk angående automatisk måling av strømforbruk i hus. I motsetning til Sverige satte de noen grunnleggende krav til systemet, blant annet avbruddsregistrering, toveiskommunikasjon og mulighet til å mate inn elektrisitet inn i nettet. Nederland benytter seg av en sentral database for målinger. Den forvaltes av Energie Data Services Nederland (EDSN), som er en uavhengig organisasjon som administrerer ulike aspekter ved el- og gassmarkedet som leverandørbytte, adresseendringer og utveksling av måledata. Myndigheten i Nederland gjorde i 2007 ferdig en rapport som beskrev hvilke krav som burde settes for en nasjonal implementasjon av smarte energimålere. Dokumentet NTA-8130 [58] inneholder spesifikasjonene som Nederland setter, deriblant krav om at målerne skal sende timebaserte verdier til nettselskapet. Disse målingene trenger imidlertid bare å sendes aggregert en gang i døgnet noe som fører til at forbruksutjevning ikke er mulig da informasjonen til sluttbrukerne kommer for sent frem for å ha noen innvirkning på forbruket deres. Telenor Cinclus har utviklet et helt system for det Nederlandske markedet som baserer seg på nettopp dette standarddokumentet.

Figur 6.3 viser de ulike kommunikasjonsportene som standarden NTA-8130 består av. Central Access Server (CAS) er den sentrale enheten som lagrer data, sender kontrollsignaler til de ulike målerne og ivaretas av netteier. P1-grensesnittet benyttes for å gi informasjon til sluttbrukeren hvert 10. sekund. Dette er da informasjon som kan vises på et display eller på sluttbrukerens PC. P3-grensesnittet benyttes for å overføre data til nettselskapet. P3-grensesnittet er toveis, noe som innebærer at nettselskapet kan bruke det til å endre parametere i måleenheten. P3 benyttes også for å sende prismodeller og oppdateringer på spotpriser. P2-grensesnittet brukes for å kommunisere med eventuelle gassmålere. NTA-8130 standarden er definert til å bruke IEC 62056-21 eller Zigbee over P1-grensesnittet, M-Bus over P2-grensesnittet og DLMS/COSEM over M-Bus/PLC over P3-grensesnittet.

Grunnet personvernsproblemer og kampanjer fra forbrukerorganisasjoner ble forslaget om lovpålagt AMS nedstemt, noe som betyr at AMS er fortsatt



Figur 6.3: NTA-8130 strukturelt design

frivillig i Nederland.

6.1.4 Storbritannia

I Storbritannia er det kraftleverandørene som har ansvaret for måling av forbruk. Leverandørene kan selv ta seg av målingen eller bruke egne måleselskaper til å gjøre dette. Det er derfor leverandørenes organisasjon, Energy Retailers Association (ERA), som har engasjert seg mest i denne sammenheng. De uavhengige måleselskapene har også sin egen organisasjon Association of Meter Operators (AMO). En rekke offentlige instanser, blant annet Office of Gas and Electricity Markets (OFGEM), Departement of Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) og Department for Business, Enterprise and Regulatory Reform (BERR) arbeider med AMS-systemer.

På grunn av strukturen hvor nettselskapene ikke er involvert i måling av forbruk har utviklingen på AMS-fronten gått tregt i Storbritannia. Myndighetene ser derimot på en innføring av AMS som en måte å senke strømforbruk og derfor gjøre Storbritannia mer energiuavhengig. Myndighetene har ikke satt noen formelle krav til utbyggingen [44], men de har planer om å sette i verk krav om standarder for informasjonsutveksling slik at det er lett for sluttbrukere å bytte leverandør. Av to andre krav som de britiske myndighe-

ne ser på som viktige for å kutte energiforbruket er støtte for energimonitorer og egenproduksjon av elektrisitet.

6.1.5 Tyskland

Det er nettselskapet som er ansvarlig for måleravlesning i Tyskland, men det er ofte vanlig å ha tredjepartsleverandører som tar seg av dette. Grunnet et svært fragmentert marked av nettselskaper, samt uavhengige målerselskaper, har det skjedd lite i Tyskland på et overordnet AMS-plan. Selskaper som Yello har likevel innvert ved å gi sine sluttbrukere tilbud om en egenutviklet automatisk strømmåler som de kaller Yello Sporzähler. Den kommuniserer over TCP/IP og gir Yello sine kunder muligheten til å se detaljerte statistikker på Yello sine nettsider. Yello er også en av de aller første nettselskapene som har innledet et samarbeid med Google sin Powermeter-tjeneste. Dette innebærer at de har gitt tredjepartsleverandører Google tilgang til sine data slik at sluttbrukerne også kan bruke Google sin Application Programming Interface (API) for å få tak i registrert informasjon om eget forbruk. Selve målerløsningen ble utviklet sammen med Microsoft og deres Microsoft CE operativsystem. Dette er et tegn på at tredjepartsleverandører for første gang får fotfeste i en industri som er kjent for å være både sterkt regulert og lite innovativ. Et prosjekt som er verdt å nevne i Tyskland per i dag er myndighetenes E-Energy prosjekt.

Tysklands E-Energy prosjekt

E-Energy er et utviklingsinitiativ startet av det tyske økonomi- og teknologidepartementet. E-Energy er et teknologiprogram som fokuserer på smart produksjon, infrastruktur, bruk og lagring av strøm. Ved å benytte seg av smarte IKT-løsninger er målet å lage et internett av energi som kan kommunisere sammen på en måte som dagens kraftnett ikke kan. E-Energy nettverket bruker forutsiende systemer til å forutse forbruk og produksjon av energi avhengig av værforhold. Basert på dette blir prissignaler sendt til en gateway hos både sluttbruker og kraftprodusent. E-Energy består av seks regioner hvor forskning og utviklingsaktiviteter, med støtte fra økonomi og

teknologidepartementet, vil finne sted. Disse seks regionene spenner fra IKT-gateways, til Vehicle to Grid (V2G)-løsninger til helhetlige byplaner som ved Modelstadt Mannheim-prosjektet [28].

6.1.6 Spania og Portugal

Spania og Portugal deler en felles energibørs, Iberian Electricity Market (MIBEL), og har planer om å ha et felles kraftmarked for husholdningskunder i fremtiden. Spania godkjente i september 2007 et regelverk for automatisk strømmåling og minimumskrav for et AMS-system. Blant minimumskravene er momentan og planlagte avlesninger, mulighet for tidsdifferensierte tariffer, lagring av timeverdi i minst 3 måneder, til- og frakobling av strøm, fjernkonfigurering av strømmåleren og støtte for gradvis struping av effekt. Regelverket spesifiserer også at proprietære protokoller skal unngås. Det spanske energikonsernet Iberdrola er langt fremme i smartgrid-utviklingen. Iberdrola har tatt initiativ til en åpen standard for telekommunikasjonsarkitekturen i neste generasjons kraftnett. Dette initiativet har ført til OPENmeter-organisasjonen som fra og med 2009 startet et 30 måneder langt forskningsprosjekt som skal være ferdig 30. juni 2011. Et eksempel på pilotprosjekter som foregår per i dag er Endesa Smart City.

Endesa Smart City

31 millioner euro skal bli investert i Endesa Smart City. Prosjektet skal utvikles i Malaga og skal senke energiforbruket i regionen med 20% og samtidig unngå CO₂ utslipp på over 6000 tonn i året. 300 bedrifter, 900 tjenesteleverandører og 11 000 husholdninger skal være en del av prosjektet i fire år [31]. Første del av prosjektet innebærer installasjon av AMS-systemer hos de involverte husholdningene. Del to av prosjektet innebærer en analyse av effektivitet og forbruksmønster for å begrense forbruket av elektrisitet. Endesa Smart City er en del av EUs prosjekt for å nå sine 20-20-20 mål og mottar støtte fra European Regional Development Fund (ERDF).

6.2 Nord-Amerika

Mørkleggingen av store deler av nordøstlige USA og Ontario i Canada sommeren 2003 førte til en sterk økning av oppmerksomheten rundt utrulling av smartgrid-løsninger, og en generell opprustning av kraftnettet i både USA og Canada. Da Canada og USA allerede handler mye energi hos hverandre, Canada hos USA om vinteren og USA hos Canada på sommeren, er et videre samarbeid essensielt.

6.2.1 Canada

De elektriske systemene i Canada er under provinsielt styre og utbyggingen av et smartgrid vil derfor være opp til hver og en av provinsene. Canada er et godt eksempel på et land som kan ha god nytte av nestegenerasjons kraftnetsteknologi. Landet har mesteparten av sin befolkning lokalisert langs den sørlige grensen av landet mens mesteparten av strømproduksjonen foregår i store vannkraftverk i den nordlige delen av landet. Av provinsene i Canada er det Ontario som har kommet lengst, da de fra og med 2010 har lovpålagt installasjon av smarte energimålere. Provinser som British Columbia og Alberta følger etter og har planer om å introdusere liknende tiltak.

6.2.2 USA

USA har historisk ligget etter Europa når det kommer til infrastruktur på kraftnettet. Dette endres fort nå da de amerikanske myndighetene har startet et meget offensivt stimuleringsprogram med hovedfokus på smartgrid-teknologi. 4,5 milliarder dollar er tildelt moderniseringen av kraftnettet under American Recovery and Reinvestment Act (ARRA)-programmet, mens ytterligere 7,25 milliarder dollar er gjort tilgjengelige i lån for infrastrukturprosjekter relatert til kraftnettet [77]. For å utvikle nye og innovative løsninger på infrastrukturproblemene har Smart Grid Investment Grant (SGIG)-programmet også tildelt 3,3 milliarder dollar til prosjekter som kan gi kjapp integrasjon inn i den eksisterende kraftnettinfrastrukturen. Det foregår en

rekke private smartgrid-initiativer og pilotprosjekter i USA per i dag, i tillegg til den massive investeringen som foregår i regi av myndighetene. Av mindre prosjekter kan Fort Collins distribuerte kraftnett nevnes, mens prosjektene under er av større skala.

Xcel Smart Grid City Boulder Colorado

Smart Grid City er et ambisiøst prosjekt startet av Xcel, et amerikansk elektrisitet- og gasselskap. Deres mål er et komplett smartgrid-system som benytter toveiskommunikasjon i tilnærmet sanntid. Deres visjon er et energinett som inneholder sensorer i alle ledd, distribuert kraftproduksjon og lagring av energi. Sammen med partnere som GridPoint og Accenture ønsker de å installere smarte energimålere hos mesteparten av Boulders innbyggere. De har installert over 160 km med fiberoptiske kabler, og har så langt installert 15 000 av 25 000 smarte energimålere. De har også en egen nettside hvor sluttbrukere kan kontrollere forbruket sitt, og for en begrenset testgruppe slå av/på enheter i hjemmet fra hvor som helst i verden. Xcel benytter seg av utstyr fra GridPoint for å gjøre dette mulig, ved å installere forbruksutjevnerne, programmerbare termostater og energiadministratorer i hvert hus. Dette gjør det mulig for Xcel å utføre eksperimenter med blant annet Plug-in Hybrid Electrical Vehicles (PHEV), hvor de har evaluert effekten et stort antall hybride eller elektriske biler har på kraftnettet i form av forbruk, lading i peak-time [76].

Duke Energy Charlotte Smart Grid Pilot

Duke Energy har testet ut et mikrogrid-konsept i Charlotte, USA. Prosjektet består av et solcellepanel med en effekt på 50 kW, et 500 kWh batteri samt AMS-systemer installert hos sluttbrukere. Formålet med pilotprosjektet er å teste ut hvordan et virtuell kraftverk sammen med forbruksutjevning og prisinformasjon i sanntid, kan utjevne problemer med levering av kraft i perioder med høyt forbruk i kraftnettet. Duke Energy har til nå installert 8100 smarte energimålere hos sine sluttbrukere.

6.3 Asia og Stillehavsregionen

6.3.1 Kina

Kina er det landet som har satt av desidert mest penger til utvikling av infrastruktur. Smartgrid og AMS-systemer er en stor del av deres 586 milliarder dollar store investeringspakke for infrastruktur. Kina vokser i et stort tempo og de har som mål å redusere strømforbruket sitt med 20% innen slutten av 2010. De ønsker også at 15% av sin installerte kraftproduksjon skal komme fra fornybare kilder innen 2020 [77]. Nettet i Kina eies og driftes av ett statlig selskap, noe som gjør at de kan utføre endringer på en mye større skala enn noe annet sted i verden. Kinas statlige kraftnettselskap har lansert planer om å sette i gang smartgrid-pilotprosjekter fra og med 2010, og utrulling av infrastruktur over hele nettet fra 2030.

6.3.2 Australia

Australske myndigheter har lagt av 100 millioner australske dollar til et Smart Grid/Smart City-prosjekt som skal starte opp i slutten av april 2010. Prosjektet skal gi støtte til en av fire prosjektkandidater som skal få muligheten til å bygge opp Australias første kommersielle smartgrid-plattform [36].

6.3.3 Sør-Korea

Koreanske myndigheter har lansert et stort 65 millioner dollar prosjekt på Jeju Island med store samarbeidspartnere i smartgrid-bransjen. Programmet innebærer at hele øya skal fungere som en distribuert del av kraftnettet. Pilotbyen forsøket skal foregå i består av 3000 husholdninger og har et samlet energiforbruk på 10 MW [67]. Prosjektet ble startet i 2006 og skal være ferdig i 2011. Målet med pilotprosjektet er å etablere et smartgrid-system som kan implementeres i hele Sør-Korea. Det er Korea Smart Grid Association (KSGA) som er ansvarlige for utbyggingen og organisasjonen i seg selv består av medlemmer fra store internasjonale selskaper som LG Electronics, Accenture og Hyundai.

7

Fra passive til aktive energiforbrukere

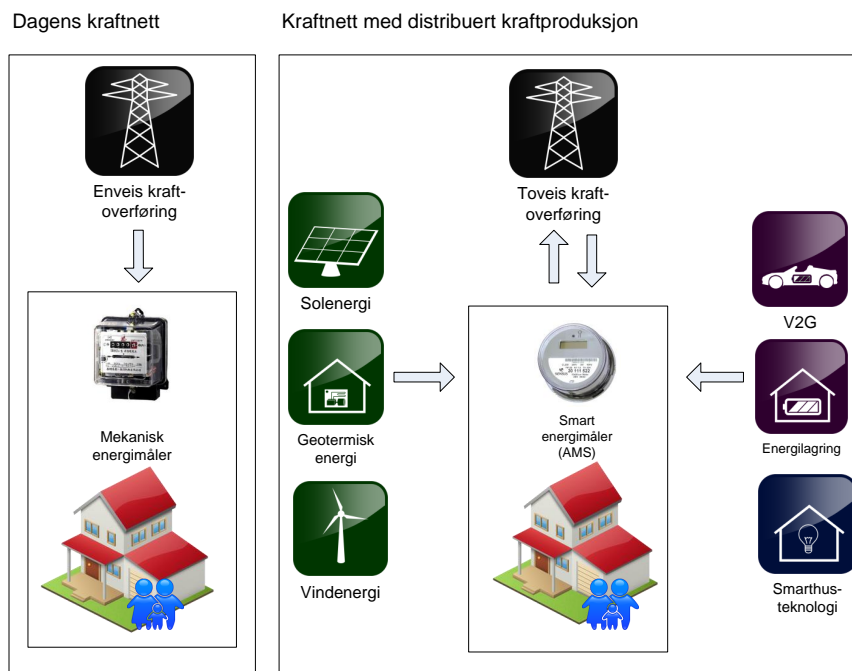
Fra kraftnettets spede begynnelse i USA til dagens gigantiske sammenkoblede verden er det lite som har endret seg for sluttbrukere. Vi er vant og oppvokst med at strømmen alltid er der, klar for å elektrifisere vår hverdag gjennom de mange støpslene vi har i våre boliger. Egenproduksjon av strøm til eget forbruk har frem til nå bare vært knyttet til et solcellepanel på hytta. En sterk teknologiutvikling har imidlertid ført til en økende konvergens mellom forbrukerelektronikk og mer avanserte energiprodukerende teknologi. Med dagens økende strømpriser og økt fokus på miljø vil vi i stor grad se en overgang fra passive til aktive energiforbrukere.

Figur 7.1 beskriver hvilke muligheter overgangen fra å være en passiv til aktiv sluttbruker tilbyr:

- Smarthusteknologi
- Produksjon og lagring av egen energi
- V2G
- Energisparing ved bruk av et AMS-system

7.1 Smarthus og smartgrid

Smarthuskonseptet er muliggjort ved den allestedsnærværende internettoppkoblingen de fleste husholdninger har gjennom DSL, fiber, kabel eller trådløs.



Figur 7.1: Fra passive til aktive energiforbrukere

Ved bruk av IKT muliggjør et smarthus en grønnere levestil ved å senke forbruket av ressurser som strøm, vann eller gass. Smarthusteknologi har muligheten til å effektivisere hvordan vi bruker ressursene våre samtidig som den kan vedlikeholde og høyne livskvaliteten vår. Jeg skal i denne seksjonen ta for meg koblingen mellom smarthuset og smartgrid. Denne koblingen skjer i endepunktet i et smartgrid, smartmåleren. Da smartmålerene som skal installeres i Norge ifølge NVE skal ha en radiomodul installert for kommunikasjon med tredjepartsutstyr ser jeg på smartmåleren som en kommunikasjonshub mellom smarthus og smartgrid. Denne kommunikasjonshuben gjør det mulig for sluttbrukere å ta en mer aktiv rolle i styringen av sitt eget hus og dets energiforbruk.

Et smarthus er et hus hvor teknologi jobber sammen for å redusere forbruk av ressurser, opprettholde komfort og øke produktiviteten og konnektiviteten til dens beboere. Et smarthus er et produkt av synergiene mellom sensornoder, smarte apparater, smarthus-kommunikasjonsstandarder og

overføringsmedium for data. Smarthusstandardene som eksisterer i dag er avanserte standarder som tilbyr fjernstyring og konfigurasjon av tjenester og elektriske apparater fra en rekke brukergrensesnitt. Det potensielle smarthusmarkedet er enormt og det er mange grunner til hvorfor dagens forhandlere ikke har klart å fange interessen til sluttbrukerne. En mangel på støtte fra produsentene av forbrukerelektronikk, proprietære kommunikasjonsstandarder og høye innledende installasjonskostnader er tre av hovedgrunnene til hvorfor smarthusteknologi har mislyktes i å oppfylle markedspotensialet sitt. Interoperabilitet og økende synergier mellom forbrukerelektronikk i husene våre burde derfor være hovedfokusområdet for smarthustilbydere. Frem til en kommende standard blir en global de facto standard vil gateway- og mellomlagsteknologi være den eneste måten å gjøre installasjonen av produkter fra forskjellige produsenter uanstrengt.

Jeg mener at AMS-systemer vil i stor grad være en katalysator for smartusmarkedet. Grunnen til dette er at vi alle vil få en lovpålagt smartmåler i boligen vår som skal inneholde en trådløs radiokommunikasjonsmodul. Denne modulen vil åpne et helt nytt marked for smarthusprodusenter ved at en eller flere kommunikasjonsstandarder vil få innpass i alle bolighus med en smart energimåler. Smartmåleren vil kunne kommunisere med et IHD som nevnt i 7.3.1, eller med en sentral smarthuskontroller. Denne smarthuskontrolleren kan være en uavhengig enhet du kjøper selvstendig eller den kan være innbakt i utstyr du leier av en tjenesteleverandør. Kommunikasjonen mellom enheter i huset står foran en revolusjon, men det er fortsatt usikkert hvilke teknologier som vil komme seirende ut av den kommende standardkrigen.

Et smart hus i konteksten til denne oppgaven er et hus som kan respondere på forespørsler fra nettselskapet (4.2.1), redusere forbruket sin uten å påvirke komforten til brukerne i særlig grad hvis forbruket i området er for høy (7.3), produsere egen strøm og balansere forbruket av denne mot salg til kraftnettet (8.3) samt kombinere dette med underholdningsteknologi og økt komfort for husets beboere ved hjelp av elektriske apparater med compatible smarthusprotokoller (10). Jeg kommer i kapittel 10 og kapittel 11 til å gå igjennom kommunikasjonsmediene og kommunikasjonsstandarder bak smarthus og AMS-delen av smartgrid og ser på smartmålerne som bindeled-

det som får dette til å fungere sammen.

7.2 PHEV PEV og V2G

Vi ser allerede i dag en økende fokus på hybride og elektriske biler. Et smartgrid vil gjøre det mulig for kraftnettet i dag å støtte en drastisk økning av antall Plug-In Hybrid Electric Vehicles (PHEV) og Plug-in Electrical Vehicles (PEV) enn det er i dag. PHEV og PEV er både mer kostnadseffektive for sluttbrukere og reduserer CO₂-utslippet drastisk, spesielt hvis bilen blir ladet opp med fornybare energiresurser. Kombinasjonen av smartgrid og elektriske biler tilbyr både en løsning på forurensingen som dagens biler står for, samtidig som at batterikapasiteten til bilene kan utnyttes i distribuert grad med smartgrid-teknologi. Ved et økt antall elektriske biler i kjøretøyparken åpner dette for nye og revolusjonerende måter å balansere kraftteterspørselen i nettet på. V2G er nettopp dette konseptet, hvor den raskt voksende andelen elektriske biler kan utnyttes i en helt annen grad enn i dag av et mer intelligent kraftnett. I følge Kempton og Tomic [69] står vi foran tre typer konvergens mellom kraft- og transportnettet:

1. Kjøretøyparken vil gi kunne lagre produsert elektrisk kraft for å deretter sende kraften tilbake til nettet når forbruket er høyt.
2. Elektrisitet vil komplementere eller erstatte helt bensin og diesel som energibærere for en sterkt økende andel av kjøretøyparken.
3. Automatiserte kontrollmekanismer i smartgrid i kombinasjon med standardiserte grensesnitt i de elektriske bilene vil gjøre det mulig å optimalisere energioverføringene mellom disse to systemene.

Bilene som det er snakk om her er nestegenerasjons elektriske biler eller hybridbiler. Disse må ha tilkoblingsmuligheter for lading fra standardiserte og eksisterende støpsler. Som beskrevet tidligere i denne oppgaven er fornybare energiresurser veldig periodiske. I et kraftnett må all kraft som produseres brukes i det samme øyeblikket. Smartgrid-løsninger som V2G åpner for at de store batteriene i elektriske biler kan benyttes til noe annet enn

bare transport. Selv om den elektriske bilen er kjøpt inn for transport så står biler stille gjennomsnittlig 96% av tiden [68]. Ved bruk av intelligente systemer som benytter seg av energilagringspotensialet som elbilene har å tilby, samtidig som at sluttbrukeren som eier bilen blir kompensert økonomisk for bruken, er det mulig å redusere transportkostnadene for sluttbrukeren samtidig som at kraftleverandørene kan redusere fordyrende produksjon av kraft i perioder med høyt forbruk. Disse fordyrende produksjonsleddene består av høylastkraftverk og driftsreserver. Høylastkraftverk er kraftverk som bare settes igang når forbruket er veldig høyt. Et slikt kraftverk brukes så lite som et par timer i året til et par timer om dagen avhengig av strukturen til kraftnettet og forbruket til sluttbrukerne. Driftsreserver er produksjonskapasitet som står på stand-by i tilfelle en av produksjonsenhetene til et kraftverk stopper, eller det oppstår andre potensielle feil i nettet. Begge disse formene for kraftproduksjon er nødvendige da det per i dag ikke er teknisk eller økonomisk mulig å lagre kraft i stor skala uten å bruke pumpekraftverk. Potensialet til å redusere driftskostnadene med alternative løsninger er derfor veldig stor. Det europeiske forskningsprosjektet G4V, som er en del av det sjuende rammeverkprogrammet for forskning i EU, jobber mot å definerer hvordan den elektriske kjøretøyparken skal kunne integreres på mest effektiv måte i Europa [42]. Innovative selskaper som PG&E har allerede introdusert eksperimentelle prismodeller for sluttbrukere med PHEV eller PEV. Disse time-of-use prismodellene er delt opp i sommer og vinter, hvor sommer har tre prissoner og vinter bare har to. Potensialet her, i likhet med forbruksutjevningspotensialet hos det samme selskapet, er stort med prisvariasjoner på opptil 500% [83].

7.2.1 Potensialet for V2G i Norge

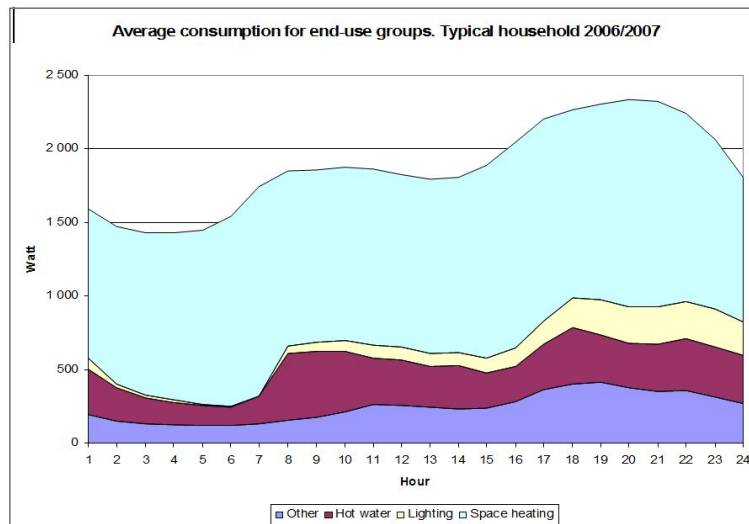
Det er per i dag 2,7 millioner biler i Norge [100]. Hvis man ser utelukkende på hustander som har egen parkeringsplass, og dermed mulighet til å opprette ladestasjon for en personlig elbil, er det totalt 1 249 487 av disse. Hvis jeg går utifra at andelen elektriske biler stiger til 25% i en nær fremtid gir dette 312 372 biler med mulighet for eget ladepunkt. Hver av disse ladepunktene

benytter seg av 230 V og 16A, og vil dermed ha en effekt på 3680W. Totalt vil altså den samlede potensielle effekten av en fremtidig elektrisk kjøretøypark være 1149,5 MW når alle bilene er koblet til. Da sannsynligheten for at alle bilene er koblet til samtidig er svært lav antar jeg at minst 95% er tilgjengelige for bruk fra tidsperioden 00.00 - 05.00, hvor blant annet vindproduksjonen er høyest. I høylastperioder som fra 16.00 og utover kvelden er det sannsynlig at minst 70% av bilene er tilgjengelige for V2G-tjenester. Dette er henholdsvis 1092 MW og 804,7 MW. Sammenlignet med Mongstad gasskraftverk på 280 MW, som er det anlegget i Norge som er ansvarlig for det enkeltstående største CO₂ utslippet per 2009, betyr dette at en fremtidig elektrisk kjøretøypark innebærer et enormt V2G-potensiale. Et stor insentiv for kraftbransjen til å ta tak i dette tidlig er å begrense det enorme kraftforbruket som en kjøretøypark av elbiler kommer til å ha hvis de lades samtidig. Dette innebærer at en tidsmessig distribuert lademodell er et meget godt alternativ for både kraftprodusenter og sluttbrukere.

7.3 Forbruksutjevning og reduksjon i energiforbruk

Forbruksutjevning har allerede blitt benyttet mye som verktøy av kraftindustrien for å begrense de negative økonomiske innvirkningene topplast har på kraftnettet. Topplast er periodene på døgnet hvor forbruket er så høyt at kraftleverandørene må ha reserver tilgjengelig i tilfeller hvor deres effektreserver ikke er tilstrekkelige. Effektreserver er de ekstra prosentene med kraft som kraftprodusenter produserer for å være sikker på at de dekker forespørselen på markedet der og da. Dager hvor topplast nåes kan være ekstra kalde dager i Norge hvor det må kjøpes inn ekstra kraft fra andre land i Europa når forbruket er høyt. Denne kraften produseres ofte av allerede aktive kull- og gasskraftverk, eller i de verste tilfellene av reservekraftverk som må startes opp for å dekke en liten økning utover den planlagte produksjonen av kraft. Dette medfører uansett økte utslipp og kunne vært unngått hvis kraftforbruket hadde fulgt en mer distribuert kurve istedenfor å nå toppe som man kan

se på figur 7.2.



Figur 7.2: Typiske husholdningsforbruk per time fra REMODECE forskningsprosjektet [50]

Paradokset at kraftindustrien vil installere smarte energimålere hos oss, slik at vi forbruker mindre av en vare de produserer, kan forklares med nettopp dette fenomenet; per i dag betaler de fleste strømmen sin basert på enten en fast eller flytende strømpris, som ikke kan variere veldig innenfor et begrenset tidsområde. Dette fører til at ved fastprisavtaler er kraftselskapene som selger oss strømmen avtalefestet til å selge oss strøm til en fastsatt pris, samtidig som at kraftselskapet grunnet topplast må betale en mye dyrere pris for denne strømmen. I et flytende strømprisavtale, en spotprisavtale, betaler sluttbrukeren en gjennomsnittspris basert på faktiske prisvariasjoner. Ved å unngå at topplast forekommer slipper kraftselskapene å ha reserveproduksjon av kraft, samtidig som at de slipper å tape penger på å selge strøm til under innkjøpspris. Det amerikanske energireguleringsorganet Federal Energy Regulatory Commission (FERC) beskrev forbruksutjevning slikt:

"Demand response can provide competitive pressure to reduce wholesale power prices; increases awareness of energy usage; provides for more efficient operation of markets; mitigates market power; enhances reliability; and in combination with certain new technologies, can support the use of renewable

energy resources, distributed generation and advanced metering."’.

Ved å gi sluttbrukerene tilgang til lettfattelig informasjon om pris i sann-
tid fra IHD, kombinert med smarthus-verktøy som gjør det mulig å planlegge
tidspunktet når elektriske apparater som vaskemaskin eller tørketrommel skal
kjøre, er det mulig å jevne ut forbrukskurven til den gjennomsnittlige slutt-
bruker. Da vil energi-intensive apparater som tørketrommelen automatisk
startes på et tidspunkt i løpet av dagen når prisen for strøm synker under et
predefinert nivå. Denne integrasjonen av smart elektronikk i huset gjør det
mulig å predefinere et forbruksmønster basert på om tid, kostnader eller mil-
jø er den viktigste ressursen akkurat da. En tettere integrasjon av hvitevarer
eller andre elektriske apparater med nettselskapet gjør det også mulig å få
spesielle abonnementer som gir sluttbrukeren reduserte kostnader for strøm,
samtidig som det gir nettselskapet muligheten til å skru av varmtvannsbe-
rederen eller varmeelementet i tørketrommelen i korte perioder for å unngå
topplast. Denne formen for forbruksutjevning, hvor nettselskapene har muli-
ghet til å styre apparater i huset ditt, kalles automatisk forbruksutjevning.
Med den gradvise introduksjonen av PHEV i kjøretøyparken gir dette enda
flere muligheter for både sluttbrukerne og nettselskapene. Batteriet i en elbil
kan eventuelt lades opp på natten når både prisen og forbruket i kraftnettet
er lavt for å så kunne brukes i ett distribuert nett av kjøretøyer i nabolaget
for å dekke topplast der og da. Dette medfører at sluttbrukerne kan kjøpe
strøm til en billig pris om natten for å så selge strømmen med fortjeneste i
løpet av dagen hvis forbruket i nettet er stor. Som også nevnt i seksjon 8.4
kan også et eventuelt batteri som lagrer strøm fra fornybare energikilder som
vind og sol også brukes til å jevne ut forbruket til systemet på lik måte som
batteriet i en elbil.

Denne formen for dynamisk prising er et viktig verktøy for å flate ut
forbrukskurven. Etter det norske kraftmarkedet ble deregulert har antallet
sluttbrukere som benytter seg av spotpriser økt kraftig. Spotpriser er essen-
sielt for at sluttbrukere skal kunne tilpasse seg kraftmarkedet. Da flertallet i
Norge fortsatt blir avregnet basert på JIP blir de ikke avregnet etter faktisk
forbruk selv om de har spotpris som kraftkontrakt. Dagens marked består av
tre ulike typer kraftkontrakter [8]:

Standard variabel kontrakt er den vanligste prismodellen i dag. Denne prismodellen følger kraftmarkedet, men på grunn av at leverandørene må informere om prisendringer 14 dager før de trer i kraft inneholder kraftkontrakten lite insentiv for endring av forbruk for sluttbrukerne. En økning i pris vil påvirke sluttbrukers bruk av strøm, men 14-dagers frist for informasjon om prisendringer er ikke nok for å innføre elastisiteten som blant annet forbruksutjevning har som mål.

Spotpriskontrakt er den samme prisen som kraft selges for på Nord Pool med et ekstra påslag. Her er det mulig å prissette basert på timesverdier.

Fastpriskontrakt innebærer at man betaler en fast pris for en avtaletestet periode. Fastpris er generelt dyrere enn spotpris, men man øker tryggheten ved at kostnaden er lik hver måned

I rapporten "Nye produkter fra kraftselger til kunder med timemåling og belastningsstyring" [98] foreslås en rekke nye kraftprodukter:

Innkjøpspris med returrett [32] er en prismodell som innebærer at sluttbruker kjøper en fast mengde strøm til en fast pris. Ved å ha tilgang via nettet til hvor mye strøm som er brukt i forhold til innkjøpt mengde, kan sluttbrukeren oppnå en gevinst ved å spare når spotprisen er høy. Ved høy spotpris har sluttbrukeren her mulighet til å gå med gevinst, ved lav spotpris er potensialet der for tap. Dette avhenger selvfølgelig av prisnivået da kontrakten ble inngått.

Time-of-use er en prismodell som er svært populær blant annet i USA. Denne prismodellen har varierende pris avhengig av tiden på døgnet. Dette kan bety at man har forskjellige priser basert på sesonger, uker eller helt ned i timer. Denne prismodellen gjør det lettere for sluttbruker ved at man kan på en enklere måte enn spotprismodellen tilpasse seg markedet. Modellen følger ikke markedet helt, men i forhold til fastpriskontrakter er muligheten for dynamikk langt mer tilstede.

Critical-peak pricing er en hybrid prismodell av spotpris og TOU som innebærer at prisen kan økes under spesielt kalde perioder.

Fastpris med utkobling er en prismodell som avtalefester forbruksutjevning mellom nettselskap og sluttbruker med en redusert fastpris som bonus for sluttbrukeren.

Effektabonnement innebærer at sluttbrukeren abonnerer på en fast maksimaleffekt i måneden. Dette er altså en toprisordning hvor man betaler mer for hver kW som overstiger den avtalte maksimaleffekten som man abonnerer på.

Ved å innovere i måten vi betaler for strøm på har kraftbransjen muligheten til å gi oss insentiver for å spare strøm i perioder hvor forbruket i kraftnettet er høyt samtidig som de kan tilfredstille ulike forbrukergrupper som har ulike prioriteringer når det kommer til forholdet mellom pris og energikonservering.

Alle teknologiene beskrevet her og muligheten til å få informasjon om pris på en brukervennlig måte bindes sammen av smarthusteknologi, som gjennom kommunikasjon med nettselskapet ditt gjennom en smart energimåler har muligheten til å finjustere kraftforbruket ditt i sanntid.

7.3.1 IHD - In-Home Displays

IHD eller informasjonsdisplay er også nevnt i NVE sitt utkast til ny §3.11. Mulighet for tilkobling av en IHD er en av de funksjonelle kravene satt fra NVE til ett nytt AMS-system, det ble likevel ikke satt som et krav at nettselskapene skulle være ansvarlige for å tilby installasjon av utstyr bak målepunktet under den siste tillegghøringen i 2009. Det skal være nettselskapenes ansvar å gi sluttbrukeren best mulig informasjon, men etter NVE sin mening er det sluttbrukeren selv som skal bestemme hvordan den har lyst til å motta informasjonen.

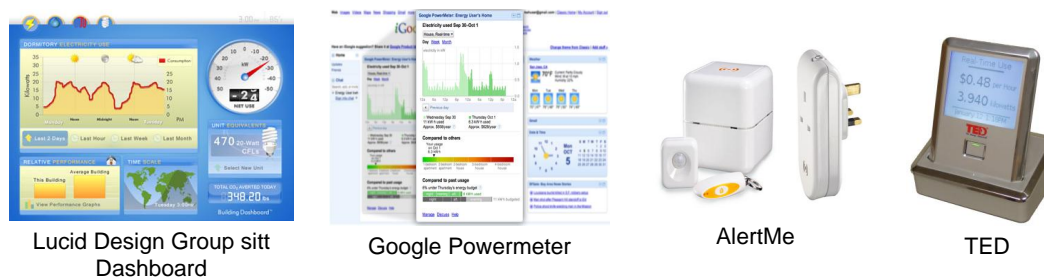
IHD er eksterne display som kommuniserer trådløst med den smarte energimåleren installert i huset. IHD sin hovedoppgave er å presentere statistikk om forbruk på en brukervennlig og informativ måte, som igjen skal

påvirke sluttbrukeren til å redusere forbruket sitt ved å bli opplyst om eget forbruksmønster. Sanntidsinformasjon om forbruk i kWh eller i kr/time gjør det lettere for en sluttbruker å se hvilke av apparatene i huset som forbruker mest strøm på ethvert tidspunkt. Forskning på systemer rundt direkte tilbakemelding er ikke noe nytt da studier fra de siste 40 årene viser at direkte tilbakemelding fører til endring av forbruksmønster med opp til 20%. I "Making it Obvious: Designing Feedback into Energy Consumption"[21], går Darby igjennom 38 tilbakemeldingsstudier gjennomført over 25 år. 21 av disse omhandlet reduserende tiltak vedrørende energi. Blant disse studiene lå potensialet for energisparing på mellom 0 og 20% med 15 av disse studiene innenfor et omfang fra 5 til 14%. Basert på forsøkene Darby analyserte var direkte tilbakemelding den mest lovende metoden for å endre forbruksvaner relatert til strømforbruk. En liknende studie gjennomført av Corinna Fischer [41] forsterket Darby sine konklusjoner. Hennes konklusjon var at digitale tilbakemeldinger var den beste formen for energisparing. En nyere studie gjennomført av The Brattle Group [39] fant energisparinger mellom 3 og 13% i en rekke aktuelle og pågående pilotprosjekter. Det er imidlertid viktig å påpeke at alle forskningsprosjekter rundt dette temaet har tatt for seg pilotprosjekter, og det er per i dag ingen prosjekter som har målt effekten i energisparing over hele sluttbrukersegmentet til et nettselskap. Dette medfører at før AMS rulles ut i stor skala vil disse pilotprosjektene bare være en pekepinn på hvor mye energi som kan spares ved bruk av IHD. Tar man imidlertid utgangspunkt i Brattle Group sin analyse betyr dette at det eksisterer per i dag et potensiale for å spare mellom ca. 1 og 4,5 TWh i året av elektrisitet brukt i husstander i Norge på introduksjonen av IHD. Dette tilsvarer ca. 0,43 til 1,85 ekvivalenter av gasskraftverket på Mongstad.

IHD Produkt eksempler

IHD er ikke et fremtidsleketøy, men finnes allerede i salg fra en rekke produsenter. Disse IHD benytter seg av en klemme som du fester rundt hovedledningen i sikringsboksen. Denne kommuniserer med en gateway som man kobler til det lokale kablede eller trådløse nettet i huset. Dette gir en oversikt

i sanntid over forbruk totalt i huset, men vil ikke kunne gi informasjon om forbruk fra separate apparater. Produsenter som Energy Inc [62] med dere energidetektiv TED eller AlertMe [61] samarbeider med Google Powermeter for å gjøre statistikken tilgjengelig overalt. Alertme tilbyr også spesialdesignede strømkontakter som gjør at man kan holde et øye med forbruket til enkeltstående apparater. Mens Energy Inc. satser på en selvstendig IHD, på lik linje med andre produsenter som EnergyHub [63], Onzo [73] og Tendril [103], så satser AlertMe heller på et uavhengig design hvor løsningen er webbasert. I disse løsningene kan man bruke alt fra en smarttelefon til en PC for å hente ut informasjon om forbruk. Liknende produsenter innenfor samme segment som AlertMe er blant annet Lucid Design Group sitt Dashboard [51], Agilewaves Energy Monitoring System [60] og Wattvision fra Aerodyno [59]. Microsoft har i likhet med Google lansert sin portal for energikonservering, Microsoft Hohm. Både Microsoft og Google har posisjonert seg for å være nettselskapers tredjepartsleverandør av statistikk og informasjon til sluttbrukere. Av IHD produsentene over er det bare TED og AlertMe som per i dag kan bestilles personlig uten å gå gjennom nettselskapet ditt. Av disse to er det bare TED som tilbyr en engangskostnad og total personlig kontroll over statistikk bruk. AlertMe som mange andre tilbyr et webgrensesnitt med tilhørende abonnentkostnader.



Figur 7.3: In-Home Displays

7.3.2 Forbruksutjevning i Norge - en umulighet?

Det er en selvfølge at produksjonsselskaper ønsker å jevne ut den døgnlige forbrukskurven fra sluttbrukere. Kostnaden ved å sette igang toppplastkraftverk er mye høyere enn driften av grunnlastkraftverkene som kjører hele tiden. Som figur 7.2 viser er det opp til en 65% økning i energiforbruk mellom perioder med lavt og høyt forbruk hos en gjennomsnittlig sluttbruker. Som beskrevet tidligere er det også et effektivt verktøy i et smarthus i kombinasjon med smarte elektriske enheter for å planlegge kraftforbruk på forhånd. De største eksemplene på dette er lading av elbiler og bruk av vaskemaskin/tørketrommel. Energikrevende prosesser som dette kan i store antall utgjøre en stor del av forbrukskurven til et produksjonsselskap. I USA er flere store nettselskaper/produksjonsselskaper allerede igang med sanntidsprising for sluttbrukerene som allerede har fått montert smartmålere. PG&E er en av disse selskapene som har en rekke forskjellige tariffer tilgjengelig for sluttbrukerene sine. En av disse, Electric Schedule E-6 [45]. Her har de definert priser i perioder fordelt på om forbruket i kraftnettet er lavt, medium eller høyt. Prisforskjellen mellom perioder med lavt eller høyt forbruk på døgnet har et forholdstall på hele 3,46 (periode med lavt forbruk: 0,087 \$ per kWh, periode med høyt forbruk: 0,301 \$ per kWh). Sammenligner man dette med timespriser fra Nord Pools kraftmarked fra Mai 2010 ser man at prisforskjellen her bare har et forholdstall på 1,03 (407,87 kr per MWh i perioder med høyt forbruk mot 394,92 kr per MWh i perioder med lavt forbruk).

Med så lite forskjell mellom prisene for perioder med lavt og høyt forbruk forsvinner sluttbrukerens insentiv til å endre sine forbruksvaner. Det eneste alternativet da ville vært å installert utstyr som automatisk ventet til det var lavt forbruk med å kjøre spesifikke elektriske enheter hos sluttbrukeren. Dette ville derimot ikke fungere da, sett gjennom øynene til sluttbrukeren, ville introduksjon av forbruksutjevning i hjemmet ført til mindre fleksibilitet i hverdagen uten at sluttbrukeren blir kompensert gjennom lavere tariffer.

Da produksjonsselskapene og den generelle sunnheten i kraftnettet fortsatt ville ha godt av forbruksreduering i perioder med høyt forbruk, ville frivillige automatiske forbruksredueringprogrammer mot økonomisk kompen-

sjon være et alternativ. I det norske forskningsprosjektet Forbrukerfleksibilitet ved effektiv bruk av IKT"[48] ble 10 894 sluttbrukere utstyrt med AMS- og forbruksutjevningssystemer. Formålet med forsøket var å undersøke responsen til sanntids- og Time of Use (ToU)-prising. Forsøket kom frem til at gjennom vinteren 2003-2004 var det mulig for en sluttbruker å spare ca. 25 euro i måneden ved å ha forbruksutjevning installert på blant annet varmtvannsberederen. Rapporten kom også frem til at ved å installere utstyr som automatisk skrur av varmtvannsberederen i perioder med høyt forbruk i halvparten av norske husholdninger, kan totalt 600 MW forbruk reduseres på bakgrunn av meldinger om høyt forbruk i kraftnettet sendt ut fra sluttbrukerens lokale nettselskap.

8

Fra sentraliserte til desentraliserte kraftverk

Dagens kraftnett er bygd for store sentraliserte kraftverk som leverer strøm til sluttbrukere over hele landet. Morgendagens kraftproduksjon kommer til å bestå av mindre desentraliserte kraftverk som benytter seg av en rekke forskjellige produksjonsmetoder. Vindmøller, brenselceller, solcellepanel og mikro-turbiner - for å nevne noen - er nye former for kraftproduksjon som er under utvikling per i dag. Vind og kombinert varme- og kraftanlegg har i dag nådd konkurransedyktige nivåer, mens mikro-turbiner, brenselceller og solcellepaneler er teknologier for morgendagen. Integrasjonen av fornybare energikilder er tett knyttet opp mot forskningen på hvordan man kan designe morgendagens distribuerte kraftnett. EU sitt Fifth Framework Programme (FP5) inneholder en sterk fokus på nettopp dette temaet, med forskningsprogrammet "Integration of renewable energies and distributed generation into European electricity networks"[16]. Under FP5-programmet ble også en klynge av forskningsprosjekter, Integration of Renewable Energy Sources and Distributed Generation into the European Electricity Grid (IREG), opprettet. Følgende lærdom kom ut av prosjektet[16]:

- Betydningen av å endre tankegang fra det å koble til fornybare energiresurser i kraftnettet til det å integrere de, er kritisk. Dette innebærer et fokus bort fra tankegangen om at vi skal legge til litt fornybare energiresurser i kraftnettet, til en endret tankegang om hvordan disse

ressursene heller skal integreres i et nytt og distribuert kraftnett.

- Fremtidens kraftnett kommer i stor grad til å være basert på ny elkraftteknologi og IKT-applikasjoner.
- Fullt integrerte Distributed Energy Resources (DER) kan potensielt gi Europa en rekke fordeler. Redusert sentralisert kraftproduksjon, forbedret overføring- og distribusjonskapasitet, økt systemsikkerhet, reduserte helhetlige kostnader og CO₂ utslipp samt å øke Europa sin konkurransedyktighet på verdensmarkedet.

Utifra denne masteroppgavens ståsted skiller jeg mellom to former for distribuert produksjon av kraft, små distribuert kraftverk administrert av nettselskaper eller enkeltpersoner og kraftproduksjon til personlig formål i egen bolig.

20/20/20-målene til EU representerer tre store drivere for distribuert produksjon av kraft:

Integrasjonen av fornybare ressurser i dagens kraftnett: I Europa per i dag begynner penetrasjonen av DER, spesielt vindkraft, å bli så høy at integriteten og sikkerheten til kraftnettet står på spill.

Reduksjonen av drivhusgassutslipp. Endre hvordan vi produserer energi.

Økning av energieffektivitet. Redusere tap i transmisjonsnettet, produsere mer kraft lokalt.

Disse tre driverne kan sammen øke stabiliteten til energiforsyningen vår, redusere utslippene gjennom effektivisering av forbruk og forflytting av produksjonsmetode, unngå transmisjonstap og kostnader relatert til dette samt å unngå kostbare investeringer i sentraliserte produksjonsløsninger.

Et av forskningsprosjektene under EUs femte rammeprogram var DISPOWER [17]. DISPOWER er en samling av prosjekter som ser på tekniske, sosialøkonomiske og institusjonelle barrierer som distribuert produksjon kan

medføre. De mest nærliggende og aktuelle ideene i dag er mikrokraftnett, virtuelle kraftverk og egenproduksjon av energi. Dette er beskrevet i seksjonene nedenfor.

8.1 Mikrokraftnett

Mikrokraftnett er ideen om distribuert produksjon av kraft kombinert med økt pålitelighet for hele kraftnettets. Ideen er at mindre områder skal være tilnærmet autonome med tanke på produksjon og forbruk av kraft. Et nabolag skal f.eks kunne på generell basis produsere deler av sin egen energi selv, mens den handler resten av energiforbruket fra andre autonome mikrokraftnett eller fra sentraliserte produksjoneenheter. Ved problemer i kraftnettets, som i dagens system ville ha ført til rullerende mørklegginger, vil da mikrokraftnettets koble seg selv av makronettet og i en periode klare seg med egenprodusert eller lagret energi. Da produksjonen av nok energi i hvert av mikrokraftnettene ofte er svært vanskelig kan ikke mikrokraftnettets forsyne sluttbrukerne med et normalt forbruk av strøm. Det er likevel stor forskjell mellom litt strøm og ingen strøm. Smartmålere og intelligente elektriske enheter gjør det derfor mulig i perioder med problemer i kraftnettets, å begrense forbruket radikalt slik at kun nødvendige enheter som kjøleskap og lys holdes operativt.

8.2 Virtuell Kraftproduksjon

Som nevnt i forbruksutjevningssesksjonen 7.3 kan kombinasjonen av smartgrid og smarthus endre våre forbruksmønstre for strøm helt. En virtuell kraftprodusent er en tredjepartsleverandør som har systematisert forbruksutjevning og bygd et firma opp rundt det. Konseptet innebærer at et firma investerer i forbruksutjevningssystemer hos en rekke kommersielle eller private aktører og tilbyr effekt i form av negawatt eller negawattimer til nettselskapet. Negawatt og negawattimer representerer spart energi i motsetning til produsert energi. Dette kan de gjøre ved å aktivere forbruksutjevningssystemet sitt på spesifikke tidspunkt da nettselskapet har leveringsproblemer på grunn av

høyt forbruk i området sitt. Ved å installere dette utstyret hos selskaper eller i private hus i form av en kontrakt som tilsier mengden ressurser, som er produktet av effekt og tid som forbruksutjevningen kan strupe over en avtalefestet periode per år, kan alle partene få en økonomisk genvist. Firmaet som holder på med forbruksutjevningen vil kunne operere som en tradisjonell kraftleverandør, med unntak av at det fjerner forbruk istedenfor å produsere kraft for å dekke forbruket. Dette firmaet vil da kunne få betalt i samme grad som de ordinære toppplastkraftverkene som gjør den samme jobben per i dag. Selskaper som Enernoc [64] har allerede gjort stor suksess med dette konseptet i USA, hvor også kraftmarkedet i større grad enn i Norge gjør det mulig å profitere på et slikt forretningskonsept.

8.3 Egenproduksjon av energi

Med utviklingen av Home Area Network (HAN)-systemer, som kan kontrollere de fleste aspektene av huslige gjøremål, er det bare naturlig at systemer for å styre produksjonen av egenprodusert strøm integreres i dette systemet. Kombinasjonen av sol, vind og varmepumper av forskjellige slag gjør at potensialet for produksjon av strøm, til hele eller deler av forbruket til en bolig i Norge, blir større og større ettersom effektiviteten i teknologiene som høster denne energien utvikler seg. Potensialet for egenproduksjon av strøm er avhengig av strukturerte rammeverksavtaler med nettselskapene, noe som krever reguleringer da dagens lovverk tilsier at det er opp til nettselskapet om de vil betale deg for overskuddsproduksjon. Dette incentivet er viktig da det både bidrar til økt kraftproduksjon i Norge og reduserer drivhusgassutslippene. Som nevnt i seksjon 7.3.2 opererer selskaper som PG&E med innmatingstariffer som innebærer at i perioder med høyt forbruk i kraftnettet kan man selge kraft til en langt høyere pris enn til andre tider på døgnet. England har også kommet etter på innmatingstariffer da de per 1. April 2010 har satt igang et program i regi av Energy Saving Trust [104]. Programmet innebærer at sluttbrukere kan få en fastsatt pris per kWh de velger å selge tilbake til kraftnettet. I Norge er det ikke fastsatt en slik innmatingstariff, men per 11.05.2010 ga NVE generell dispensasjon som gjør det enkle å bli

plusskunde, altså en forbrukskunde som i enkelttimer har overskuddskraft som kan mates inn i nettet [80]. Ordningen innebærer at sluttbruker slipper å betale andre tariffledd for innmating av kraft. Denne ordningen er imidlertid frivillig, noe som innebærer at det er opp til nettselskapet å bestemme om man skal få benytte seg av den. Dette betyr at selv om ordningen er et steg i riktig retning er det fortsatt et stykke igjen før vi har en nasjonal ordning i likhet med Storbritannia.

8.4 Energilagring

Per i dag lagres svært lite energi. Den eneste kostnadseffektive teknologien som er utbredt per i dag er pumpekraftverk. Dette er rett og slett vannmagasiner hvor kraftverket kan pumpe vann opp i høyden for å lagre vannets potensielle energi til senere. Av all smartgrid-forskning så er det nok innenfor energilagring at det er mest forskning som skjer. Dette er fordi det er veldig mye verdier å hente i å kunne lagre energi for kortere tidspunkt før det må brukes i nettet. Smarthusleverandører som Samsung har lansert store batteripakker man kan installere i kjelleren for å lagre energi man har produsert selv. Som nevnt i seksjon 7.2 innebærer V2G teknologi at vi heller kan benytte oss av en elektrisk bil som et sted å lagre overskudd av energi hvis egenproduksjonen av strøm overstiger forbruket. For større installasjoner til bruk i smartgrid er komprimert luft, svinghjul, ulike batteriteknologier og brenselceller alternativer. Teknologien her er likevel langt fra klar og selv om et fremtidig smartgrid må designes med energilagring i tankene er den faktiske implementasjonen av hardware et stykke unna.

9

Definisjon av vurderingskategorier

De to neste kapitlene inneholder teorien bak og analysene av de ulike standardene, protokollene, dataformatene og kommunikasjonsmediene som de to grensesnittene jeg har fokusert på i denne oppgaven kan bestå av. For å kunne gjøre en objektiv vurdering av disse feltene var det nødvendig å ikke bare gjøre et studie av teorien bak de ulike teknologiene (med teknologi refererer jeg her til de ulike standardene, protokollene, dataformatene og kommunikasjonsmediene), men også sette de opp mot hverandre slik at jeg til slutt kunne sitte igjen med en teknologisk plattform som AMS i Norge kunne etableres på. Strukturen er derfor som følger; Hvert av kappitel 9 og 10 inneholder en teoretisk bakgrunnseksjon over de ulike teknologiene. Til slutt i begge kapitlene kommer en oppsummering som inneholder min anbefaling av de ulike feltene. Denne anbefalingen er bygd på ett sett med vurderingskategorier som jeg har definert nedenfor. Med bakgrunn i disse verdiene kunne jeg vurdere de sterke og svake sidene til de ulike teknologiene og dermed sette en numerisk verdi mellom 1 og 4 for å symbolisere til hvilken grad teknologien oppfylte vurderingskategorien. Med bakgrunn i at det er en stort antall ulike teknologier som jeg har vurdert i denne oppgaven har jeg jeg vedlegget satt de opp i radardiagrammer for å gjøre en sammenlikning av de ulike vurderingskategoriene enklere.

Grad av standardisering Graden av standardisering refererer til flere ting. Først og fremst refererer kategorien til hvorvidt transmisjonsmediumet eller meldingsformatet er standardisert av relevante organisasjoner. Et

annet viktig moment som ofte kommer som et produkt av internasjonale standardiseringer er interoperabilitet. Når en teknologi standardiseres av uavhengige standardiseringsorganer fører dette til at det blir lettere å gjøre andre teknologier kompatible med den standardiserte teknologien. I smartgrid- og AMS-sammenheng er dette svært viktig da industrien er avhengig av standardiserte løsninger for å unngå å bli låst inne av enkeltleverandører, samt for å dra nytte av lavere priser på teknologier som selger i store kvantum. Jeg vurderer teknologiene og standardene utifra hvilket standardiseringer de har oppnådd samt graden av åpenhet.

Robusthet Robustheten til et system er definert som et systems evne til å fortsette å fungere til tross for at det eksisterer feil i system- eller subkomponenter. Dette innebærer ikke at systemet skal fortsette å fungere feilfritt, men graden av evne til å fungere ved minsket grad til problemet har blitt reparert. Robusthet inkluderer viktige detaljer i et system som pålitelighet, tilgjengelighet og feiltoleranse. For et AMS-system innebærer dette altså at smartmålere skal være tilgjengelige og overføre aktuelle målerdata uten feil innenfor et gitt tidsrom.

Skalerbarhet Skalerbarhet er et systems evne til å tåle vekst av antall noder, datamengde eller et produkt av begge deler. Dette kan innebære å legge til nye smartmålere eller oppdatere smartmålerne med ny funksjonalitet slik at datamengden økes. Skalerbarhet er vanskelig å definere. Jeg velger derfor å se på skalerbarheten til et system med bakgrunn i eksisterende pilotprosjekter og oppbygningen av teknologien.

Kostnad Kostnad er en variabel som jeg baserer på kostnader rapportert inn av ulike pilotprosjekter samt estimater fra andre forskningsrapporter. Kostnaden jeg refererer til er installasjonen av et funksjonelt AMS-system. Høyere verdi betyr lavere pris.

Grad av fremtidssikkerhet Grad av fremtidssikkerhet er en variabel jeg baserer på markedsandel, standardiseringer samt rom for vekst i data-trafikk og grad av interoperabilitet.

Funksjonalitet Funksjonalitet definerer jeg avhengig av om teknologien oppfyller kravene satt av NVE. Dette innebærer at uavhengig av om det er et transmisjonmedium, kommunikasjonsprotokoll eller dataformat må standarden oppfylle kravene satt for minimum AMS-funksjonalitet. Dette gjelder også for kommunikasjonsstandarder innad i et smarthus da funksjonaliteten for videreformidling av målerdata også er beskrevet i NVE sitt høringsforslag.

10

Kommunikasjonsstandarder for morgendagens smarthus

Det finnes et mangfold av både trådløse og kabelbaserte kommunikasjonsstandarder til smarthus på markedet i dag. En kommunikasjonsstandard er en samling protokoller som har en spesifikk funksjon. 802.11-standardene er en samling kommunikasjonsprotokoller som har som formål å kunne levere datatrafikk trådløst over et visst frekvensspekter. Jeg har inkludert en kort beskrivelse av de viktigste smarthusstandardene for å både gi en inn-sikt inn i hva en smarthusstandard består av, samt å illustrere viktigheten disse standardene har i jakten på et sammenkoblet hjem hvor enhet til enhet-kommunikasjon ikke lenger er et problem. Alle disse standardene er enkeltstående standarder som bare kan kommuniserer med konkurrerende standarder gjennom gatewayer eller mellomagsoversettere. Da vi per i dag er på et steg i smarthusevolusjonen hvor allestedsnærværende kommunikasjon er umulig, er standardutviklingen essensiell for å nå målet med smarte enheter som kan kommunisere med hverandre uten problemer.

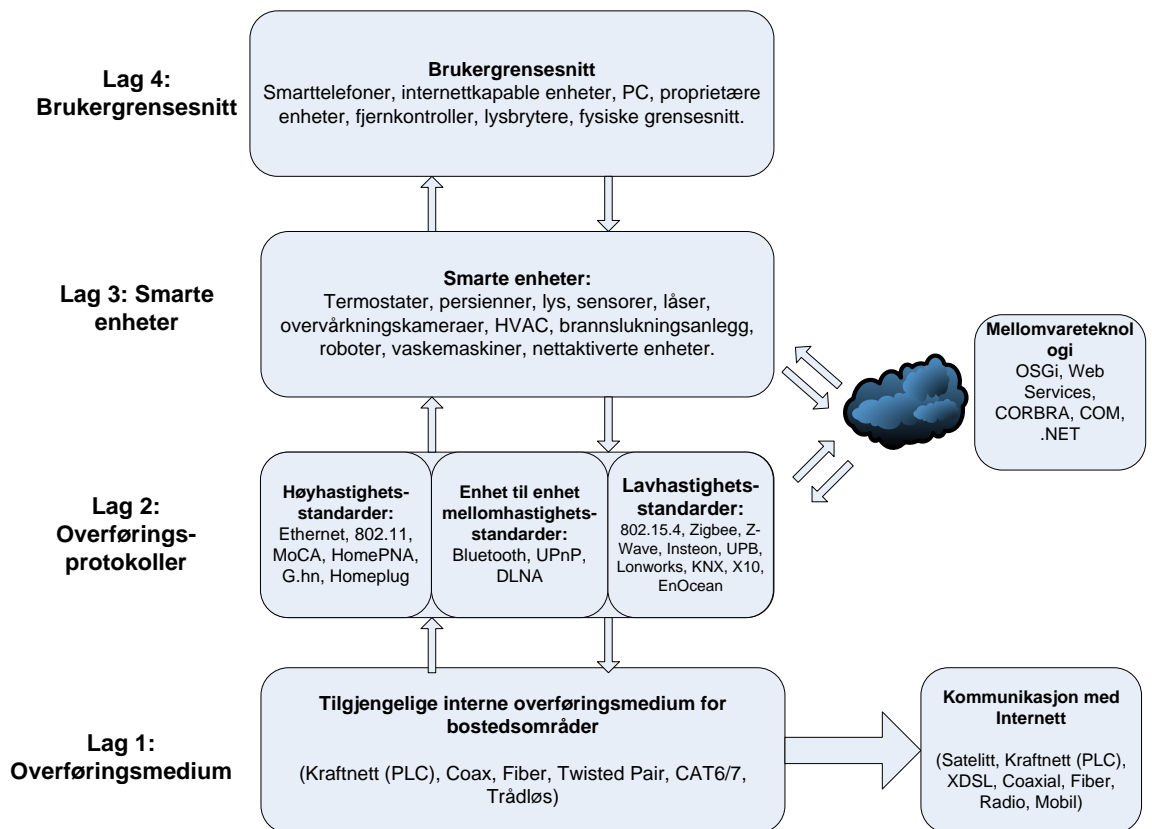
En smarthusstandard er en standard som tilfredsstillter kravene til hjemmeautomasjon. Dette betyr at standarden er skreddersydd for å kontrollere applikasjoner eller enheter i hjemmet med høy overføringshastighet, lav ventetid og lav sannsynlighet for bitfeil. I tillegg har de trådløse standardene et krav om å bruke veldig lite energi. Da trådløse- og kabelbaserte-standarder har like endefunksjoner, men forskjellige måter å komme dit på, kommer

jeg til å gå igjennom dagens teknologi for å gi en oversikt over teknologiscenen per i dag. Jeg har delt opp markedet i trådløs- og kabelbaserte kommunikasjonsstandarder for intelligente bygninger.

Et problem med dagens standarder, som er utviklet av forskjellige selskaper, er deres grad av åpenhet. Jeg ser bare på en standard som åpen hvis hele dens spesifisering er offentliggjort for allmennheten og at den kan implementeres på ikkediskriminerende vilkår. Figur 10.1 beskriver hvordan et smarthus er bygd opp i fire lag. I forhold til et AMS-system og smartgrid-muligheter så er lag 1 og 2 relevant. Lag 1 beskriver de interne og eksterne kommunikasjonsmedier som er tilgjengelig for huser i Norge. Lavhastighetsstandardene beskriver de interne smarthusstandardene som kan kobles opp mot AMS-systemet for å øke integrasjonen av smartmålerne hos sluttbruker. Grunnet lite interoperabilitet mellom lag 2 og lag 3 er det også inkludert en mellomlagsoversetter som kan oversette data mellom de forskjellige kommunikasjonsmetodene i et smarthus.

10.1 Trådløse standarder for smarthusimplementasjon

Trådløse teknologier har flere fordeler i visse felt over kabelbaserte nettverk. I hjemlige omgivelser er dette åpenbart når man tar kostnader og konstruksjonstid inn som variabler ved en eventuell oppussing. Trekking av kabler er da ikke nødvendig da signalenhetene kan plasseres hvor som helst innenfor radiorekkevidde. Et trådløst system øker kompleksiteten til standarden betydelig. Standarder som IEEE 802.11 (Wi-Fi) bruker opp til flere sekunder fra en potensiell strømbesparende modus til en fullt operasjonell modus. I et smarthusmiljø er dette alt for lang tid da brukere forventer kjapp responstid hos enheter som lys eller HVAC. På bakgrunn av tidsbegrensningene innebygd i standarder som 802.11 og Blåtann har en hel rekke nye standarder kommet som kan utføre sine operasjoner innenfor tidskravene som et smart hus stiller. Disse standardene er implementert på enheter som er små, bruker ekstremt lite strøm og kan holdes operasjonelle i flere år på et normalt bat-



Figur 10.1: Strukturelt design av et smarthus

teri. Da disse er skreddersydd for respons- og batteritid, har de en vesentlig lavere overføringskapasitet i sammenlikning med standarder som 802.11. I de fleste tilfeller er ikke dette et problem da informasjonen som skal overføres i enten enveis eller toveis-kommunikasjon er betydelig mindre enn informasjonen som sendes over ett vanlig trådløst nett i ett normalt hjem. Grunnen til dette er at bare kontrollsignaler og rutinginformasjon er nødvendig for at den spesifikke enheten skal gjøre jobben sin. Dette kan være å skru på et lys, eller å samle inn informasjon på en regelmessig basis om temperatur eller lysstyrke fra sensorer fordelt rundt i huset. For å samle inn korrekt informasjon må man ha et høyt antall noder. Dette fører til at nodene må være små i fysisk størrelse, billige å produsere og samtidig være kompatible med produktene til mange elektronikkprodusenter. Hvis en chip-produsent mangler bare en av disse kriteriene vil produktet fort bli utkonkurrert av andre produsenter som oppfyller alle kravene.

Trådløse enheter har sine ulemper, som økt kompleksitet i designet, synlighet av noder (hidden node problem) nevnt i [87] og interferens. Interferensproblemet er spesielt viktig siden mesteparten av dagen trådløse teknologi bruker frekvensbånd som ligger innenfor det attraktive lisensfrie ISM- (Industrial, Scientific and Medical) båndet. Den samtidige operasjonen av flere homogene eller heterogene nettverkstandarder i et nabolag kan skape massiv interferens og derfor redusere antallet kanaler tilgjengelig for kommunikasjon.

Sikkerhet er et viktig område da trådløs kommunikasjon av smarte hus signaler kan gi angripere muligheten til å kontrollere og observere mer enn bare din personlige datamaskin. Kommunikasjonen fra smartmåleren din til resten av kommunikasjonsnettverket i huset ditt må derfor være kryptert for at informasjonen ikke skal bli fanget opp av andre.

For å følge opp kravene stilt ovenfor må det eksistere en tett samhandling mellom hardware og software. Effektiv design av protokollstakken er her viktig for å inkludere funksjoner som søvnmodus, som igjen er avgjørende for å oppnå optimal batteritid. Protokollstakken må også ha støtte for rutingmekanismer som er svært tilpasningsdyktige og har muligheten til å danne seg nye ruter hvis andre enheter i nettverket slutter å fungere. Sist, men ikke

minst må protokollen ha støtte for robust modulering og overføringsteknologier. Dette betyr at den helst må ha muligheten til å overføre over forskjellige frekvensbånd for å støtte forskjellige lands frekvensvalg. I tillegg er evnen til å overføre informasjon i travle frekvensbånd svært viktig. Alle disse kravene er nødvendige for å velge en smarthus-standard som gir sluttbrukeren den påliteligheten og brukbarheten som de krever.

I de følgende seksjonene presenterer jeg et utvalg av relevante trådløse teknologier som er designet for smarthus-konseptet. Jeg har inkludert trådløse teknologier som har store markedsandeler eller standardiserte protokollstrukturer som gjør de anvendelige i forskjellige scenarier og geografiske lokasjoner. Andre teknologier som treningsrelaterte ANT prøver å øke markedsandelen sin for å også inkludere hjemmeautomatisering, mens standarder som NanoNET, GreenPeak, Dust og Millennial er per dags dato for små eller underutviklet for å bli nevnt her.

10.1.1 Zigbee

Zigbee er sammen med Z-Wave en relativt ny standard i smarthusmarkedet. Zigbee er en spesifikasjon som er fremmet av Zigbee Alliansen og den er basert på IEEE 802.15.4 standarden for Wireless Personal Area Network (WPAN). Ideen er å bruke små, energieffektive digitale radioer som arbeider sammen i et mesh nettverk for å kontrollere digitale enheter, HVAC eller sikkerhetssystemer i hjemmet eller i forretningsbygg. Zigbee opererer i tre frekvensbånd, 868 MHz i Europa, 915 MHz i USA og Australia, i tillegg til den internasjonale 2,4 GHz båndet. 2,4 GHz båndet gir Zigbee mer enn nok hastighet sammenlignet med andre standarder som for eksempel X10. Standarden har muligheten til å overføre data med hastigheter på opptill 250kbit/s (2,4GHz), 40kbit/s (915MHz) og 20 kbit/s (868MHz) [70]. For å øke batteritiden på nodene er vanligvis Zigbee-radioene skrudd av, men de kan skru seg på igjen på mindre enn 15 msek eller mindre hvis de trengs. Zigbee-alliansen har standardisert spesifikasjonene og åpnet opp for at andre produsenter kan produsere utstyr som kan kommunisere over Zigbee-standarden. Zigbee-alliansen er blant annet tungt inne i smarte energimålere, underholdning, HVAC og

leker. Zigbee spesifikasjonene er tilgjengelig for offentligheten under ikke-komersielle hensyn. For å få tilgang til ikke publiserte spesifikasjoner og tillatelse til å produsere produkter må man ha et entry level medlemskap (Adaptor).

Zigbee-noder finner hverandre og kan i løpet av kort tid lage et isolert ad-hoc mesh-nettverk. Som nevnt tidligere har Zigbee-alliansen basert sine produkter på IEEE 802.15.4 standarden. IEEE 802.15.4 standarden [97] beskriver det fysiske og Media Access Control (MAC) for low-rate wireless personal area networks (LR-WPAN). Selv om IEEE har standardisert de to første lagene i standarden, så er den åpen for allianser som Zigbee til å utvikle applikasjonslag som implementerer tekniske løsninger som ikke er dekt av IEEE-standarden.

Med energi fra batterier som varer i flere år og lett konfigurerbare enheter sikter Zigbee seg inn på både forretnings- og hjemmemarkedet, hvor de kan koble deres radioteknologi mot dagligdags teknologi som lys, sikkerhet og underholdning.

Da Zigbee sine enheter kommuniserer hovedsaklig på 2,4 GHz-båndet har Zensys, en konkurrent i smarthusmarkedet og eieren av Z-Wave teknologien, adressert svakheter ved Zigbee basert på dette. Disse svakhetene oppstår på grunn av interferens forstyrrelser fra andre kilder som 802.11, Bluetooth og andre elektriske enheter som bruker 2,4 GHz-båndet som blant annet mikrobølgeovner. Yoon [109] har lagt frem en rapport som beskriver den ødeleggende effekten har på et 2,4 GHz-nettverk som kjører Wi-Fi, Bluetooth og Zigbee. Wi-Fi vil være den dominerende interferenskilden.

For enkelthoppoverføring tar MAC-delen i 802.15.4 av seg sikkerheten. For multihoppmeldinger avhenger Zigbee av nettverkslaget for å opprettholde integritet, konfidensialitet og autentisitet av overføringen. MAC laget til 802.15.4 bruker Advanced Encryption Standard (AES) som sin krypteringsalgoritme [70].

Zigbee er allerede benyttet hos AMS-prosjekter som Göteborg Energi sitt heldekkende Zigbee nett for sine 270 000 husstander. Ved bruk av repeaterer har de laget et komplett mesh nettverk som kan kommunisere og utveksle data på en pålitelig måte. Nettselskapet har utført dette i samarbeid med

NURI Telecom [88].

Zigbee har lansert et utkast av sin Smart Energy Profile 2.0 [3]. Dette er en HAN-standard som fokuserer på kommunikasjon relatert til energiefektivitet, forbruk, strømpris og meldinger mellom elektriske enheter i hjemmenettverket ditt. Standarden er et forsøk på å lage en åpen spesifisering på kommunikasjon mellom f.eks hvitevarer og smartmåleren din, for å kunne gjøre det enklere for nettselskap å administrere og utføre hendelser som forbruksutjevning. Sammarbeid med OpenHAN, DLMS og Homeplug gjør at denne standarden med stor sannsynlighet vil bli en del av vårt mer intelligente hjem. Se figur 1(a) i vedlegg A for den grafiske vurderingen av Zigbee.

10.1.2 Z-Wave

Z-Wave er en liknende teknologi som Zigbee sett fra utsiden. Z-Wave er også navnet på en allianse med mange medlemmer i industrien. Z-Wave og Zigbee konkurrerer på lik grunn når det kommer til teknologi da Z-Wave også har siktet seg inn på det kommende hjemme- og forretningsmarkedet innenfor automatisering og energisparing. Den første forskjellene i de to standardene er at Z-Wave er fullstendig designet og bygd av Zensys, et dansk selskap, mens Zigbee er basert på den åpne 802.15.4 standarden. Dette betyr at hovedforskjellen mellom disse to teknologiene ligger i implementasjonen av de tekniske detaljene i protokollstrukturen. Z-Wave standarden har støtte for bare 232 noder [43] mens Zigbee har støtte for over 65 000 noder per nettverk [20]. Det er dette som separerer Z-Wave og Zigbee da Z-Wave har rettet sin fokus mot hjemmemarkedet mens Zigbee også har investert i større industrielle prosjekter. Valget med å begrense størrelsen på nettverket har gjort at Zensys, eieren av Z-Wave, kan skalere ned størrelsen på Z-Wave chipen, gjøre det allokerte minnet mindre samt å minske energiforbruket. Da denne standardkampen ikke er ferdig enda så er det vanskelig å se hvilken av disse to teknologiene som vil vinne. Basert på den nylige lanseringen av Zigbee Pro serien ser det ut som Zigbee fokuserer mer på det industrielle markedet mens Z-Wave fokuserer på hjemmemarkedet. Det er derfor mulig at de vil

begge overleve i sine separate nisjemarkedet.

Z-Wave opererer i sub-gigahertz-båndet på 915MHz i USA og Australia og 868 MHz i Europa ved bruk av Frequency Shift Keying (FSK) modulering og en datarate på 9,6 kbit/s eller 40 kbit/s. Ved å bruke denne båndbredden isteden for 2,4 GHz-båndet reduserer dette sannsynligheten for interferens, siden det er mindre trafikk i denne delen av båndet. Z-Wave har ikke støtte for 2,4 GHz-båndet som Zigbee har og kan dermed ikke oppnå like høye hastigheter på overføring. Det kan diskuteres om hastighetene som kan oppnås i 2,4 GHz-båndet er nødvendige for et signalbasert system da meldingene som skal overføres er korte og inneholder lite informasjon. Z-Wave benytter seg av et mesh-nettverk med source-ruting.

Z-Wave står i dag sterkt med over 300 produkter til salgs fra forskjellige leverandører. Z-Wave alliansen har også nylig utviklet en standardkompatibilitet med smarthusleverandører Control4 som har åpnet et stort marked i Nord-Amerika. Z-Wave er fortsatt proprietær og man får bare tilgang til teknologien ved å være medlem i Z-Wave alliansen, noe som innebærer at man må signere en Non-Disclosure Agreement (NDA)-avtale.

Z-Wave kommer per i dag uten noe form for kryptering. Den har et nettverks ID som er unikt til hvert nettverk. Denne kan imidlertid lett blir forfalsket hvis du har lyst til å ta over kontrollen av nettverket, da alle meldingene sendes i klartekst. Zensys har inkludert 128 bit AES kryptering på deres linje med Schlage automatiserte låser selv om ikke alle Z-Wave enheter kan brukes over denne krypterte kommunikasjonskanalen enda.

Per i dag er det to leverandører som har støtte for Z-Wave i sine smartmålere [6]. Horstmann og Kamstrup leverer begge smartmålere som har innebygde Z-Wave moduler, hvor Kamstrup sine allerede er i bruk hos sluttbrukere over 100 000 kWh hos kunder av blant annet Fusa Kraftlag [24]. Se figur 1(b) i vedlegg A for den grafiske vurderingen av Z-Wave.

10.2 Kabelbaserte teknologier for smarthusimplementasjon

Med tanke på interferens og stabilitetsproblemer er alltid et kabelbasert system bedre enn et trådløst system. Noen av de kabelbaserte standardene beskrevet under kan sende sine pakker over forskjellige transmisjonsmedium som strømkabler eller IP-nettverk. De fleste hus i dag har strømtilførsel kablet til de fleste rom, mens mange hus også har IP-nett klargjort. Dette argumentet betyr at en kabelbasert løsning på kommunikasjon mellom de smarte enhetene i et hus ikke trenger å være dyrere eller mer komplisert å sette opp enn et trådløst system. Overføring av informasjon over strømmettet i et hus er tregere enn trådløse medium eller andre kabelbaserte alternativer, men det er likevel tilgjengelig i de fleste rom. Kabelbaserte standarder er den originale smarthusteknologien og har blitt brukt i bolighus siden 70-tallet og enda lenger tilbake i industriell sammenheng. Standarder som KNX, Lonworks og BACnet er allerede installert i titusenvis av bygning rundt hele verden. BACnet er primært laget for store høybygg eller større industriprosjekter, men både KNX og Lonworks har etablert seg innenfor det voksende markedet av mindre bolighus. Jeg har som jeg også gjorde i den trådløse seksjonen av standarder ikke inkludert teknologier som ikke kan kommunisere med smartmålere, som er umodne eller ikke har en stor nok markedsandel. X10, Insteon og UPB er alle PLC-baserte standarder som er godt etablert på smarthusmarkedet, men som ikke er integrert i noen smartmålere. C-Bus er en proprietær standard som bruker CAT5 kabling for sin overføring av informasjon, noe som gjør den uegnet for billig installasjon. Den kan likevel kommunisere med andre standarder som Lonworks gjennom interfaces, noe som gjør det til et fremtidig alternativ. Andre standarder som er tilgjengelige, men som ikke er etablert nok er Crestron og PLCBUS.

10.2.1 LonWorks

LonWorks sin nettverksplattform er en av de eldste bygningsautomatiseringsplattformene på markedet. Plattformen bruker LonTalk som sin kommunika-

sjonsprotokoll og millioner av deres sensorer er allerede installert i bygninger over hele verden [53]. LonWorks plattformen er en av de få teknologiene som er helt åpne og standardisert av mange av de viktige standardiseringsorganisasjonene som GB, CECED, ISO, IEC, ANSI, CEA. Teknologien er dermed internasjonalt standardisert og åpen under Reasonable and Non-Discriminatory (RAND)-vilkår. Den kan bli implementert på enhver plattform eller prosessor i sammenlikning med andre teknologier som er avhengig av produksjonen av produsentens prosessorenhet.

LonWorks er en kraftledningsteknologi som kan overføre signalene sine over twisted pair eller generelle kraftledninger. Den er likevel mediauavhengig og tilbyr transeivere for overføring over så forskjellige medium som Power Line (PL), Twisted Pair (TP), Radio Frequency (RF), Coax eller Infrared (IR). Kraftlinjeoverføringskapasiteten ligger på 5,4 kbit/s eller 3,6 kbit/s avhengig av frekvensen brukt, mens TP opererer på 78 kbit/s. Selv om LonWorks har støtte for både RF og IR kommunikasjon i standarden deres så er hovedfokuset deres på kabelbaserte kommunikasjonsløsninger.

Standarden har en innebygd sikkerhetsløsning, men den er begrenset av en svak 48 bit nøkkellengde. Autentisering for LonTalk er tilbudt gjennom en fire stegs kommunikasjonsprosedyre som blir startet av at senderen venter på å få sin overføring autentisert. Ved bruk av denne prosedyren kan integriteten til dataene verifiseres. Tap av data grunnet overføring av tekst i klartekst, sårbarhet for Denial of Service (DoS) angrep og svake krypteringsalgoritmer er en av de mange sårbarhetene som Kastner [89] nevner om LonWorks/LonTalk sikkerheten.

Lonworks plattformen blir benyttet i stor grad per i dag av smartmålerselskapet Echelon og deres Networked Energy Systems (NES)-baserte AMS-arkitektur. NES-plattformen er allerede utplassert hos flere nettselskaper i blant annet Sverige hvor Vattenfall og E.ON har installert NES-baserte AMS-systemer. Se figur 1(d) i vedlegg A for den grafiske vurderingen av Lonworks.

10.2.2 KNX

KNX er et produkt av tre tidligere standarder, European Home System Protocol (EHS), BatiBUS og European Installation Bus (EIB). Kommunikasjonsstandarden er basert på OSI modellen og er administrert av Konnex organisasjonen. Den er uavhengig fra noen som helst hardware plattform og den har muligheten til å overføre signaler over flere forskjellige fysiske medium, som f.eks TP, PL, RF, IR eller Ethernet. KNX-RF standarden kan brukes på en individuell basis og kommuniserer på 868,3 MHz frekvensbåndet, og bruker FSK som modulering med en overføringshastighet på 16,4 kbit/s. Teknologien er standardisert av de fleste internasjonale standardiseringsorganer, blant annet GB, ISO, IEC, EN, ANSI og CENELEC.

KNX standarden støtter de fleste automatiseringsfelt som lys, styring av persiener, HVAC, audio/video og sikkerhet. KNX er tungt standardisert av flere standardiseringsorganer som EN og ISO, og er støttet av over 100 produsenter. Ettersom KNX blir utviklet i Europa og er bygd for 230V spenningssystemer er den også mest utbredt her. Den støtter likevel spenningsystemer med lavere spenning. KNX har mange likhetstrekk med LonWorks, og er også kjent for å være nært knyttet til BACnet når det kommer til større bygningsprosjekter hvor fokus på HVAC og sikkerhet er spesielt viktig.

KNX tilbyr ingen sikkerhetstjenester for å bevare integritet, konfidensialitet eller "data freshness". Den tilbyr likevel et 32 bits passord i klartekst som gir kontroll på tilgang til systemet. Ifølge Kastner [89] kan ikke KNX unngå uautoriserte meldinger innad i sensornettverket, noe som gjør at KNX nettverket er et potensielt offer for injisering av ondsinnede meldinger. KNX støtter heller ikke nøkkeladministreringsmekanismer, noe som gjør at nettverket er avhengig av korrekt implementasjon. Som et tillegg til den profesjonelle versjonen av KNX skal EIBsec lanseres, et tillegg som vil kunne tilby både konfidensialitet, dataintegritet samt administrering av nøkler og krav til at datafriskhet.

KNX er allerede tungt inne i smartmålerverdenen og samarbeider med blant annet M-Bus for kommunikasjon med nettselskap. Se figur 1(c) i vedlegg A for den grafiske vurderingen av KNX.

10.3 Mellomvareteknologier for interoperabilitet

Mellomvareteknologier er plattformer som fungerer som meglere mellom ulike smarthusenheter. Disse meglerene oversetter mellom standarder beskrevet i seksjon 10. En mellomvareløsning er en midlertidig løsning frem til en utpreget smarthusstandard utpeker seg. Den gir makten tilbake til sluttbrukeren ved at sluttbrukeren ikke lenger må holde seg til en leverandør, men kan kjøpe enheter fra forskjellige leverandører som benytter seg av ulike kommunikasjonsmedier. Noen av de mest støttede og lovende mellomvareteknologiene for smarthus er Common Object Request Broker Architecture (CORBRA), Microsoft Component Object Model (COM), .NET Framework, Sun's Java 2 Enterprise Edition (J2EE) og World Wide Web Consortium (W3C) sitt eXtensible Markup Language (XML) baserte Web Services. Den mest interessante og lovende teknologien til bruk i AMS og smartgrid-kommunikasjon er web services. Web services er en system for utveksling av XML-baserte meldinger over et hvilket som helst kommunikasjonsmedium. Web services benytter seg av XML-strukturen men baserer seg på Service Oriented Architecture Protocol (SOAP)-protokollen for utveksling av data. SOAP-protokollen er plattformuavhengig, noe som gjør at meldingene som sendes mellom enheter i ett web services system er uavhengig av maskinvare, programvare og underliggende kommunikasjonsmedium. SOAP-protokollen er en del av TCP/IP-familien som er nærmere beskrevet i seksjon 11.2.

En annen løsning for å opprettholde interoperabiliteten mellom smartmåleren og andre enheter i huset er en liknende løsning som som Utility Smart Network Access Port (U-SNAP)-alliansen [5] har fremmet. Dette forslaget innebærer å installere en U-SNAP-enhet, for eksempel en programmerbar termostat, som inneholder to separate og utskiftbare kommunikasjonsmoduler. Dette betyr at hvis ditt personlige HAN kommuniserer med Z-Wave eller LonWorks, og smartmåleren din kommuniserer over Zigbee, så kan U-SNAP-modulen oversette mellom disse to enhetene. Hvis man da på et senere tidspunkt bestemmer seg for å bytte til en annen standard på HAN, eller får innstallert en ny smartmåler så holder det da å bytte ut en av kommunikasjonsmodulene i U-SNAP.

10.4 Anbefalinger vedrørende smarthusstandarder for HAN

For å vurdere de nevnte smarthusstandardene på en hensiktsmessig måte tok jeg utgangspunkt i vurderingskategoriene beskrevet i detalj i kapittel 9. Her vektla jeg hver og en av kategoriene på en skala fra 1-4, hvor 1 er dårligst og 4 er best. Bakgrunnen for å vektleggingen er min egen analyse av teknologiene basert på innholdet i denne oppgaven. Tabellen 10.1 gir en oppsummering av hovedpunktene som er grunnlaget for min vurdering. For fullstendig tallmateriale kan tabell 10.1 sammenlignes med tallmaterialet fra tabell 1 i vedlegget.

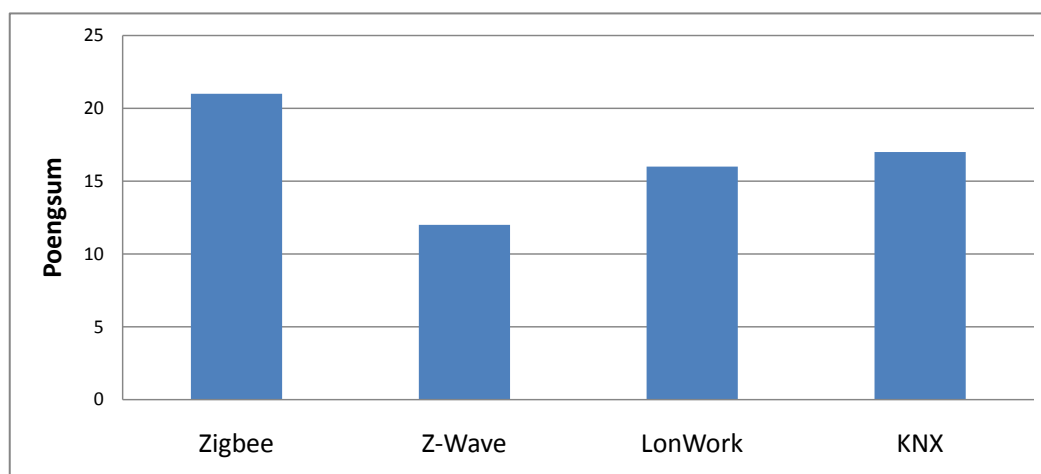
Teknologi	Grad av standardisering	Robusthet	Skalerbarhet	Kostnad	Grad av fremtidssikkerhet	Funksjonalitet	Sikkerhet
Zigbee	+ Basert på 802.15.4	+ Enten mesh eller stjernetopologi	+ Over 65 000 noder	+ Billig	+ Etablert smart grid aktør	+ Oppfyller NVE krav	+ MAC-nivå sikkerhet og AES kryptering
	- ikke standardisert	- opererer i 2,4GHz båndet			+ Smart Energy Profile arbeid		
Z-Wave	- ikke standardisert	+ mesh med source routing, opererer i sub-GHz båndet	- 232 noder maks	+ Billig	- Lite brukt i AMS situasjoner	+ Oppfyller NVE krav	- Ingen sikkerhet
LonWorks	+ Flere standardiseringer	+ Kabelbasert, robust	32,385 noder per domene	+ Billig - krever trådløse tilpasninger	+ Etablert standard - Lite fokus på massemarkedet	- Lite fokus på trådløs smartmålerkommunikasjon	- Overføring av data i klartekst
	+ Flere standardiseringer	+ Kabelbasert, robust	Maks 11535 noder	+ Billig - krever trådløse tilpasninger	+ Etablert standard - Lite fokus på massemarkedet	- Lite fokus på trådløs smartmålerkommunikasjon	+ Benytter seg av EIBsec

Tegnforklaring: + = Positivt, - = Negativt, intet fortegn = Nøytralt

Tabell 10.1: Vurdering av smarthusstandarder utifra fastsatte kriterier

Introduksjonen av smartmålere i alle hustander i Norge kommer uten tvil til å være en katalysator for smarthusteknologier, men ingen leverandør står per i dag sterkt nok til å være enerådende på markedet. Hvis jeg skal trekke frem en standard som med stor sannsynlighet kommer til å bli valgt som radiokommunikasjonsmodul fra smartmåler til HAN så er det nok Zigbee.

Dette fordi standarden har investert kraftig i smart energy standarden sin og allerede er utplassert hos mange pilotprosjekter verden rundt. Markedet er dermed klar for en eksplosiv vekst og det er opp til smarthusleverandørene som Zensys og Zigbee å posisjonere seg for å utnytte smartmålerbølgen. Så langt er det Zigbee som helt klart har gjort det beste forarbeidet ved å posisjonere seg sammen med aktører som DLMS-alliansen (se seksjon 11.4.6) og elektronikkprodusenter gjennom deres Smart Energy standardiseringsarbeid. Grafen under viser en oppsummering av resultatene fra tabell 10.1 basert på tallene fra tabell 1 i vedlegg D. Separate radargrafer for hver enkelt teknologi kan finnes i vedlegg A.



Figur 10.2: Grafisk vurdering av de ulike smarthusstandardene

11

Medium, protokoller og standarder for kommunikasjon i AMS

Dagens kraftnett er ikke stort annerledes enn kraftnettene som ble bygd ut over hele verden etter at Thomas Alva Edison bygde det første kraftnettet i New York i 1884. Utenom Nikola Tesla sitt vesentlige bidrag for overgangen fra likestrøm til vekselstrøm har nesten den eneste endringen til kraftnett over hele verden vært den eksplosive veksten i størrelse.

Kraftnett er per i dag relativt uintelligente. Med relativt mener jeg at det eksisterer en viss grad av intelligens i kraftnettet, men den har oppstått inkrementelt og er i den grad at den eksisterer forbeholdt sentral- og regionalnettene.

Jeg har i kapittel 10 tatt for meg protokoller og standarder som er relevant innad i en sluttbrukers hus. Hovedfokusen min i denne oppgaven ligger nettopp på teknologi internt i huset og fra sluttbruker til nettselskap. Jeg skal nå ta for meg kommunikasjonen mellom AMS-systemet og nettselskapet, samt et innblikk i datamengdene som nettselskapene må forberede seg på å håndtere. Som beskrevet i kapittel 6 finnes det allerede en rekke utbygde AMS-systemer rundt om i verden. Disse benytter seg allerede av IKT for å gjøre utvekslingen av informasjon mellom sluttbruker og nettselskap så sømløs som mulig. Mitt fokus i dette kapitlet er å lage et grunnlag for hvilke standarder som skal vurderes når Norge skal bestemme seg for et overordnet design av et AMS-system, og den videre veien mot et fullverdig

smartgrid i Norge. Standardene og protokollene spesifiserer på hvilken måte informasjon skal kodes og overføres over overføringsmediene beskrevet på de tilgjengelige frekvenser. Protokollene som brukes på disse overføringsmediene danner grunnlaget for produksjonen av nettverksutstyret, her smartmålerne, som blir utplassert hos sluttbrukerne.

NIST lanserte i September 2009 et rammeverk og veikart for interoperabilitetsstandarder [96] til smartgrid . Formålet med denne lanseringen var å komme utbyggingen av AMS-systemer i USA i forkjøpet ved å etablere standarder hvis formål er å unngå at disse investeringene blir foreldet for tidlig, eller implementert uten at de riktige sikkerhetshensynene blir tatt hånd om. Dette er spesielt viktig for Norge da det er ønskelig med en klarering av protokoller og standarder slik at leverandørbytte og kommunikasjon mellom nettselskap forenkles så mye som mulig. Dette er bare mulig hvis et standardisert sett med protokoller for kommunikasjon velges basert på kravene NVE har foreslått til et AMS-system.

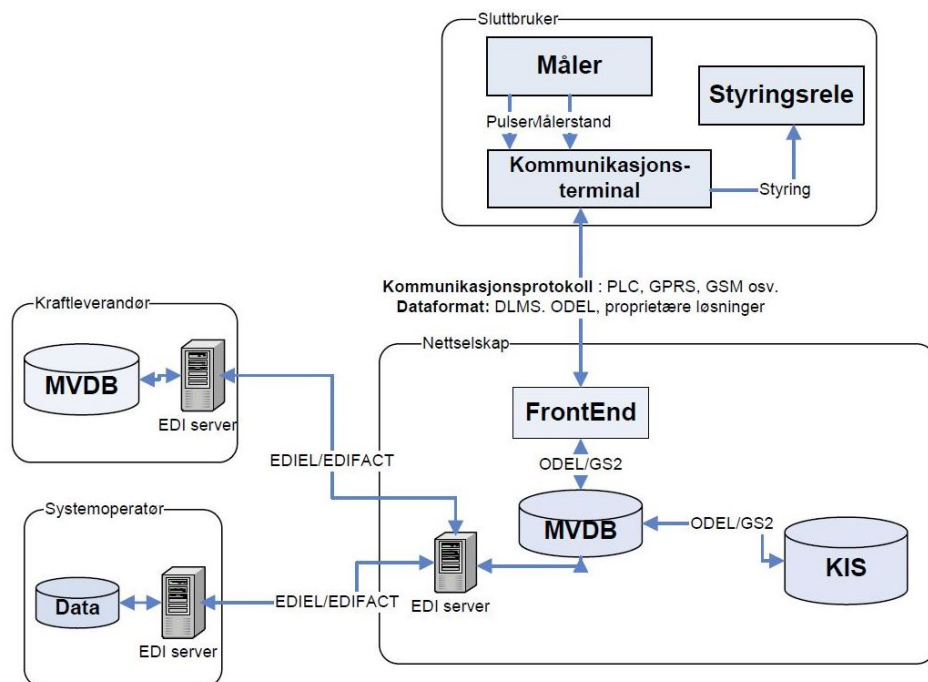
Et smartgrid kommer som Internettet til å være et system av systemer. Dette innebærer at de forskjellige systemene må kunne kommunisere med hverandre. Store integrerte og komplekse systemer krever forskjellige lag av interoperabilitet, fra like kontakter, til kommunikasjonssystemer, til etablerte prosedyrer for energihandling i et forretningsperspektiv.

Standarder er kritiske for å muliggjøre sammenkoblede systemer og komponenter. Standarder definerer spesifikasjoner for språk, kommunikasjon, protokoller, dataformater samt grensesnitt internt mellom programvare og fra maskinvare til maskinvare. Standarder må være fremtidsrettede for å kunne ta hensyn til fremtidige applikasjoner og teknologier. På samme måte er protokoller for kommunikasjon veldig viktig for å opprettholde den faktiske fysiske kommunikasjonen.

I kapittel 10 beskriver jeg standarder og kommunikasjonsmedier relevante innad i et smarthus. I dette kapittelet skal jeg ta for meg det samme aspektet, men i kommunikasjonen utad fra smarthuset til smartgrid.

11.1 Informasjonsutveksling i kraftbransjen

På bakgrunn av dereguleringen av kraftbransjen og den økte informasjonsflyten dette medførte mellom parter i kraftbransjen er det per i dag en betydelig mengde informasjon som utveksles mellom aktører i kraftnettet. Figur 11.1 under viser en oversikt over grensesnittene mellom ulike aktører, data systemer og dataformater som benyttes i Norge.



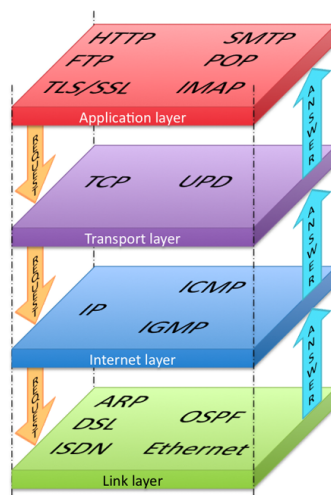
Figur 11.1: Oversikt over informasjonsutveksling per 2006 [78]

Denne figuren er fra 2006 og viser kommunikasjonsmedium og dataformat som på den tiden ble sett på som gode tekniske valg. Utviklingen i dataverdenen er raskere enn i kraftbransjen, noe som innebærer at på fire år kan det teknologiske landskapet endre seg vesentlig. Konklusjonen min senere i dette kapitlet viser imidlertid at allerede i 2006 var de store trendene i standardutvikling allerede tydelige. Figuren viser også litt av den logiske strukturen innad i et nettselskap. Målerverdidatabasen (MVDB) og Kundeinformasjonssystem (KIS) er viktige elementer per i dag, men vil med utrulling av AMS kreve mer ressurser og intelligens enn dagens løsninger.

11.2 Alt over IP?

Det er blant de største leverandørene forventet at IP vil ha en nøkkelrolle i kommunikasjonsnettene til smartgrid. IP er en protokoll brukt til å sende data over ett pakkesvitsjet nettverk ved bruk av TCP/IP-protokollfamilien.

IP er den primære protokollen i internettlaget i TCP/IP (TCP/IP)-protokollfamilien. Som bildet under viser kan protokollfamilien ses på som et sett med lag. Hvert lag løser et sett med problemer og tilbyr laget over et sett med tjenester basert på sine egne og lagene under sine funksjoner. TCP/IP består av fire lag, datalinklaget som inneholder de fysiske overføringsmediumene beskrevet i seksjon 11.3, nettverkslaget hvor IP-protokollen befinner seg, transportlaget hvor TCP-protokollen befinner seg og applikasjonslaget hvor mer kjente protokoller som Hypertext Transfer Protocol (HTTP)-protokollen er plassert.



Figur 11.2: TCP/IP-protokollstruktur [95]

TCP er en nettverksprotokoll som sørger for at informasjon blir pålitelig overført i nettet. Dette gjøres ved at protokollen mottar 8-biters strømmer fra applikasjonslaget som skal bli sendt til en spesifikk mottaker. TCP-protokollen deler så opp pakkene i en størrelse som avhenger av nettverket som den sendende enheten er koblet til. Deretter blir pakkene påført et se-

kvensnummer som blir brukt for å forsikre seg om at pakkene blir levert i riktig rekkefølge hos mottakeren. Pakkene blir så levert over til IP-protokollen i nettverkslaget som sørger for at de blir levert til TCP-modulen hos den mottakende enheten.

IP-protokollen består i dag av to forskjellige versjoner, IP version 4 (IPv4) og IP version 6 (IPv6). Per i dag er det IPv4 som er totalt dominerende, men grunnet adresse-mangel og begrensede funksjoner i forhold til IPv6 vil dette endre seg etterhvert. Den største forskjellen mellom disse to protokollene er forskjellen i adresserom.

IPv4 har et 32-bits adresserom (2^{32} adresser) mens IPv6 benytter seg av et 128-bits adresserom (2^{128} adresser).

I en verden hvor flere og flere enheter kobles til internett kommer også adresserommet til IPv4 snart til å gå tomt. Da IPv6 er fremtidens IP-protokoll kommer jeg bare til å konsentrere meg om en implementasjon av denne protokollen i AMS-systemer og smartgrid generelt.

IP-protokollen er en forbindelsesløs og upålitelig pakkeleveringstjeneste. Dette innebærer at pakkene ikke blir sendt over en fast tilkobling, men kan velge vei til mottaker selv, samt at IP-protokollen selv ikke garanterer at pakkene blir levert. Garantien for dette er det TCP-protokollen i laget over som står for. Utviklingen fra IPv4 til IPv6 har gjort IP-protokollen mer robust og sikker i forhold til en implementasjon i et smartgrid. IPsec er en tilleggs-pakke til IP-protokollen for å sikre kommunikasjon ved kryptering av hver enkelt IP-pakke i en datastrøm. IPsec støtter også etableringen av gjensidig autentisering i opprettelsen av en samtale mellom to enheter i et nett. Dette innebærer en forhandling om hvilke kryptografiske nøkler som skal benyttes, samt andre variabler som fastsettes mellom enhetene. IPsec befinner seg på internettlaget av TCP/IP-protokollfamilien sammen med IPv4 og IPv6. Da IPsec befinner seg i internettlaget er det uavhengig av applikasjon eller transportlaget, noe som gjør det mulig å benytte IPsec i alle AMS-nett hvor IP blir brukt som adresseringprotokoll.

Bruken av IP i kommunikasjonsnett til et smartgrid gjør at kraftbransjen kan dra nytte av mange år med utvikling fremmet av IKT-bransjen. Det finnes en stor mengde IP-standarder, verktøy og eksisterende applikasjoner

som kan benyttes i et smartgrid-miljø. Bruken av IP gjør at applikasjoner kan utvikles uavhengig av kommunikasjonsinfrastrukturen noe som gjør at alle enheter kan forstå hverandre selv om de utveksler informasjon over forskjellige kommunikasjonsmedium. Sikkerhet er selvfølgelig viktig og jeg skal gå nærmere inn på sikkerheten IP-protokollen tilbyr i kapittel 13.

11.2.1 Private eller offentlige kommunikasjonsmedium

Implementasjonen av et AMS-system som endenodene i et smartgrid betyr at smartmålerene skal være det ytterste endepunktet i et stort kommunikasjonsnettverk. Datamengden som skal overføres via disse endepunktene avhenger av funksjonaliteten i smartmåleren og hyppigheten som prisinformasjon, målerdata eller forbruksutjevningssignaler sendes. Dette går jeg nærmere inn på i seksjon 11.6. Det er åpenlyst at en utstrakt kommunikasjon kommer til å foregå, men over hvilket medium er fortsatt usikkert. Jeg går i seksjon 11.3 gjennom de ulike fysiske kommunikasjonsmediumene som kan benyttes til AMS-kommunikasjon. Per i dag eksisterer det allerede en rekke kommunikationsveier inn til sluttbrukernes husstander. Et viktig spørsmål er dermed om et fremtidig AMS-system skal benyttes seg av eksisterende signalveier som sluttbrukeren allerede betaler for gjennom lokale internetttilbydere, eller om AMS-signalene skal gå gjennom egne fysiske medium.

En rapport fra Avenir [9] gjort på oppdrag fra NVE tar for seg nettopp denne problemstillingen. Det faktum at mange av de regionale nettselskapene har bygget ut eget nett i form av fiber til sine sluttbrukere gjør at disse står i en posisjon hvor de kan benytte eget fibernet til å levere både triple-play (internett, tv og telefoni) og AMS-tjenester over den samme kommunikasjonskanalen.

11.3 Kommunikasjonsmedium

For at et AMS-system skal kunne tilby de avanserte tjenestene som vi forventer, må et tilstrekkelig kommunikasjonsmedium være tilgjengelig. Jeg definerer her kommunikasjonsmedium som det fysiske mediet måledataene skal

overføres over. Norge har en infrastruktur som gjør det mulig å se på potensialet til en rekke overføringsteknologier som jeg skal beskrive i mer detalj nedenfor. Per 2. kvartal 2009 hadde 78% av norske husholdninger tilgang på bredbånd[101]. Dette var en 5% oppgang fra samme periode i 2008. Av disse er 58% tilkoblet med Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) mens fiber og kabel-TV oppkobling står for 26%. Under 1% av husholdningene i Norge bor slik at mobiltelefon er eneste mulighet for internettilknytning. I følge Bredbånd 2.0 rapporten[27] fra Fornyings- og administrasjonsdepartementet har 99% av norske husholdninger bredbånd hvis bredbånd er definert som raskere enn 640 kbit/s nedstrøm. Rapporten har sett på bredbånddekningen i 2015, og har beskrevet to eksempler på mulige utviklingsbaner for kapasitetsbehvet frem mot 2015. Det laveste estimatet til rapporten er en økt minimumskapasitet fra dagens 640 kbit/s nedstrøms og 128 kbit/s oppstrøms til henholdsvis 8 Mbit/s nedstrøms og 1 Mbit/s oppstrøms. I det mest ambisiøse forslaget er 50 Mbit/s nedstrøms og 10 Mbit/s oppstrøms definert som minimumskapasiteter. Basert på estimeringene jeg har gjort i 11.6 inneholder begge forslagene mer enn stor nok kapasitet for et avansert AMS-system. På bakgrunn av disse statistikkene ser jeg meg enig med Avenir sin følgende vurdering av kommunikasjonsmarkedet for AMS [9], "Med eksisterende allerede sterke utbredelse av internett og videre sannsynlig utvikling kan NVE etter vår vurdering legge til grunn at innføring av AMS vil finne sted i en periode der husholdningene vil være tilknyttet og ha tilgang til "alltid på"internett med svært stor kapasitet." Jeg har derfor sett bort ifra kommunikasjonsteknologier som CDMA2000 og bredbånd via satellitt grunnet at CDMA2000 nettet i Norge kun har en leverandør og at satellitt ikke er like utbredt som andre eksisterende kommunikasjonsteknologier. PSTN og Integrated Services Digital Network (ISDN) er teknologier som i denne sammenhengen også er alternative kommunikasjonsmedier, men som jeg likevel velger å se bort ifra. PSTN kommuniserer over en infrastruktur som er koblet til tilnærmet alle husstander i Norge. PSTN støtter imidlertid bare kommunikasjon fra en kilde om gangen, noe som kan føre til konflikter med overføring av AMS-data. Med ISDN er ikke dette et problem da flere linjer kan benyttes samtidig. Dette er likevel en teknologi som ikke alle husstander

i Norge støtter og har da en mindre dekningsgrad, samtidig som at det er teknologi som er i sterk nedgang per i dag.

For de ulike kommunikasjonsmediumene jeg beskriver nedenfor så utnytter elektronikken i varierende grad det fysiske tilgjengelige frekvensspektrumet i overføringsmediumet. Utnyttelsesgraden og den fysiske kapasiteten er avhengig av blant annet avstand til sender og støy på overføringsmediet.

11.3.1 Fiber

Fiber er den desidert raskeste bredbåndoppkoblingen som er tilgjengelig i Norge. Allerede i dag er det bredbåndstilkoblinger i Oslo-området som tilbyr hastigheter opp mot 250 Mbit/s for vanlige husstander og boligblokker. Fiber brukes ofte også som det interne kommunikasjonsnett hos nettselskaper. Fiberoptisk kommunikasjon er kommunikasjon via lyspulser sendt gjennom optiske fiberkabler. Disse lyspulsene blir generert av lasere eller LED-dioder. En vanlig betegnelse på fiber til hjemmet er fiber to the home (FTTH), et samlebegrep for teknologi som bruker fiber som aksessmedium helt hjem til sluttbrukeren. I fiberoptiske nett er det ikke det fiberoptiske mediumet som er begrensingen å overføringskapasitet, det er heller sender- og mottakerutstyr som begrenser kapasiteten til nettet.

6 av de 10 største nettselskapene i Norge tilbyr internett gjennom fiber som et tillegg til strømleveranse. Avenir rapporterer i [9] at i Norge er det paradoksalt distriktene som har størst tilgang til fiber ved at nettselskap har investert aggressivt med sterkt pådriv og støtte fra lokale og nasjonale myndigheter. Bredbåndssalliansen, som består av de største nettselskapene som tilbyr fiber, dekker per 2008 58% [9] av sine 968 500 husstander med fiberlinjer. Teknologier som x Digital Subscriber Line (xDSL), beskrevet under, ser ut som de har nådd sine teknologiske grenser. Telekomoperatører som Telenor bygger nå ut fiber for å erstatte det eksisterende kobbernettet. Fiber bygges i dag ut i stor grad samtidig med veg- og jernbaneprosjekter. Fiber er fremtidens kommunikasjonsmedium, men for datamengden som et AMS-system produserer er fiber som dedikert kommunikasjonskanal til husstandens smarte energimåler helt utelukket. Kommunikasjon av AMS-data gjennom fiber

vil kunne være kostnadseffektivt hvis den samme fiberlinjen også utnyttet til TV, internettilgang og eventuelt telefoni. Det er her muligheter for å dedikere en egen bølgelengde til denne typen kommunikasjon som i tillegg gjør overføringen av data langt sikrere.

Fiber er ikke en standardisert teknologi, men FTTH som er konseptet nettselskapene benytter seg av i fiberutbyggingen sin er godt dokumentert.

11.3.2 xDSL

xDSL er mest kjent under versjonen ADSL i Norge og er den mest utbredte måten å få bredbånd på her i landet. xDSL utnytter de kobberbaserte par-kabelene som originalt ble brukt til telefoni, gjennom teknologier som PSTN og ISDN, til å tilby kommunikasjon med omverden i høy hastighet. ADSL2 er en videreutvikling av ADSL konseptet som igjen har blitt videreutviklet med ADSL2+ som ved kortere avstander til sentralen (ca. 1 km), kan tilby hastigheter på opptil 25Mbit/s. Hastigheten et hus kan oppnå er direkte avhengig av avstanden til sentralen huset er koblet opp til. Hastighetene på xDSL er høye nok for et AMS system, men nettet eies av teleoperatørene og nettselskapene er da avhengig av å motta dataene fra AMS-systemet gjennom en tredjepartsleverandør. xDSL er som sagt veldig godt utbredt teknologi i Norge og bygger på anerkjente telekomstandarder. Ved bruk av enten xDSL eller Kabel-TV/HFC som jeg beskriver nedenfor er alternativet trådløs kommunikasjon fra smartmåler til en kommunikasjonsmodul koblet til xDSL/Kabel-TV-modemet, eventuelt en gateway-løsning levert fra tele- eller kabelselskapet som har integrert støtte for AMS-kommunikasjon. Det er da to mulige scenarioer; At kraftbransjen får samarbeidsavtaler med samtlige xDSL/kabel-TV leverandører i landet for å integrere deres teknologi med internettleverandørenes eksisterende gateway-løsning, eller at de gir kundene en trådløs mottaker som kan kobles til ruterer eller modemet via standard RJ-45 tilkobling. Begge alternativene medfører økte administrasjonsutgifter samt potensialet for tapte måldata da ansvaret for at kommunikasjonsenheten er tilgjengelig faller på kunden.

11.3.3 Kabel-TV/HFC

Internett over kabel-TV har lenge vært mulig i Norge. Hybrid Fibre-Coaxial (HFC)-nett er en betegnelse på nett som kombinerer fiber- og koaksialkabel. Koaksialkabelen som allerede er tilknyttet en stor del av husholdningene i landet har muligheten for å gi både høyhastighets Internett, samtidig som den kan tilby TV i høydefinisjon. HFC-operatørene bruker fiberkabel i kjernenettet sitt, men utnytter eksisterende koaksialkabelnett inn til sluttbrukerens hus. DOCSIS 3.0 standarden [14] åpner opp for overføringshastigheter opp mot 160 Mbps ned og 120 Mbps opp. Nettilkobling over koaksialkabel har ulempen at det er sterkt asymmetrisk med et forholdstall nedstrøms/oppstrøms på ca. 20:1 [27]. Dette er imidlertid irrelevant for AMS-systemer da tilgjengelig båndbredde er mer enn tilstrekkelig for informasjonsutveksling mellom nettselskap og smartmåler. Som xDSL har kabelnettet muligheter for høyhastighetsoverføring av målerdata, men på bekostning av en tredjepartsleverandør. I likehet med xDSL er kabelnettet svært godt utbredt samtidig som det er godt standardisert.

11.3.4 PLC - Power Line Communication

PLC er overføringsteknologi som har eksistert lenge. PLC benytter seg av det allerede eksisterende kraftinfrastrukturen til å overføre data. Prinsippet bak PLC er liknende HAN nettverksteknologier som X10, UPB og Insteon. Ved å modulere en bærefrekvens fra 1,7 til 34 MHz på toppen av en allerede eksisterende 50/60 Herz energibærer i kraftlinjen kan kraftnettet også overføre informasjon [40]. Nyere generasjoner med PLC-teknologi benytter seg som oftest av Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), som gjør at data kan overføres på et stort antall bærefrekvenser fordelt utover frekvensrommet tilgjengelig. PLC kan deles inn i tre spenningsnivåer; Lavspenning < 1kV, mellomspenning 1 kV - 100 kV og høyspenning > 100 kV. Det er lavspenning- og mellomspenningsområdene som er mest interessante for overføring av data. For AMS- og HAN-systemer er det lavspenning som er det mest brukte i dag. Mellomspenningssystemer brukes ofte for å tilby Broadband over Power Line (BPL), som ved optimale vilkår kan oppnå

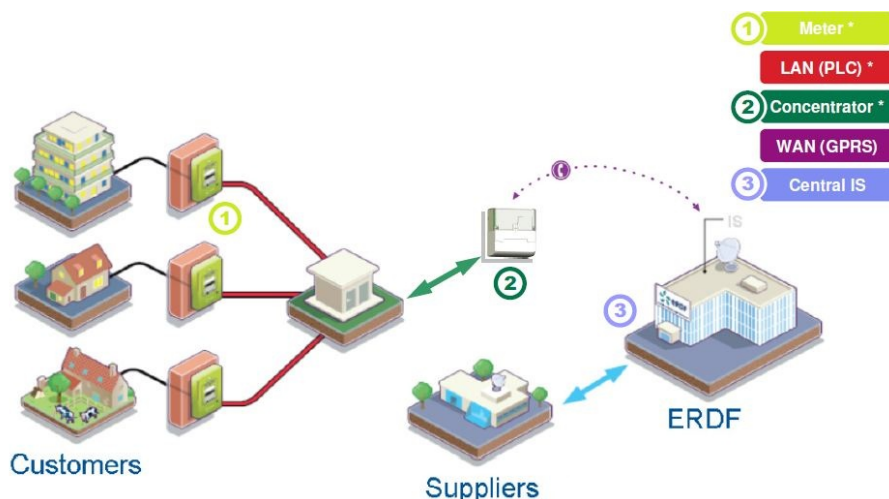
hastigheter opp til 45 Mbps[40]. Xeline og DS2 har nå utviklet PLC kommunikasjonsmoduler som gjør hastigheter opp mot 200 Mb/s mulig [72].

Frem til nå har PLC stått i skyggen av andre kommunikasjonstandarder som Wi-Fi og ethernet grunnet mangelen av en Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)-standard. Per i dag er det tredje utkastet til standarden IEEE PLC P1901 ferdig, og forventet ferdigstilling av standarden er satt til tredje kvartal 2010. I sammenheng med lanseringen av P1901 standarden lanserer også Homeplug alliansen, som vil være sertifiseringsorganet for P1901, standarden "Green PHY" som er rettet mot smartgrid/smarthus markedet.

En eldre PLC-standard er IEC-familien 61334 som definerer en rekke smalband PLC-systemer. Disse benytter seg av S-FSK modulering. Grunnet frekvensområdet på 3kHz til 148,5 kHz er overføringskapasiteten lav, opp mot 2,4 kbps. Det benytter seg av en typisk PLC-struktur med en felles konsentrator i nærmeste MV/LV-transformator for hele nabolaget, som er koblet mot kommunikasjonsnett til nettselskapet med fiber eller mobilt bredband. Selv med ulempene i lav hastighet og høy signal noise ratio (SNR) er dette fortsatt en mye brukt løsning da nettselskapene kan ha full kontroll på nettverket i tillegg til at installasjonen er rimelig. Løsningen som per i dag er utbredt er med bruk av DLMS/COSEM som applikasjon- og meldingslag.

Andre standarder som er under utvikling er blant annet PoweRline Intelligent Metering Evolution (PRIME). PRIME er en standard for det fysiske- og MAC-laget som benytter seg av OFDM multipleksing og kan oppnå hastigheter på opp til 130 kbps. PRIME-alliansen som har utviklet PRIME består av kjente markedsaktører som Iberdrola, Itron, Landis+Gyr og Texas Instruments. Prime er enda ikke standardisert da den ikke er ferdig utviklet. Den skal bli åpen og lisensfri og vil forhåpentligvis standardiseres av et europeisk eller internasjonalt organ. Iberdrolas involvering i denne alliansen kan ses som en forlengelse av den spanske nettselskapet arbeid med OPENmeter standarden. PRIME er likevel ikke den første PLC standarden som støtter OFDM. Maxim har også lansert en PLC-standard som sikter seg inn på AMS-markedet. G3-PLC er en standard som støttes av blant annet ERDF som er en av de største nettselskapene i Frankrike. Tegningen under viser

ERDF sin arkitektur for AMS-kommunikasjon over PLC.



Figur 11.3: Eksempel på arkitektur med PLC kommunikasjon [57]

11.3.5 IEEE 802.16/WiMax

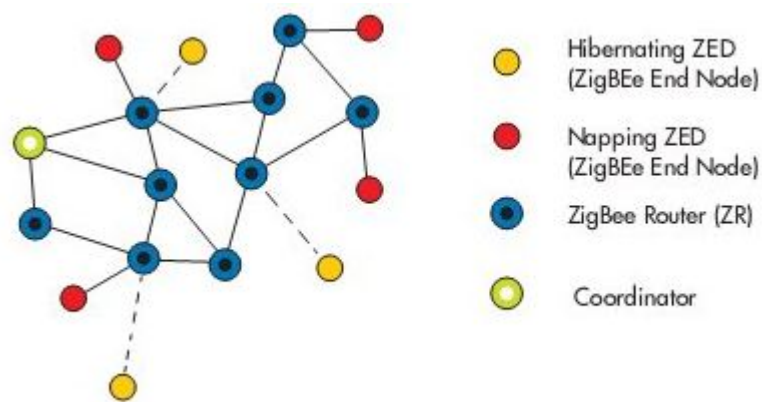
IEEE 802.16 er en serie med mobilt bredbåndstandarder laget av IEEE. Fast montert WiMax har en viss utbredelse i Norge hvor både Telenor og NextGenTel leverer tjenester med opptil 3 Mbit/s nedstrøm og 1 Mbit/s oppstrøm. Fordelen med WiMax er rekkevidden til basestasjonene som ved en fullt usstyrt basestasjon kan oppnå mellom 30-50 kilometer. WiMax kan konkurrere med Evolved HSPA (HSPA+) fra og med neste versjon av 802.16e som forventes ferdigstilt tidligst 2010 [27].

WiMax er per i dag ikke utbredt som overføringsmedium for AMS-systemer i Norge. Teknologien er standardisert men det koster mye å etablere et stort dekkende nett.

11.3.6 RF

RF er en samlebetegnelse for trådløse teknologier og vil i denne oppgaven referere til en rekke teknologier som ikke har den samme markedsandelen som andre teknologier beskrevet i denne seksjonen, men likevel innehar funksjonaliteten som et AMS-system trenger for å kommunisere mellom nettselskap

og sluttbruker. De benytter seg av punkt til punkt kommunikasjon i et nett med masketopologi, eller direkte punkt til punkt kommunikasjon for å sende informasjon fra avsender til mottaker. Figur 11.4 viser hvordan kommunikasjon i et slikt nett foregår. Teknologier som Zigbee og Z-Wave beskrevet i seksjon 10.1 er slike teknologier. Andre eksempler på slike teknologier er EverBlue fra Itron [65], Wavenis [4], Wireless M-Bus [74], 6lowPAN [2] og andre liknende teknologier som opererer i de ulisensierte industrial, scientific and medical (ISM)-båndene.



Figur 11.4: Eksempel på masketopologi i et RF kommunikasjonsnett [30]

11.3.7 GSM/UMTS/HSPA/LTE

GSM(2G), Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)(3G), HSPA(3G) og Long Term Evolution (LTE)(4G) er alle telekommunikasjonsteknologier støtter dataoverføring i hastigheter av varierende grad. Alle teknologiene er godt standardiserte i telekomindustrien.

GSM benytter i Norge 900 MHz og 1800 MHz-båndet, hvor 1800 MHz-båndet fortsatt har ledige ressurser, mens 900 MHz-båndet er fullt ut allokert. I denne sammenhengen, hvor data og ikke tale er viktig, er det GPRS og Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE) teknologiene i GSM familien som er viktig. GPRS er den pakkeorienterte datatjenesten som ble laget for GSM for å gjøre datautveksling via det linjesvitsjede telekomnettet. GPRS tilbyr datahastigheter på 56-114 kbit/s. EDGE var en videre utvikling av denne teknologien og er ofte kjent som en 3G radioteknologi. Ved å endre deler av moduleringen av GSM-signalet økte EDGE dataoverføringshastigheten med opptil fire ganger GPRS sin båndbredde.

UMTS/HSPA bruker 2,1 GHz-båndet hvor Telenor, Netcom, HI3G og Mobile Norway har hver sin 3G lisens. Introduksjonen av UMTS introduserte også nye basestasjoner og overføringsutstyr, da UMTS og HSPA bruker andre frekvenser enn GSM-familien. UMTS støtter en teoretisk overføringshastighet på 21 Mbit/s i nettverk som også har støtte for HSPA. Faktiske hastigheter er i realiteten ca. 284 kbit/s for enheter uten HSPA-støtte og 7,2 Mbit/s for enheter med. HSPA er samling av to teknologier, High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) og High Speed Uplink Packet Access (HSUPA), som øker ytelsen til eksisterende UMTS-nettverk. HSPA+ er den siste utviklingen i denne retningen og skal være under innstallasjon i mobilnett i løpet av 2010.

LTE er den første fjerdegenerasjonsteknologien som har som formål å øke kapasiteten og hastigheten til mobile nettverk. Den inneholder en nettverksarkitektur hvor alt går over IP og har muligheten til å tilby nedstrøms hastigheter på minst 100 Mbps og oppstrøms hastigheter på minst 50 Mbps. Deler av LTE standarden er utviklingen mot et helhetlig IP nett som har som formål å øke kompatibiliteten med blant annet GPRS og WiMax. Teknologien vil i Norge bruke 2,6 GHz-båndet.

Per i dag har både UMTS og LTE fått allokert høyfrekvensområder, noe som gjør at rekkevidden på signalene blir begrenset. Spesielt LTE har kort rekkevidde og er per i dag ikke anvendelig i andre områder enn tettbebygde strøk. Tre nye frekvensområder er likevel aktuelle for reallokering til mobilt bredbånd. Det såkalte digital-dividende-båndet som tidligere ble brukt til analog TV-distribusjon er nå blitt gitt til mobilt bredbånd. Også 1800 MHz-båndet og 450 MHz-båndet er aktuelle frekvensbånd for mobilt bredbånd. En reallokering av frekvensene til UMTS og LTE vil gi fordelene av økt rekkevidde for mobile bredbåndsteknologier.

Bredbånd 2.0 [27] påpeker imidlertid at opplevd hastighet på mobilnettene i Norge er lavere enn de teoretiske hastighetene grunnet mange brukere per basestasjon. Et typisk område for brukeropplevd kapasitet for dagens mobile bredbåndssystemer vil være som følger:

- EDGE: 70-130 kbit/s nedstrøms, det samme oppstrøms
- UMTS: 200-300 kbit/s nestrøms, det samme oppstrøms
- HSPA: 1-4 Mbit/s nestrøms, 0,5-2 Mbit/s oppstrøms

Rapporten ser også på den raske utviklingen og moderniseringen av det mobile bredbåndsnettet og antar at de samme brukeropplevde hastighetene i 2015 vil være nærmere disse estimatene:

- EDGE: 150-500 kbit/s nestrøms, 100-500 kbit/s oppstrøms
- UMTS og HSPA: Som i dag
- HSPA+: 5 Mbit/s nedstrøms, 3 Mbit/s oppstrøms
- LTE: 5-10 Mbit/s nedstrøms, 3-5 Mbit/s oppstrøms (avhengig av mengde spektrum)

11.4 Eksisterende dataformater for AMS

Da AMS-systemer for større sluttbrukere har eksistert i lengre tid finnes det allerede en rekke standarder som er utviklet for dette formålet. Noen av disse, som blant annet DLMS/COSEM, er allerede sterkt aksepterte på den

internasjonale scenen og grunnlaget for flere eksisterende smartgrid-piloter. I seksjonene under gir jeg et kort innblikk i de allerede eksisterende standardene på markedet som kan være relevant for en utbygging av AMS/smartgrid i Norge.

11.4.1 IEC 61850

IEC 61850 er et produkt av en harmonisering av standarder for kommunikasjonsarkitekturen i krafnett mellom IEC og EPRI på slutten av 90-tallet. Standarden er primært designet for kommunikasjon mellom substasjoner, men kan også brukes til målerkommunikasjon. IEC 61850 er plassert i applikasjonslaget.

11.4.2 IEC 62056-21 "Flag" / IEC61107

IEC61107 eller som den nå heter IEC62056-21, er en internasjonal standard som er designet for å kunne operere over hvilket som helst underliggende medium. Flag er en forkortelse for Ferranti and Landis and Gyr, noe som kommer av at standarden var et resultat av flere konkurrerende selskapers samarbeid mot en av de første felles AMS-standardene. Den originale Flag-standard er nå blitt en del av den internasjonale standarden IEC61107. Den kan sende informasjon i enten American Standard Code for Information Interchange (ASCII)- eller HDLC-modus. Støtter i dag kommunikasjon over enten PSTN- eller GSM-nett. Standarden kan sammenlignes med den amerikanske standard ANSI C12.18. Som en av de første standardene for målerinformasjonsutveksling er IEC 62056-21 en utbredt standard i dag [71] og er med høy sannsynlighet fortsatt den mest utbredte standarden i verden.

11.4.3 Sitred

Som beskrevet i seksjon 6.1.2 er Sitred en kommunikasjonsprotokoll som ble utviklet av ENEL for å kunne fjernlese og -administrere energimålere. Protokollen benytter PLC for å kommunisere med en konsentrator i en nærliggende transformator, mens konsentratoren kommuniserer med kontrollsenteret via

GSM, PSTN eller satelitt. Sitred er en enkel smalbands FSK-basert løsning som er en stabil, men lavhastighets kommunikasjonsløsning. ENEL har planer om å frigi protokollen, men den er per i dag proprietær.

11.4.4 M-Bus

Meter bus (M-Bus) er en europeisk standard som brukes hovedsaklig for en- eller toveiskommunikasjon med gass-, vann- og varmemålere. M-Bus gir strøm til enhetene den kommuniserer ved gjennom kommunikasjonsnettet. M-Bus er standardisert i EN 13757-serien fra IEC og CENELEC. EN 13757-1 er en generell standard for utveksling av målerdata som dekker flere fysiske medium, protokoller og Companion Specification for Energy Metering (COSEM)-applikasjonen sin datamodell. M-bus støtter de følgende fysiske medium; TP, trådløst i det ulisensierte 868 - 980 MHz-båndet og lokal buss i følge EN 13757-6. M-Bus protokollen er optimalisert fra et målersynspunkt, noe som gjør at den er billig å implementere og at den har lang batteritid.

11.4.5 SML

Smart Message Language (SML) er en kommunikasjonsprotokoll som er utviklet og i bruk av flere store nettselskap (RWE, E.ON, EnBW og Vattenfall). SML er en ikkeproprietær standard som bare definerer applikasjonslaget og er dermed uavhengig av kommunikasjonsmedium. SML skal forberedes til å bli standardisert av IEC.

SML fungerer ved at den koder og formaterer data på en liknende måte som XML og HTML gjør. I motsetning til XML og HTML krever ikke SML mye temporær lagringsplass, men støtter streaming og kompresjonsmetoder i sanntid.

Da SML er uavhengig av kommunikasjonsmedium kan det benyttes over alle medium beskrevet i dette kapitlet. Standarden er egnet for bruk i IP-nettverk og støtter både pull og push operasjoner fra starten. Da standarden er laget for å være helt uavhengig av leverandør og transmisjonsmåte er den også svært interoperabel mellom forskjellige typer målere og leverandører. Standarden er derfor meget fleksibel og fremtidsorientert.

11.4.6 DLMS/COSEM - IEC 62056

Device Language Message Specification (DLMS) er en applikasjonslag protokoll er en del av IEC 62056-serien av protokoller. Den er også standardisert av CEN. Standarden driftes av DLMS User Association (UA), som per i dag har over 60 medlemmer og er den største målerorganisasjonen i Europa. COSEM inneholder et sett med spesifikasjoner som definerer transport- og applikasjonslaget til DLMS-protokollen. DLMS/COSEM-familien er det europeiske alternativet til de amerikanske standardene ANSI C12.18 og C12.22. Arbeidsgruppen IEC TC13 beskriver DLMS-spesifikasjonen som "Electricity metering - Data exchange for meter reading, tariff and load control" [1]. COSEM er en objektorientert modell som har spesifisert en rekke standard grensesnittklasser som kalles objekter. Disse objektene inneholder attributter og metoder som kan identifisere objektet og utføre visse funksjoner. Det er fire grupper med COSEM grensesnittklasser; lagring, tilgangskontroll, tid og planlegging og kommunikasjon [71]. Hver smartmåler får tildelt en logisk adresse av formatet OBIS og kan dermed også få tildelt minimum to objekter som regulerer tilgangskontroll og identifisering. Når en måler skal leses av blir de aktuelle attributtene i måleren aksessert av DLMS laget, pakket inn i en DLMS Application Protocol Data Units (APDU) og sendt som en bitstrøm over et vilkårlig link og transportlag. DLMS/COSEM standarden er en moderne standard som spesifiserer datamodellen COSEM, identifikasjonssystemet OBIS og meldingssystemet DLMS. Den eksisterende versjonen av DLMS/COSEM tilbyr bare kommunikasjon med målerne via pull operasjoner, men det er lovet støtte for push operasjoner i senere utgaver av standarden. Standarden er også sikker ved at den tilbyr AES-GCM-128 bit symmetrisk nøkkelalgoritmer.

DLMS/COSEM spesifikasjonene er åpne og tilgjengelige for alle via DLMS user association. Så langt støtter DLMS/COSEM kommunikasjon over de aller fleste kommunikasjonsmedium beskrevet i dette kapittelet; fiber, PSTN, GSM, Internet, GPRS, PLC, M-Bus, Euridis. Flere store selskaper har satt tyngden sin bak dette formatet og et samarbeid med Zigbee alliansen er underveis for å sikre kompatibilitet med elektriske enheter i huset. I og med

at alternative meldingsmetoder som XML [19] også er tilgjengelig ser dette per i dag ut som den sterkeste utfordreren til en åpen, interoperabel og internasjonalt standardisert smartmåler standard. Land som Sør-Korea (Kepco) og India har allerede valgt DLMS/COSEM som standard. Standarden er ikke laget for smarthus applikasjoner, men inneholder muligheter for styring via smartmåleren. Da den også skal kunne kommunisere med Zigbee er dette en mer sannsynlig vei inn i smarthus markedet.

11.4.7 IEC 62056-31 "Euridis"

Euridis er en eldre standard som for det meste har blitt brukt i større leilighetskomplekser hvor mange hus er koblet til en felles TP-buss med opp til 100 målere. Den felles målestasjonen i bygget må så leses av manuelt ved bruk av en håndholdt enhet. Kommunikasjonshastigheten er lav men Euridis+ er forventet innen slutten av 2010. Den nye og forbedrede standarden skal være kompatibel med DLMS/COSEM og ha støtte for kjappere overføring av data. Dataformatet har et veletablert brukerforum - EURIDIS Association - hvor store aktører som Electricite de France (EDF) tar del. EURIDIS Association og DLMS UA er medlemmer i hverandres organisasjoner, og det er på bakgrunn av dette at siste versjonen av EURIDIS+ kan benytte DLMS [78]. Euridis er standardisert gjennom IEC.

11.4.8 DPWS

Devices Profile for Web Services (DPWS) er basert på Web Services i likhet med mellomvareteknologien til W3C beskrevet i seksjon 10.3. DPWS ble godkjent som en Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS)-standard i juni 2009 og er dermed en relativt ung standard. Protokollstakken til DPWS består av et mangfold av webstandarder som XML og SOAP. DPWS kan sammenliknes med Universal Plug and Play (UPnP) som teknologi, men har i protokollstakken sin mer fokus på Web Services. DPWS passer bra til ressursbegrensede enheter. Andre standarder som benytter seg mye av web services er Echelon sin NES-arkitektur. Denne

benytter seg av SOAP/XML for lettere integrasjon av NES sin software med allerede eksisterende IT-infrastruktur.

11.4.9 ODEL/GS2

Object oriented datamodell for electricity supply (ODEL) er i utgangspunktet utviklet i Norge og har vært i bruk i Norden i flere år. Det finnes dermed en sterk faglig kompetanse både i forskningsmiljø og i bransjen [78]. GS2 er en videreutvikling av den objektorienterte datamodellen og filformatet for håndtering av måle- og avregningsdata GS2. ODEL opererer på applikasjonslaget og kan dermed benyttes uavhengig av kommunikasjonsmedium.

ODEL/GS2 likner dermed på DLMS/COSEM da de begge er objektbasert og fleksible. GS2 lar deg bygge objekter som kan ha en rekke egenskaper, hvor noen er obligatoriske og noen er valgfrie. GS2 brukes ofte mellom systemet som samler inne AMS-data og andre systemer innad i nettselskapet som f.eks MVDB eller KIS. Da ODEL/GS2 imidlertid ikke er standardisert, verken nasjonalt eller internasjonalt er det heller ikke et godt alternativ for kommunikasjon mellom nettselskap og sluttbruker.

11.4.10 EDIEL/EDIFACT - PRODAT, MSCONS, UTILTS

PRODAT, MSCONS og UTILTS er alle meldingsformater fra EDIEL-standarden som benyttes av kraftbransjen. EDIEL er en standard for bruk av Electronic Data Interchange (EDI) i energibransjen [29]. EDIEL er basert på en internasjonal standard EDIFACT og omfatter stadarder for meldingstyper, meldingsfunksjoner, kommunikasjon og sikkerhet. Av de overnevnte meldingstypene er PRODAT en melding som benyttes for overføring av grunnlagsdata mellom nettselskap og kraftleverandør som f.eks leverandørskifteprosesser. EDIFACT meldingene MSCONS og UTILTS benyttes for å rapportere om målte verdier mellom ulike aktører som blant annet nettselskap. Per i dag benyttes ingen av disse to meldingsformatene fra nettselskap til sluttbruker, men benyttes for utveksling av informasjon mellom nettselskap og kraftleverandør i store deler av Europa. UTILTS kan imidlertid benyttes til AMS-kommunikasjon mellom sluttbruker og nettselskap. Meldingsformatet

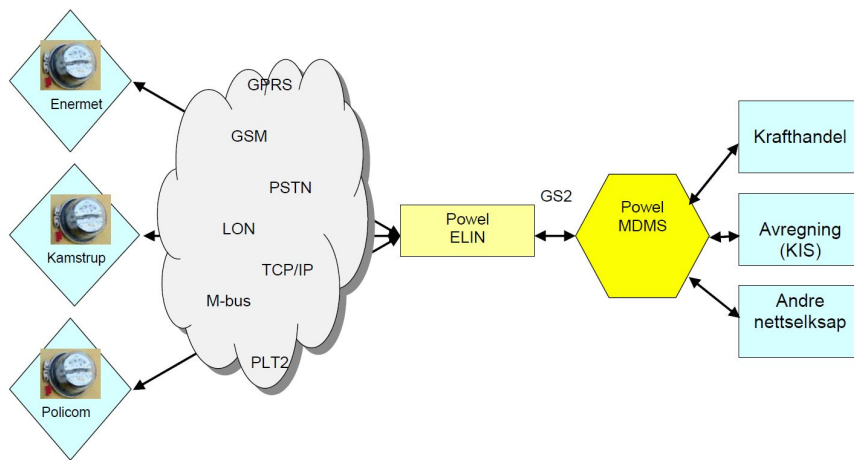
har fordelene at det benytter fra halvparten til en tredjedel av datamengden til en tilsvarende XML-melding (UN/CEFACT XML Naming and Design standardmodell).

Sammarbeidsorganet EDIEL/Ebix jobber for tiden med å utvikle XML-meldinger for oversendelse av måleverdier på målepunktsnivå, og er opprettet som et alternativ til UTILTS. Disse meldingene forventes å være klare sommeren 2010. Samtidig foregår det en utvikling innad i EDIEL/EDIFACT for å gå fra UTILTS til XML-baserte meldinger som skal oppfylle den samme funksjonaliteten. Da dette er kjente meldingsformater for en rekke aktører i kraftbransjen er det potensiale for å utnytte kunnskapen på dette området til å implementere dette i AMS-systemer. Et viktig moment her er likevel at Norge er et lite marked og dermed ikke har råd til å implementere løsninger som ikke støttes i stor grad. Det er derfor trolig at EDIEL/EDIFACT-standardene vil holdes seg innad i det interne nettet til kraftoperatørene, mens kommunikasjonen mellom nettselskap og sluttbruker vil gå over et internasjonalt standardisert meldingsformat.

11.5 Mellomvareteknologier for interoperabilitet

I likhet med seksjonen med samme navn i kapittel 10 eksisterer det liknende interoperabilitetsmekanismer og mellomvare for kraftnett og smartgrid-installasjoner også. SAMS, som er et samarbeid mellom over 30 nettselskap i Sverige, har utviklet en løsning kalt Öppet Insamlingsssystem (ÖIS). Selskapet som utviklet denne løsningen ble senere kjøpt opp av Powel ASA, som integrerte den i sin Powel ELIN adapter som vist i figur 11.5.

En slik løsning skal fungere med de fleste aktuelle dataformater. Andre selskaper som Aidon har også liknende løsninger. Slike mellomvareløsninger er likevel midlertidige da potensialet for stordriftsfordeler for et nettselskap bortfaller ved bruk av mange forskjellige underleverandører og teknologier. IEEE P2030 er navnet på en arbeidsgruppe innad i IEEE som jobber med interoperabilitet for smartgrid. Om denne gruppen skal utvikle mellomvare eller konkretisere anbefalinger for overordnede standarder er usikkert, men



Figur 11.5: Oversetting av ulike dataformat ved bruk av Powel ELIN data løsningen [78]

antallet grupper som jobber på området viser at feltet er viktig og at progresjon kommer til å skje.

11.6 Analyse av potensielle datakrav for AMS-systemer

Introduksjonen av AMS-systemer med toveiskommunikasjon, med langt høyere meldingsfrekvens enn per i dag, vil introdusere en enorm ny mengde data som nettselskapene må systematisere, administrere og lagre. Jeg ser nærmere på problemstillingen rundt en sentralisert/desentralisert lagringsløsning for måledata i seksjon 13.4. Jeg vil her se på mengden data som blir produsert av et målepunkt for å se dette i kontekst av hvilke kommunikasjonsmedium som oppfyller disse kravene.

Mengden data som skal sendes mellom smartmåleren og nettselskapet avhenger helt av hvilken informasjon nettselskapet ønsker. En bit er den mest elementære enheten av digital informasjon. På det mest grunnleggende nivået operer en datamaskin på binære verdier, noe som betyr at de kan ha to tilstander. Disse to tilstandene representerer en av to mulige verdier; 0 eller 1, sann eller usann, av eller på osv. Lange sekvenser med disse bitene

kan benyttes til å representere de fleste typer av informasjon, som f.eks tekst, bilder eller musikk. En byte er en samling av åtte biter. Et sett av åtte bit ble valgt fordi dette utgjør totalt 256 mulige variasjoner, som er tilstrekkelig for å representere tall, bokstaver, mellomrom og andre spesialtegn.

I rapporten "Utveksling av informasjon ved innføring av AMS" [86] defineres datamengden ved utveksling av data ved bruk av meldingsformatene MSCONS, UTILTS og XML. Da jeg ser på XML som det eneste formatet relevant til kommunikasjon mellom nettselskap og smartmåler av de tre er det deres estimat på 80 byte per melding viktig for utregningen av en potensiell datamengde. I rapporten "An evaluation of two-way communication means for advanced metering in Flanders (Belgium)" [23] estimeres det en meldingsstørrelse uten overhead på 1024 byte for en standard måleravlesning. Rapporten Smart Metering Operational Framework Proposals and Options [55] har laget en liknende oversikt over potensielle datakrav, og deres forslag ligger på 40 byte for måledataen. Inkludert overhead kommer deres estimat på 255 byte per melding for en generell måleavlesning. Det er altså et stort sprik mellom anslagene til de ulike rapportene, noe som tilsier at informasjonen på området er begrenset. Jeg har i figur 11.1 nedenfor gjort et forsøk på å vise hva en melding mellom smartmåler og nettselskap kan bestå av. Dette utkastet er selvfølgelig uten noe form for standardspesifikke attributter og er en presentasjon av mengden av rådata som skal overføres ved hjelp av meldingsformater og transportprotokoller. Verdiene er beregnet uten å ta hensyn til komprimering av data eller overhead som kommunikasjonsprotokollene vil legge til.

11.6.1 Vurdering av total AMS-datatrafikk i Norge

Ser man på AMS-data samlet inn totalt i Norge i et smartgrid vil mengdene med informasjon være store, og dermed sette krav til både overføringskapasitet og sikker lagring. På bakgrunn av mangelfull informasjon om DLMS-protokollens meldingsstørrelser har jeg valgt å gjøre et overslag med XML isteden. Jeg har valgt å gjøre dataanslagene basert på bruk av COSEM(XML) dataformat i kombinasjon med TCP/IP. Med utgangspunkt i Econ sitt esti-

Hendelser	Variabler	Byte	Hendelser per år:
Måledata:	Måleverdi:	6	
	Tidsstempel:	15	
	Målerid:	7	
	Kundeid:	7	
	Totalt:	35	time/kvarter/minutt /kvarminutt
Spenningsfallregistrering	Markør:	2	
	Tidsstempel:	15	
	Målerid:	7	
	Totalt:	24	0,2
Avbruddsregistrering:	Markør:	2	
	Tidsstempel:	15	
	Målerid:	7	
	Totalt:	24	0,2
Software update:	Firmware:	512	0,2
Endring av oppførsel:	Markør:	2	1
Lastutjevning: Eks:2002-03- 01T13:00:00Z/2003-05- 11T15:30:00Z	Trigger:	3	
	Periode:	41	
	Totalt:	44	2

Tabell 11.1: Teoretisk beregning av AMS-data

mat på 80 byte for en XML melding [86], og en overhead fra TCP og IPv6 på henholdsvis 20 og 40 byte, blir total meldingsstørrelse på 140 byte. Dette er et veldig konservativt anslag sett i forhold til andre dataestimer av tilsvarende type. Et meldingsstørrelse på 140 byte satt opp mot en overføringshastighet på f.eks IEC-61334 på 2,3 kbps viser at hastigheten på overføringen er viktig da nettselskaper ikke vil kunne få momentanverdier med slike begrensninger på kapasitet. Tabell 11.2 viser et overslag for hvor store datamengder det er snakk om på nasjonal basis i løpet av et år.

Målefrekvens:	B	KB	MB	Totalt Norge (MB):	Totalt Norge (GB):	Totalt Norge (TB):
Time:	1226400,00	1197,66	1,17	3040924,07	2969,65	2,90
Kvarter:	4905600,00	4790,63	4,68	12163696,29	11878,61	11,60
Minutt:	73584000,00	71859,38	70,18	182455444,34	178179,14	174,00
Kvartminutt:	294336000,00	287437,50	280,70	729821777,34	712716,58	696,01

Basert på 2,6 millioner endepunkter i Norge

Tabell 11.2: Total potensiell datamengde for et AMS-system i et Norsk smartgrid per år

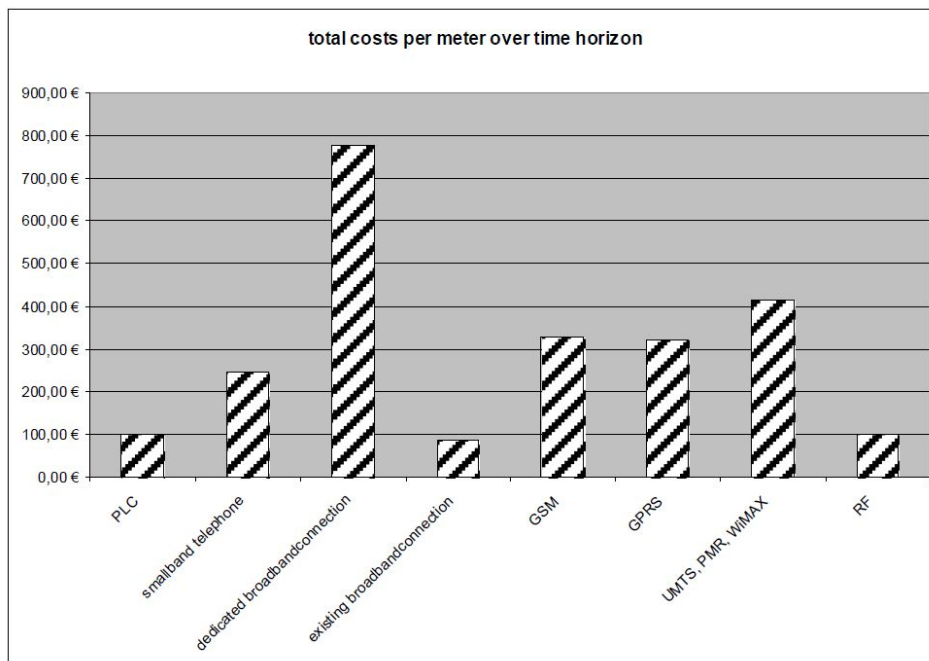
Som tabell 11.2 viser er det snakk om en betydelig mengde data når målingene blir samlet inn ned mot minuttet. Da dette er en svært konservativt anslag i forhold til eksisterende løsninger er dette bare ment som en pekepinn på hvordan utviklingen kommer til å bli. Disse tallene inneholder bare rene måleravlesninger og tar ikke høyde for forbruksutjevning, V2G, prisinformasjon osv. Ved bruk av tidligere nevnte Deconincks [23] anslag på 1024 byte per avlesning ville ført til en 700% økning i lagringsplass. Når man tar med behovet for redundans i lagring av måledata, samt krav om lagring av data over lengre perioder blir fort lagring og prosessering av data et område som det må fokuseres mye på. Det er essensielt at kraftbransjen i Norge er proaktive i forhold til denne problemstillingen slik at de ikke bare takler den økte informasjonsmengden når den kommer, men at de også kan utnytte potensialet dette datasettet kan tilby. Dette forutsetter selvfølgelig at nettselskapet anonymiserer dataene, men potensialet for store økninger i driftsikkerhet og administrasjon av kraftnettet er tilstede ved å bruke informasjon fått fra dataanalyser av forbruksdata.

Da det ikke eksisterer mange fullskala AMS-systemer i drift per i dag så finnes det heller ikke mye informasjon om hvor mye data disse systemene utveksler per år. Det amerikanske selskapet Austin Energy har allerede installert en halv million smartmålere. Selskapet får per i dag inn målinger fra smartmåleren hvert 15. minutt som allerede i dag krever 200 TB med data, inklusive redundans, i året [82]. Et annet eksempel er PG&E som allerede har installert 700 000 smartmålere i California. De forventer at de kommer til å ha 1 million smartmålere innen de er ferdige med utbyggingen. De har måtte øke kapasiteten fra 600-800 TB til 3,2 PB for å takle den økte mengden med informasjon som AMS-systemet har introdusert [82]. Målerne til PG&E blir per i dag lest hver 12. time.

11.7 Økonomisk vurdering av ulike AMS-systemer

Da dette først og fremst er en teknologisk vurdering av AMS- og smartgrid-teknologier har jeg sett på protokoller og standarder fra et økonominøytralt perspektiv. Det er likevel viktig i en analyse som det her å ta med en kort

kostnadsvurdering av de ulike teknologiene. Deconinck [23] har vurdert AMS-teknologi for Belgia og har i denne sammenheng gjort en kostnadsanalyse av ulike teknologier over en 15-års tidshorison. Figur 11.6 viser en grafisk oversikt over de ulike teknologiene beskrevet her.



Figur 11.6: Kostnad per smartmåler over tid [23]

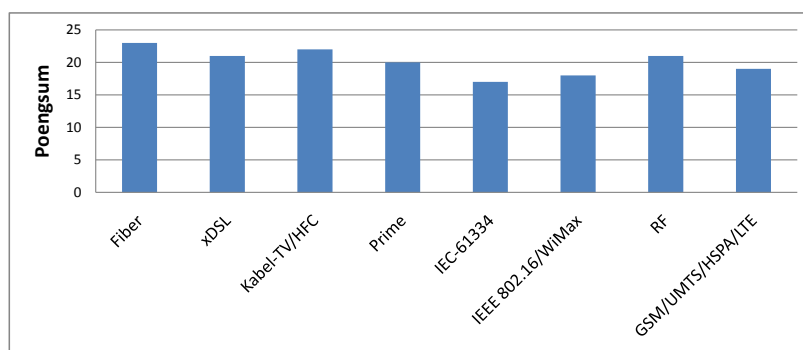
Utifra Deconinck sine estimater er det ikke overraskende eksisterende bredbåndsoppkobling som er den billigste teknologien for AMS. Dette fordi all infrastruktur eksisterer allerede, og den eneste utgiften nettselskapet må ut med for å etablere en slik struktur er et kommunikasjonsledd mellom smartmåleren og bredbåndsmodemet. Som beskrevet i xDSL og HFC teknologien overfor er totalutgiftene og påliteligheten til systemet usikre da man baserer sin kommunikasjonsløsning på et tredjepartsselskap. Det er PLC og RF som er de nest billigste alternativene grunnet lave investeringskostander og ingen datautgifter som ved mobile teknologier som ved f.eks HSPA.

11.8 Anbefalinger vedrørende medium, protokoller og standarder for kommunikasjon i AMS

For å vurdere de nevnte mediene, protokollene og standardene bruker jeg de samme vurderingskategoriene som jeg brukte i smarthusseksjonen 10.4, beskrevet i detalj i vedlegg 9. Her vektla jeg hver og en av kategoriene på en skala fra 1-4, hvor 1 er dårligst og 4 er best. Bakgrunnen for å vektleggingen er min egen analyse av teknologiene basert på innholdet i denne oppgaven. Vedlegg D gir en oppsummering av hovedpunktene som er grunnlaget for min vurdering.

11.8.1 Kommunikasjonsmedium

Norge er et relativt stort land med få innbyggere. Dette innebærer at det er vanskelig å dekke kommunikasjonsbehovet til befolkningen med homogene teknologivalg. Jeg har derfor valgt et utvalg kommunikasjonsmedier som jeg mener er tilstrekkelige for å dekke hele Norge med tanke på AMS-kommunikasjon. Som nevnt i seksjon 11.2.1 er flere av teknologiene nevnt her allerede eksisterende i sluttbrukerens hus. Utifra pilotprosjekter og eksisterende AMS-systemer er det likevel få operatører som benytter seg av dette da de ønsker kontroll over kommunikasjonsmediet selv. Grafen 11.7 viser en oppsummering av resultatene fra tabell 11.3 basert på tallene fra tabell 1 i vedlegg D. Separate radargrafer for hver enkelt teknologi kan finnes i vedlegg B.



Figur 11.7: Grafisk vurdering av de ulike kommunikasjonsmediene

Teknologi	Grad av standardisering	Robusthet	Skalerbarhet	Kostnad	Grad av fremtidssikkerhet	Funksjonalitet	Sikkerhet
Fiber	Lite standarder, FTTH godt dokumentert	+ Forstyrres ikke av andre signaler	+ Enorm båndbredde	- Dyrt	+ Veldig fremtidssikker	+ Oppfyller kravene	+ Vanskelig å fysisk avlytte
xDSL	+ Utbredt og godt standardisert	+ Robust teknologi, høy stabilitet	+ Eksisterer i de fleste hus - Dårlig utenfor tettbebygde strøk	+ Billig, bruk av eksisterende teknologi	- Nådd toppen, erstattes med fiber	- Oppfyller kravene men er avhengig av tredjepart	Kan avlyttes
Kabel-TV/HFC	+ Utbredt og godt standardisert	+ Robust teknologi, høy stabilitet	Samme som xDSL	Samme som xDSL	+ Fremtidssikker - Få brukere	- Oppfyller kravene men er avhengig av tredjepart	Kan avlyttes
Prime	- Venter på standardisering + Åpen og lisensfri	PLC inneholder mye støy, høyde for dette i protokoll	+ Veldig bra	+ Billig, bruk av PLC	+ Fremtidssikker	+ Oppfyller kravene	+ Definert sikkerhet
IEC-61334	+ Utbredt og godt standardisert	Stabil, men treg	+ Veldig bra	+ Billig, bruk av PLC	- Lav hastighet	- For tregt	- Ingen sikkerhet
IEEE 802.16/WiMax	- Lite utbredt + Standardisert	- Trådløs, dermed mindre stabil	+ Dekker store områder høy hastighet	- Ingen infrastruktur, dyrt å opprette	- Trådløs kommunikasjon endres fort	Oppfyller kravene, men krever infrastruktur	Tilbyr sikkerhet, trådløst mindre sikkert
RF	- Fragmentert - lite standardisert	- Trådløs, mindre stabil + Meshnett	+ Veldig bra	+ Billig	Usikker, avhengig av standardisering	+ Oppfyller kravene	Samme som WiMax
GSM/UMTS/HSPA/LTE	+ Utbredt og godt standardisert	+ God dekningsgrad - Kan miste nett	+ Avhengig av type dekkes mesteparten av Norge	- Dyrt, betale for datatrafikk	- Opprettholdelse av mobilnett kan ikke garanteres	Oppfyller kravene men avhengig av tredjepart	Samme som WiMax

Tegnforklaring: + = Positivt, - = Negativt, intet fortegn = Nøytralt

Tabell 11.3: Vurdering av kommunikasjonsmedium utifra fastsatte kriterier

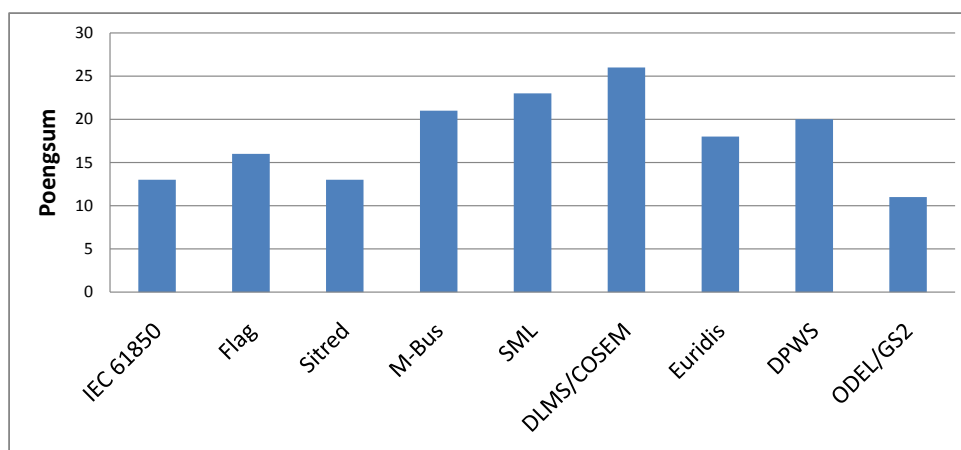
Valget av hvilken teknologi som skal benyttes av de ulike nettselskapene er helt avhengig av nettverkstopologien og geografien i området som AMS-systemet skal implementeres. Basert på vurderingen jeg har gjort er følgende kommunikasjonsmedier relevante for en AMS-utbygging i Norge:

- Fiber
- PLC
- RF
- GSM/GPRS/UMTS/HSPA/LTE

Basert på de fire ulike teknologigruppene ovenfor mener jeg at alle nettverkstopologier og geografiske områder i Norge er dekket.

11.8.2 Dataformater

Typen dataformat som et AMS-system kommuniserer med er svært viktig siden det definerer hvordan både vanlige og avanserte funksjoner skal operere. Jeg har derfor gått igjennom alle de aktuelle dataformatene for et AMS-system i Norge og kommet til en konklusjon som er samsvarende med OPENmeter/M441-prosjektet som utføres i regi av EU. Ved å sette de ulike dataformatene mot hverandre, i samme prosess som jeg har gjennomført for smarthusprotokoller og kommunikasjonsmedier, har jeg kommet frem til at DLMS/COSEM er det mest optimale dataformatet for det fremtidige norske AMS- og smartgrid-systemer. SML-formatet er mitt andrevalg men grunnet standardiseringen som DLMS/COSEM innehar, samt adopsjonen av standarden fra OPENMETER/M441-gruppen nådde den ikke helt opp. Da EDIEL/EDIFACT-formatet ikke benyttes til AMS-kommunikasjon per i dag valgte jeg å ikke inkludere det i den endelige vurderingen. Grafen 11.8 viser en oppsummering av resultatene fra tabell 11.4 basert på tallene fra tabell 2 i vedlegg D. Separate radargrafer for hver enkelt teknologi kan finnes i vedlegg C.



Figur 11.8: Grafisk vurdering av de ulike dataformatene

Teknologi	Grad av standardisering	Robusthet	Skalerbarhet	Kostnad	Grad av fremtidsikkerhet	Funksjonalitet	Sikkerhet
IEC 61850	+ Standardisert	+ Etablert, robust	- Opprinnelig ikke for AMS	- Omfattende standard	- Ikke spesifikt en AMS-standard	- Ikke spesifikt en AMS-standard	- Ingen sikkerhet
Flag	+ Standardisert	+ Etablert, robust	Skalerbar, men treg	+ Minimal, billig	- Inneholder ikke fremtidsrettede funksjoner	- Oppfyller ikke fremtidskrav	Enkel sikkerhet
Sitred	- Proprietær	+ Etablert, robust	+ Benyttes av ENEL i storskala	- Lisensiering	Middels, basert på italienske krav	Middels funksjonalitet	+ Støtter kryptering, autentisering
M-Bus	+ Standardisert	+ Etablert, robust	+ Skalerbar	+ Minimal, billig	- Lite fremtidsrettet, treg	+ Høy funksjonalitet	Kryptering, ikke autentisering
SML	Under påvente av standardisering	Robust, men lite utprøvd	+ Veldig skalerbar	+ Billig	+ Objektbasert, fremtidsrettet	+ Høy funksjonalitet	+ Sikker ifølgger OPENmeter
DLMS/COSEM	+ Standardisert	Robust, men lite utprøvd	+ Veldig skalerbar	+ Billig	+ Objektbasert, fremtidsrettet	+ Høy funksjonalitet	+ Sikker
Euridis	+ Standardisert	+ Etablert, robust	Skalerbar, men treg	+ Minimal, billig	- Lite fremtidsrettet, treg	- Enkel funksjonalitet	Fysisk sikkerhet, magnetplugg
DPWS	OASIS standardisert	Robust, men lite utprøvd	+ Veldig skalerbar	Lisensbasert royaltyfree	+ Web Services, fremtidsrettet	+ Høy funksjonalitet	+ Sikker
ODEL/GS2	- Ikke standardisert	Robust, men lite utprøvd	+ Skalerbar	Uvisst	Objektbasert, men lite støtte	+ Høy funksjonalitet	Ingen info

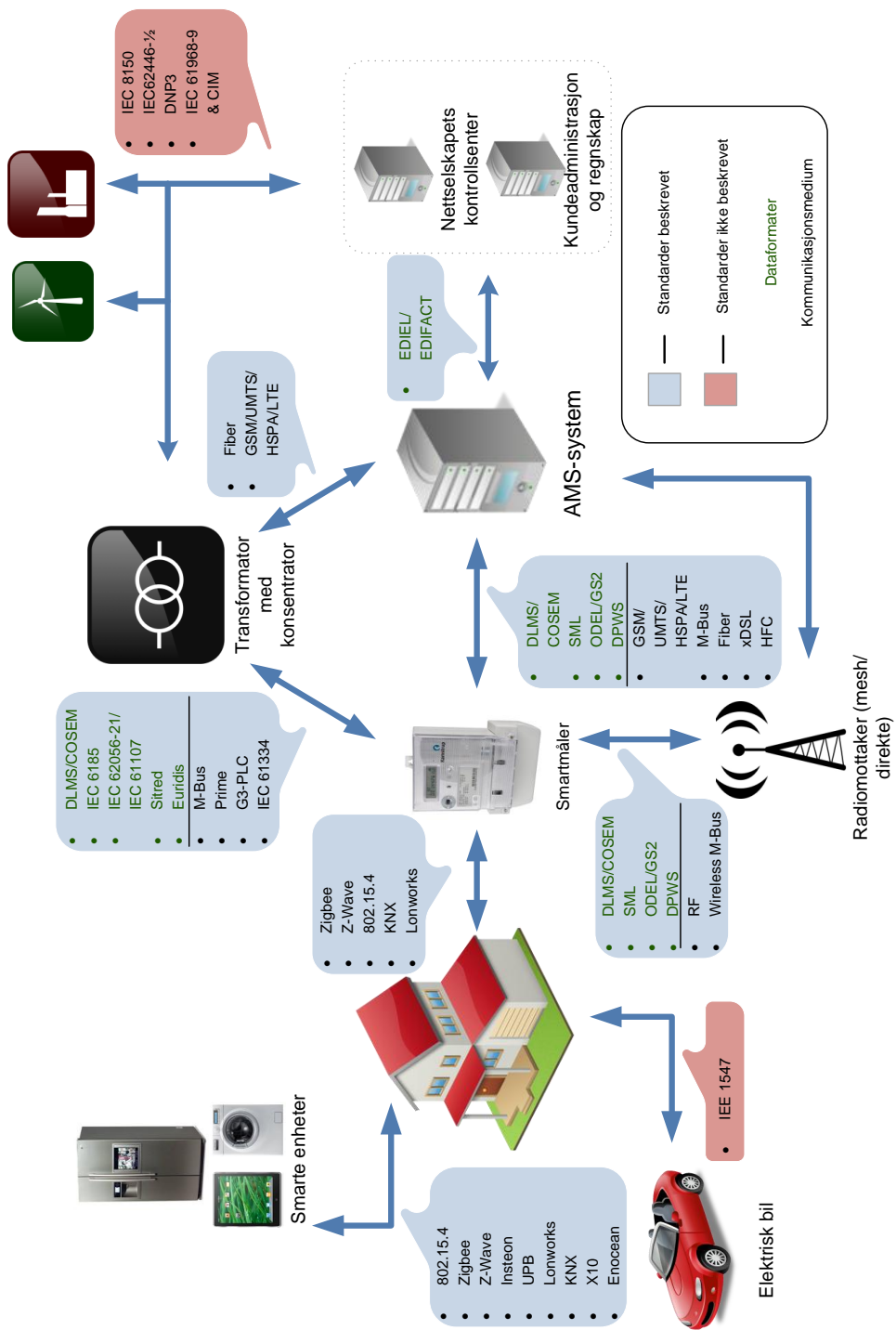
Tegnforklaring: + = Positivt, - = Negativt, intet fortegn = Nøytralt

Tabell 11.4: Vurdering av dataformater utifra fastsatte kriterier

12

Foreslått teknologiplattform

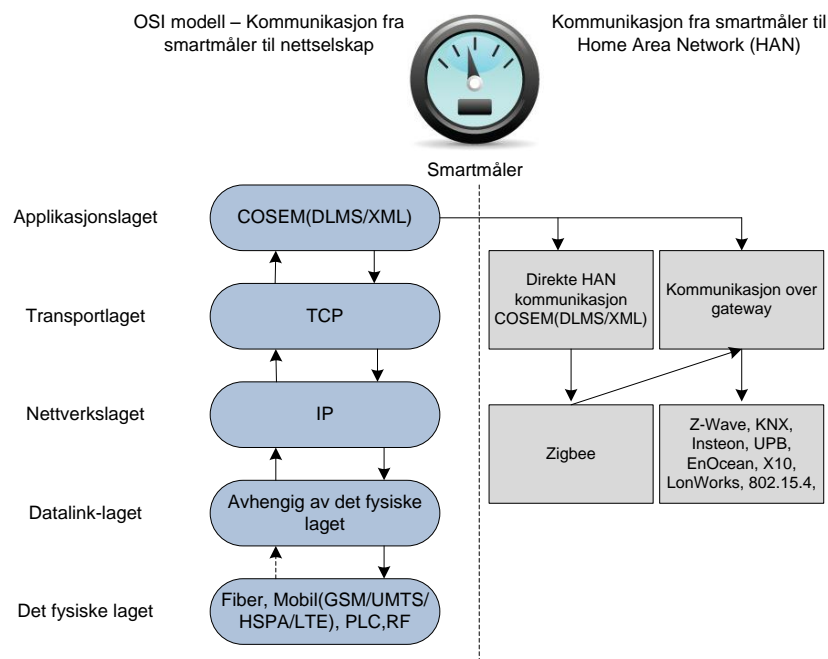
Kommunikasjonsnettets til et fremtidig kraftnett i Norge er mer omfattende enn hva denne oppgaven har tatt sikte på å beskrive. Fokuset har som sagt vært på kommunikasjonen sentrert rundt smartmåleren og dens kommunikasjon til HAN og nettselskap. Selv om AMS-systemer i liten grad er utbredt på verdensbasis har en rekke produsenter begynt å plassere seg med mål om å få en bit av de enorme investeringene som skal utvikle dagens kraftnett videre fremover. Jeg har gått igjennom en rekke standarder, medier og dataformater for kommunikasjon som alle har spilt eller kommer til å spille en rolle i denne utviklingen. Dette kapitlet inneholder en samlet vurdering av min foreslåtte teknologiplattform, med unntak av sikkerhetsaspektet som jeg ser nærmere på i kapittel 13. Figur 12.1 på neste side er en grafisk oversikt av de ulike protokollene og standardene som jeg har beskrevet i kapittel 10 og 11 samt hvor i kraftnettet de kan benyttes.



Figur 12.1: Oversikt over standarder og protokoller for kommunikasjon mellom smarthus og smartgrid

12.1 Foreslått teknologisk plattform

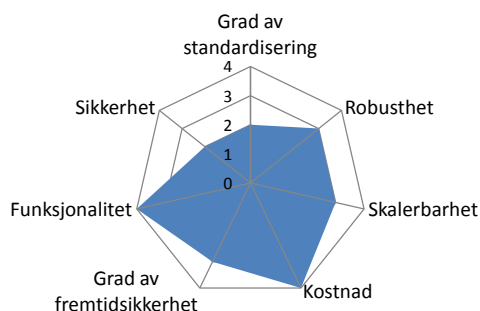
Jeg har på bakgrunn av anbefalingene jeg har foretatt i kapittel 10 og 11 laget figur 12.2 under som presenterer en teoretisk modell for et AMS-rammeverk i Norge basert på Open System Interconnection (OSI)-modellen.



Figur 12.2: OSI basert kommunikasjonsmodell for AMS i Norge og kommunikasjonsledd mot HAN

12.1.1 Standard for smarthuskommunikasjon

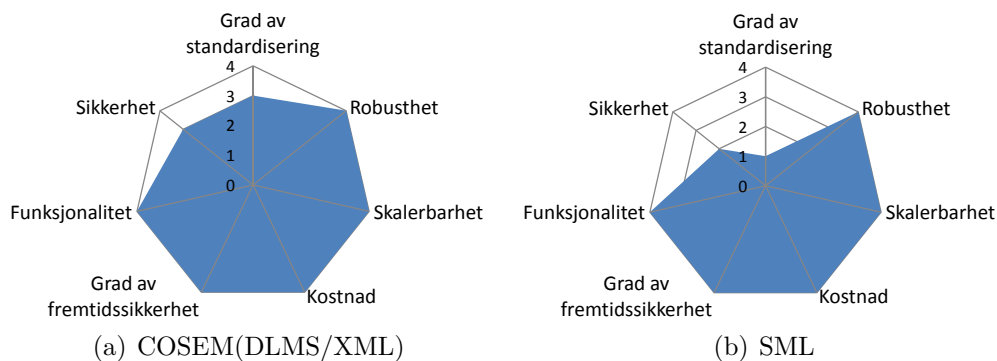
Som illustrert på figur 12.2 vil kommunikasjonen fra smartmåleren til HAN være dominert av enten en ren Zigbee- eller Zigbee til gateway/mellomvareløsning. Utifra de fire relevante kommunikasjonsstandardene for smarthus var det Zigbee som var best på vurderingskriteriene jeg hadde definert. Figur 12.3 viser dette og kan sammenlignes med liknende figurer for de resterende standardene i vedlegg A



Figur 12.3: Zigbee radardiagram

12.1.2 Applikasjonslaget

Som applikasjonslag, og dermed meldingssystem for en slik AMS-struktur, har jeg valgt COSEM(DLMS/XML). Jeg beskriver her DLMS/COSEM som COSEM(DLMS/XML) fordi jeg ønsker å utheve at bruken av XML er mulig med dette dataformatet. Dette fordi standarden allerede er akseptert av OPENmeter/M441-organisasjonene og på et overordnet plan tilbyr en velegnet platform for kommunikasjonsuavhengig, åpen, ikke-proprietær kommunikasjon mellom smartmålere og nettselskaper. Valget mellom XML og DLMS som selve meldingsformatet er opp til det enkelte nettselskap da konverteringsprosedyrer mellom disse to formatene med stor sannsynlighet blir gjort tilgjengelig av DLMS-Alliansen. Som andrevalg har jeg valgt SML da dette er det dataformatet som likner mest på COSEM(DLMS/XML) med tanke på objektbasert oppbygning og potensiale for fremtidsrettede tjenester. Bakgrunnen til første og andrevalget bunner ut i den manglende standardiseringen til SML, lite informasjon om sikkerheten til formatet og støtten til DLMS-Alliansen sitt format fra OPENmeter og M/441 gruppene. Som figur 12.4 nedenfor viser kom begge dataformatene høyt opp i mine vurderinger.



Figur 12.4: Grafisk vurdering av de valgte dataformatene

12.1.3 Nettverkslaget

Som transport og nettverkslag har jeg valgt å fokusere på TCP/IP-familien, da signalene i markedet tilsier at kommunikasjonen i kraftindustrien konvergerer mot et alt over IP scenario. Muligheten til å designe et IPv6-nett fra bunnen opp gir også smartgrid muligheten til å fokusere på sikkerhet og funksjonalitet fra starten av, i motsetning til Internettet hvor funksjoner og sikkerhet har blitt lagt til etterhvert som behovet meldte seg. Etableringen av et kraftnett som benytter seg av IP gjør at kommunikasjonsutstyr kan designes uavhengig av hvem som skal benytte seg av det. I et marked som kommer til å bli like teknologisk fragmentert som Internettet er i dag, med et utall av ulike kommunikasjonsenheter på ulike kommunikasjonsmedier, er behovet for en dynamisk og skalerbar nettverksprotokoll definitivt til stede. Valget av TCP/IP som protokollfamilie betyr samtidig at standarder som har for lav overføringshastighet automatisk blir utelukket. TCP/IP har en betydelig overhead (ekstra data i meldingene brukt til adressering og feilsjekking) som vil medføre ekstra krav til kommunikasjonsmediene og standardene som brukes på de. Det er derfor jeg har gjort følgende valg for det fysiske laget i min modell.

12.1.4 Det fysiske laget

Fiber er et selvklaart medium grunnet den store andelen nettselskaper i Norge som selv har bygd ut dedikert fiberkanaler til sluttbrukerene sine. Et

problem som må løses før denn kommunikasjonskanalen kan benyttes er å koble smartmåleren til fibertilkoblingen. Dette må ettermonteres i samtlige hus som har eksisterende fibertilkoblinger. Den største barrieren her er kostnaden da utrulling av fiber er dyrt.

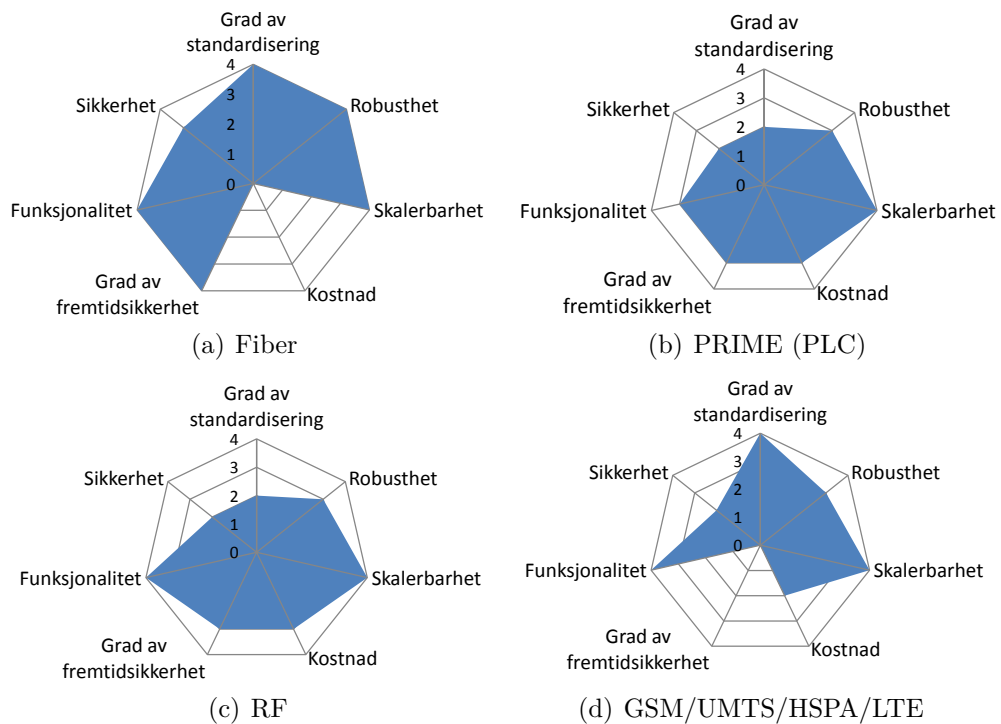
GSM/UMTS/HSPA/LTE er selvklaerte valg når avstanden er stor og det er langt mellom husene. GPRS benyttes per i dag i flere AMS-systemer og vil med tiden kunne erstattes av 3- og 4G teknologi som UMTS, HSPA og LTE. Teknologien er allerede utviklet og med tredjegerasjons-teknologi og opp så er hastighet ikke lenger et problem. Begrensningen med denne teknologien ligger i fremtidssikkerheten. Overføringskapasiteten er mer enn stor nok, men telekommunikasjonsbransjen kan ikke gi noen garantier for hvor lenge spesifikke mobileteknologier skal holdes vedlike. Dette innebærer at utgiftene ved implementasjon av mobilbasert AMS kan medføre høyere kostnader ved at levetiden på smartmålerne blir forkortet.

PLC er en selvskreven teknologi da koblingen til smartmåleren er gjort gjennom distribusjonsnett. Begrensningene på hastighet er fjernet ved bruk av nyere PLC-teknologier som PRIME og G3-PLC. Basert på informasjonen som er tilgjengelig i dag, pågående standardiseringsarbeid og potensialet til PLC i Norge velger jeg å anbefale PRIME som et meget godt alternativ til kommunikasjon for smartmålere. Denne anbefalingen er med forbehold da standardiseringsarbeidet med PRIME enda ikke er ferdig, og uten en PLC-standard som PRIME er de resterende PLC-teknologiene for trege og upålitelige til å brukes i stor skala.

RF er i tettbygde bystrøk et godt alternativ, noe som blant annet Göteborg Energi har erfart med deres implementasjon av et meshnettverk bestående av Zigbee-moduler.

Figuren 12.5 viser hvordan de ulike kommunikasjonsmediene gjorde det i min kvalitative vurdering. Som nevnt tidligere er det på bakgrunn av de ulike kommunikasjonsbehovene til nettselskap i Norge umulig å basere seg på

et enkelt kommunikasjonsmedium. Variasjonen i kundemasse på grunnlag av geografi, befolkningstetthet og områdeanalyser innebærer at hele fire kommunikasjonsmedier ble en del av min endelige vurdering. Selv om Kabeltv/HFC og xDSL på mange områder fikk høyest vurdering teller tredjepartsaspektet tungt. Problemene som en tredjepartsløsning koblet opp mot en sluttbrukers internettabonnement medfører kan potensielt innebære forhøyede administrasjonsutgifter og potensielle pålitelighetsproblemer.



Figur 12.5: Grafisk vurdering av valgte kommunikasjonsmedier

13

Datasikkerhet og personvern hensyn i et smartgrid

Med introduksjonen av digital toveiskommunikasjon i kraftnettet introduserer man også nye sikkerhetsproblemer i distribusjonsnettet. Dagens distribusjonsnett med mekaniske målere har også vært offer for brudd på sikkerheten (både feilavlesning og tyvkobling), men da basert på individuelle svindelforsøk med reduksjon av strømgregningen som motiv. Introduksjonen av digitale smartmålere øker kompleksiteten til målesystemet, som igjen reduserer muligheten for feilaktig rapportering av forbruk. Den økte kompleksiteten kombinert med muligheten for å kommunisere med et stort antall smartmålere på en gang betyr samtidig at potensialet for å infisere smartmålere med ormer eller andre typer skadelig programvare er mye større. Smartmålere er ikke mer enn små datamaskiner med standardiserte grensesnitt som er like mottakelige for digitale angrep som våre egne datamaskiner. Det er derfor nødvendig å ha en helhetlig og omfattende sikkerhetsplan tilgjengelig når smartgrid rulles ut for første gang.

Jeg velger å dele den potensielle trusselen mot neste generasjons- kraftnett i tre grupper:

- Svindel: Bruk av avanserte IT-verktøy eller software for å forsøke å endre sine personlige forbruksdata.
- Koordinerte angrep: Terrorisme eller målrettede angrep for å svekke

omdømmet til spesifikke leverandører i markedet.

- Misbruk av sluttbrukerens personlige forbruksdata.

Som en del av utviklingen av smartgrid har NIST lansert en egen utredning som har som formål å se på de sikkerhetsmessige aspektene ved introduksjonen av smartgrid-komponenter i kraftnettet. "Smart Grid Cyber Security Strategy and Requirements" [52] er et tillegg til NIST sitt forslag til generelle smartgrid-standarder, og inneholder en rekke potensielle eksisterende standarder samt forslag til hvor arbeidet bør fokuseres for å få en helhetlig kontroll på kommunikasjon i smartgrid.

13.1 Svindel

Svindel vil forekomme, selv med bruk av mer avanserte smartmålere. Selv etter 30 år med kabelTV-teknologi og økt bruk av krypteringsteknologi innenfor dette feltet er fortsatt svindel et problem for kabelTV-leverandører. Det samme kommer vi nok til å se med smartmålere, men muligheten nettselskapene har til å oppgradere software på smartmålerene gjør det mulig å tette sikkerhetshull etter fullført installasjon.

13.2 Koordinerte angrep mot eksisterende AMS-teknologi

AMS-teknologi er som tidligere beskrevet, en svært viktig del av smartgrid-infrastrukturen. Slik som teknologiscenen ser ut i dag er det Zigbee som leder an til å være den predefinerte radiokommunikasjonsmodulen for intern kommunikasjon fra smartmåler til HAN. En nylig undersøkelse av Goodspeed et al. [46] identifiserer en rekke metoder for å angripe smartmålere som benytter seg av 802.15.4 teknologien. Angrepene som Goodspeed et al. dokumenterte inkluderer ekstraksjon av data fra smartmålerens minne, inkludert nettverksnøkler brukt til identifikasjon av selve måleren i kommunikasjon med nettselskapet. De fant også ut hvordan man kan endre en smartmålere

minne, og dermed legge inn skadelig programvare. Når et punkt i et distribusjonsnett er infisert kan dette punktet igjen brukes til å angripe andre deler av smartgrid-infrastrukturen. Dette kan til slutt føre til angrep på sentrale kontrollmekanismer. Carpenter [12] dokumenterte også mange potensielle sikkerhetsproblemer med AMS-enheter som inkluderte usikre databusser og serielle tilkoblinger.

Med et fullt utbygd smartgrid i Norge vil det være 2,6 millioner endepunkter som har toveiskommunikasjon med nettselskapene sine [26]. Resultatet av å infisere disse med ondsvinnig programvare vil være katastrofalt da falske meldinger om forbruk og etterspørsel kan føre til en total kollaps av kraftmarkedet. Dette kan i det verste fall føre til fysiske ødeleggelser i kraftnettet som igjen fører til at store deler av befolkningen kan miste strømmen. Da angrep som dette kan utføres fra et hvilket som helst sted i verden innebærer dette at et målrettet angrep fra et annet land eller en ideologisk gruppe kan sette den norske kraftinfrastrukturen helt ut av spill.

13.3 Misbruk av sluttbrukerens personlige forbruksdata

Fra å vite hvor mye det kvartalmessige forbruket til sluttbrukere er, vil nettselskap med smartmålere få en detaljert oversikt over forbruket ned til sann tid hos alle sine sluttbrukere. Denne informasjonen kan analyseres for å deretter hente ut sensitiv informasjon om sluttbrukernes vaner. Ved å analysere de forskjellige elektriske apparaters individuelle strømsignatur kan man ved å lese av forbrukshistorie finne ut når TVen er i bruk, når personer kommer hjem fra jobb eller når noen er på ferie. Denne informasjonen er nyttig for mange parter, deriblant reklameselskaper som kan skreddersy reklame som passer perfekt for kundene. Problemene er nettopp at denne informasjonen er privat og sluttbrukeren ønsker ikke at noen skal vite når du tar deg et bad eller når du ser på tv på kvelden. Per i dag er det sluttbrukeren som eier forbruksdataene sine, og dette er et viktig prinsipp som må beholdes. Nettselskap bør ikke få lov til å lagre mer informasjon enn kundene selv gir

de lov til og skal under ingen omstendigheter dele denne informasjonen med andre uten samtykke fra sluttbrukeren.

Det er likevel mange tjenester som f.eks Google Powermeter og Microsoft Hohm som tilbyr deg relevant statistikk om ditt eget forbruk via lett tilgjengelige brukergrensesnitt på nett. Disse tjenestene bruker informasjonen du mottar fra smartmåleren og syntetiserer denne til lett forståelige grafer og tall. Markedet for aggregering av slike data er fortsatt svært liten, men det kommer etterhvert til å oppstå selskaper som tilbyr en lang rekke tjenester basert på dine forbruksdata. Siden man selv eier sine egne forbruksdataer vil det med stor sannsynlighet være reklameselskaper som er villig til å betale for denne informasjonen, slik at de lettere kan nå de riktige kundene. Kombinasjonen av sosiale nettsteder som Facebook, som ved standardinnstillingene deler mange av detaljene i profilen din med hele verden, og detaljer rundt forbruket ditt kombinert med annen aggregert informasjon hentet ut fra nettet, er nok til å gi en rimelig detaljert beskrivelse av en persons liv. Da sluttbrukeren selv er eier av sine egne forbruksdata er det viktig at allmennheten blir opplyst om risikoen ved deling av for mye personlig data. Det er samtidig viktig at nettselskapene tar dette aspektet seriøst og behandler informasjonen de samler inn om sine kunder med integritet og respekt.

Nederland har allerede hatt de første diskusjonsrundene rundt AMS og privatliv, og nettselskapene der måtte gi seg på kravet at smartmålere skulle være obligatoriske da forbrukerorganisasjoner tok opp sikkerheten rundt forbruksdata [56]. Hendelser som dette er ikke enkeltstående og nabolag i blant annet i Oakland, USA, har boikottet installasjonen av smartmålere [11].

13.4 Sentral eller desentraliserte måledatabaser

Da kostnadene for en fullt utviklet database for måledata vil påføre mindre nettselskaper vesentlige kostnader, er spørsmålet om en sentralisert database for måledata igjen aktuelt [25]. Det fremtidige nordiske energimarkedet vil på sikt harmoniseres, noe som har en innvirkning på hvordan de fremtidige avregningssystemene for det norske markedet skal utvikles. På bakgrunn av det fragmenterte markedet i Norge er det ikke økonomisk bærekraftig at hvert

enkelt av nettselskapene skal investere i databasesystemer for måledata. En monopolistisk løsning er samtidig ikke ønskelig da det med stor sannsynlighet vil minimere innovasjonen på området. Gjennom rapporten skrevet for Energi Norge anbefales det at en markedsbasert løsning, hvor det skapes insentiv for 2-5 regionale avregningssentraler, er det beste alternativet. Dette vil føre til at større nettselskaper vil kunne velge å utføre avregning selv, mens mindre selskaper kan kjøpe disse tjenestene i et marked hvor prisene blir presset av flere leverandører. Et eksempel på dette er SAMS som jeg beskrev i seksjon 6.1.1.

Fra et sikkerhetsmessig hensyn er en distribuering av tjenestene den beste løsningen. En sentralisert løsning innebærer en økt sikkerhetsrisiko ved at hele måleavlesningssystemet kan gå ned ved et målrettet angrep. Et distribuert system vil kunne fordele eventuelle angrep og dermed minske sannsynligheten for absolutte tap av data. Gode sikkerhetsrutiner relatert til backup og datahåndtering er ikke bare viktig sett fra et potensielt angrepsscenario, men også på grunnlag av interne rutiner og potensielt tap av data. Måledatabaseene må derfor inneholde redundans slik at måledata ikke risikerer å gå tapt grunnet feil i opplæring av personale eller maskinvareproblemer. Som nevnt i seksjon 11.6 kommer mengden data overført mellom sluttbruker og nettselskap til å øke enormt. Dette stiller krav til både kommunikasjonssystemene beskrevet i kapittel 10, men også de interne IT-systemene til nettselskapet som må være dimensjonert for prosessering og sikker lagring av store data-mengder.

13.5 Sikkerhetsvurdering av anbefalt løsning

Den beskrevne løsningen i figur 12.2 er avhengig at den blir implementert på en sikker og hensiktsmessig måte. Jeg vil derfor gå igjennom de spesifikke sikkerhetsaspektene ved hver av de beskrevne teknologiene for å få et inntrykk av den helhetlige sikkerheten ved et slikt system. COSEM(DLMS/XML) har et innebygd autentisering- og overføringssikkerhet. Autentisering er kontrollert av assosiasjonsobjekter. Assosiasjonsobjekter fungerer som portvakterer for informasjonsflyten, og de kontrollerer dermed hva og når informasjon skal

utveksles mellom aktører. For overføringssikkerhet brukes den symmetriske nøkkelalgoritmen AES-GCM-128. Denne algoritmen er estimert til å være sikker til 2030 og utover [19]. IPsec er sikkerhetsprotokollene til TCP/IP-familien og ble originalt utviklet for IPv6, men ble brukt av IPv4 som en valgfri tilleggsmodul. I IPv6 er IPsec obligatorisk. IPsec er en ende til ende protokoll på nettverkslaget og er som resten av TCP/IP-familien en åpen protokoll.

Med sikkerheten som de øvre lagene tilbyr er det egentlig ikke behov for sikkerhet på det fysiske laget, men både de mobile teknologiene som GSM/UMTS/HSPA/LTE og RF kommer med innebygd kryptering. De mobile systemene bruker internasjonale krypteringsalgoritmer som utveksles ved opprettelse av dataoverføring, mens RF-teknologier som Zigbee benytter seg av en 128-bit AES krypteringsalgoritme samt grunnleggende sikkerhetstjenester som det underliggende 802.15.4 laget står for.

Standardene overfor benytter seg av solide og godt utbredte sikkerhetsstandarder som allerede er på markedet per i dag. Ved å fokusere på en ren IPv6 implementasjon samtidig som at sikkerheten i meldingssystemet ved bruk av DLMS laget sin sikkerhet oppretholdes er det mulig å tilby en løsning som både er dynamisk, interoperatibel, fremtidsorientert og sikker.

14

Konklusjon

Det er ingen tvil om at smartgrid vil være samfunnsnyttig for Norge da det vil effektivisere kraftnettene, bidra til å minske strømforbruket samt å åpne for tjenester og applikasjoner som vi enda ikke kan forestille oss. Problemstillingen til denne oppgaven var å undersøke kommunikasjonsveiene til og fra smartmåleren satt opp mot funksjonskravene som NVE har foreslått til morgendagens AMS-systemer i Norge. Denne oppgaven bestod dermed av tre deler, integrasjon og kommunikasjonsalternativer for smarthus, vurdering av kommunikasjonsveien mellom smartmåler og nettselskap samt en vurdering av hvordan smartgrid og AMS-systemer kommer til å endre dagens kraftnett.

Integrasjon og kommunikasjonsalternativer for smarthuskonseptet

Smarthus har i mange tiår vært en del av våre fremtidsvisjoner. Med en påbudt installasjonen av smartmålere i alle hustander som kravmessig skal inneholde en trådløs kommunikasjonsmodul legger man grunnlaget for en gradvis introduksjon av smarte elektriske enheter i dagliglivet vårt. Kommunikasjon mellom enheter vil føre til en økt effektivisering i hvordan vi forbruker ressurser som tid, strøm, vann og gass. Et usynlig nett av trådløse sensorer som optimaliserer levevilkårene våre, samtidig som det begrenser miljøpåvirkningene våre er bare noe av det smarthusteknologi kan føre med seg. Min vurdering av ulike smarthusteknologier, altså kommunikasjonsstandarder med ulike protokollmodeller for hvordan best løse enhet til enhet kommunikasjon innenfor et HAN, førte til en anbefaling av Zigbee-standarden. Dette ble gjort med forbehold,

da standarden ikke er standardisert av internasjonale organisasjoner, men funksjonaliteten og markedsposisjonen som Zigbee-alliansen har er grunn alene nok til å se på det som sannsynlig at dette blir den foretrukne trådløse kommunikasjonsmodulen som blir standard for norske smartmålere.

Vurdering av kommunikasjonsveien mellom smartmåler og nettselskap

Kommunikasjon innad i kraftnettet eksisterer allerede i dag med bruk av EDIEL/EDIFACT-standarder og SCADA-administrasjonssystemer. Kommunikasjonen har likevel stoppet ved et visst nivå, slik at distribusjonsnettet i stor grad fortsatt har vært uintelligent. Introduksjonen av AMS vil gjøre noe med dette ved å introdusere intelligente endenoder hos alle sine sluttbrukere. Dette medfører at det er behov for en standardisert, pålitelig og kostnadseffektiv måte for nettselskapene å kommunisere med disse smartmålerne. Jeg gjennomførte en vurdering av både kommunikasjonsmedier, standarder og dataformater for å etablere en referansemodell for hvordan en kommunikasjonsløsning for AMS kunne se ut i Norge. Figur 12.2 er min anbefaling til dette basert på en analytisk gjennomgang av spesifikasjonene til de ulike elementene i modellen satt opp mot kravene som NVE har satt i sitt høringsutkast og norske særkrav som blant annet krevende geografi.

Hvordan pålegget om bruk av smartmålere vil endre dagens kraftnett

Et av hovedmomentene med smartgrid og introduksjonen av AMS i Norge er potensialet for utvikling i kraftnettet som det medfører. På en side vil det introdusere negative elementer som økt fare for nettbasert angrep mot både kraftnett og sluttbrukere, men på den andre siden vil kraftnettet oppleve mye av den samme utviklingen som Internettet har opplevd over de siste tiårene. Integrasjon av el-biler, produksjon av egen energi, distribuerte produksjon og lagringsløsninger, samt en helt ny form for interaksjon med kraftmarkedet gjennom intelligente automatiserte displayløsninger som forteller deg når på døgnet det er mest gunstig å kjøre vaskemaskinen eller lade bilen. Dette vil føre til en potensielt stor reduksjon i forbruk samtidig som at potensialet for for-

bruksutjevning vil gjøre produksjonen av kraft mer miljøvennlig. Nye prismodeller vil føre til at aktive sluttbrukere får muligheten til å spare penger ved å tilpasse seg lastkurvene i kraftnettet. Avanserte sensorer plassert ut i kraftnettet vil føre til at strømvavbrudd vil kunne forebygges istedenfor å repareres. Det er likevel en lang rekke utfordringer som nettselskapene i Norge står foran når de nå skal forberede seg på den kommende AMS-implementasjonen. De to viktigste utfordringene beskrevet i denne oppgaven er sikkerheten i nettet og lagring og prosessering av forbruksdata fra smartmålerne. Som beskrevet tidligere er løsningene for kommunikasjon på plass, men nettselskapene må være klare for den enorme økningen i data de må prosessere, samt den økte sårbarheten så mange aksesspunkt til dere nett åpner opp for. Prosesseringskrevende operasjoner som JIP blir da ikke lenger nødvendig, noe som frigjør ressurser innad i nettselskapene som kan brukes til å håndtere konkrete måleavlesninger i stedet for dagens estimasjoner.

Det er likevel ingen grunn til å sitte på gjerdet da fordelene ved å installere AMS i dag og smartgrid-teknologi på sikt veier opp for økt sårbarhet og krav til interne IT-systemer. Det er likevel slik at en endelig beslutning om investering i nevnte teknologier må være gjort på et økonomisk grunnlag, noe som innebærer at NVE må være proaktive for å realisere den åpenbare samfunnsnyttene gjennom økte inntektsrammevilkår til nettselskapene. Dette, sammen med et endelig forslag til kravspesifikasjon og frist for utbygging, vil føre til at nettselskapene får insentiver til å bygge ut på en hensiktsmessig måte og gjennomføre en investering som på lang sikt vil være til stor samfunnsmessig nytte for Norge. Som denne rapporten har påpekt, er teknologien klar og det er ikke lenger grunn til å vente med å modernisere distribusjonsnettet vårt.

Bibliografi

- [1] IEC Working group 14. Iec tc 13 wg 14. http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=102:14:0::::FSP_ORG_ID:1636, 17.05.2010.
- [2] 6LoWPAN. 6lowpan hjemmeside. <http://www.6lowpan.org/>, 11.05.2010.
- [3] The Zigbee Alliance. Zigbee smart energy profile 2.0. <http://www.zigbee.org/Markets/ZigBeeSmartEnergy/Version20Documents.aspx>, 29.05.2010.
- [4] Wavenis Open Standard Alliance. Wavenis hjemmeside. <http://www.wavenis-osa.org/>, 11.05.2010.
- [5] U-SNAP Alliansen. U-snap - enabling the device ecosystem for the smart grid. <http://www.usnap.org>, 16.05.2010.
- [6] Z-Wave Alliansen. Z-wave alliansen. <http://www.z-wave.com/modules/Products/?id=60&chk=9eb8f10b32068692a3e86fd1718aa245#horstmann>, 27.05.2010.
- [7] Eme Analys. Införandet av AMS system i sverige och europa. Rapport, NVE, 2007.
- [8] Nina Kristine Sogn Arvidsen. Smarte nett med smarte målere. Hovedfagsoppgave, NTNU, 2009.
- [9] Avenir AS. Nettselskapets rolle i det fremtidige norske kraftmarkedet med ms-infrastruktur. Rapport, Avenir, 2009.
- [10] B. Botte, V. Cannatelli og S. Rogai. The Telegestore project in ENEL's metering system. I *Proc. Int. Conf. on Electricity Distribution (CI-RED)*, 2005.
- [11] CBS Broadcasting. Oakland neighborhood boycotting pg&e smart meters. <http://cbs5.com/consumer/smart.meter.pge.2.1706721.html>, 23.05.2010.

- [12] J. Brodsky og A. McConnell. Jamming and Interference Induced Denial-of-Service Attacks on IEEE 802.15. 4-Based Wireless Networks. I *Proceedings of the SCADA Security Scientific Symposium*, side 2–1, 2009.
- [13] Steinar Bysveen. AMS i norge - hvordan komme i gang med de riktige tingene? Rapport, EBL, 2009.
- [14] CableLabs. Docsis 3.0 specifications. <http://www.cablelabs.com/cablemodem/specifications/specifications30.html>, 08.05.2010.
- [15] Steven Chu. Quote. <http://news.harvard.edu/gazette/story/2009/06/u-s-energy-secretary-steven-chus-address-at-harvards-afternoon-exercises/>, 16.05.2010.
- [16] European Comission. Towards smart power networks - lessons learned from european research FP5 projects. Rapport, EU, 2005.
- [17] DISPOWER Consortium. Dispower - distributed generation with high penetration of renewable energy sources. http://www.iset.uni-kassel.de/dispower_static/, 24.05.2010.
- [18] Smarthouse-Smartgrid Consortium. Smarthouse/smartgrid. <http://www.smarthouse-smartgrid.eu/>, 24.05.2010.
- [19] The OPEN meter Consortium. Description of state-of-the-art communication protocols and data structures. Rapport, The OPEN meter Consortium, 2009.
- [20] W.C. Craig. Zigbee: Wireless control that simply works. *ZigBee Alliance*, 2004.
- [21] S. Darby. Making it obvious: designing feedback into energy consumption. I *Proceedings, 2nd International Conference on Energy Efficiency in Household Appliances and Lighting. Italian Association of Energy Economists/EC-SAVE programme*, 2001.
- [22] S. Darby. The effectiveness of feedback on energy consumption. 2006.

- [23] G. Deconinck. An evaluation of two-way communication means for advanced metering in Flanders (Belgium). I *Proceedings of the IEEE Int. Conf. on Instrumentation and Measurement Technology (I2MTC 2008)*, Victoria, Vancouver Island, Canada, side 900–905, 2008.
- [24] Svein Inge Djursvoll. Interessefellesskapet for energiverka i regionen status og strategi AMS. Rapport, IFER, 2009.
- [25] Svein Inge Djursvoll. Vurdering av konsept for nettselskapenes avregningsansvar. Rapport, EnergiNorge, 2010.
- [26] Econ. Nye måleteknologier. Rapport, NVE, 2007.
- [27] Econ og Nexia. Bredbånd 2.0 - status og utvikling mot 2015. Rapport, Fornyings- og administrasjonsdepartementet, 2009.
- [28] Federal Ministry of Economics og Technology. E-energy - ict-based energy systems for the future. Rapport, Federal Ministry of Economics and Technology, 2008.
- [29] Systemstøtte for Ediel / Norsk Ediel Ekspertgruppe. Norsk ediel-standard brukerveiledning. Rapport, Systemstøtte for Ediel / Norsk Ediel Ekspertgruppe, 2010.
- [30] Ember. Ember hjemmeside. http://www.ember.com/products_zigbee_software.html, 11.05.2010.
- [31] ENDESA. Andalusia's regional government and endesa present smartcity, a pioneering energy-saving project to receive euro 31 million in investment. http://www.endesa.es/Portal/en/press/press_releases/our_companies/endesa/2009/090708+smartcity.htm, 15.03.2010.
- [32] Trondheim Energi. Innkjøpspris med returrett. http://www.trondheimenergi.no/strom/kraftprodukt_fastpris_returrett.asp, 28.05.2010.

- [33] Olje- og Energidepartementet. 4.1.3 Energilov, konkurranselovgivning og kraftmarked. <http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/dok/NOU-er/2004/NOU-2004-26/5/1/3.html?id=388546>, 26.05.2010.
- [34] Olje- og Energidepartementet. Fakta 2008- energi og vannressurser i Norge. Rapport, OED, 2008.
- [35] Norges vassdrag-og energidirektorat. Avanserte Måle- og Styringsystem (AMS). Rapport, NVE, 2009.
- [36] Heritage Department of the Environment Water og the Arts. National energy efficiency initiative smart grid, smart city. <http://www.environment.gov.au/smartgrid/>, 16.03.2010.
- [37] Smartgrids Europe. European technology platform for the electricity networks of the future. <http://www.smartgrids.eu/>, 17.03.2010.
- [38] Livgard Eva Fossby. AMS:tidspunkt for ferdigstillelse nærmer seg, men hva mener forbrukerne? Rapport, TNS Gallup, 2009.
- [39] A. Faruqui, S. Sergici og A. Sharif. The impact of informational feedback on energy consumption—A survey of the experimental evidence. *Energy*, 2009.
- [40] D. Fink og R.J. Jeung. Feasible connectivity solutions of PLC for rural and remote areas. *IEEE xplore*, 2008.
- [41] C. Fischer. Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy? *Energy Efficiency*, 1(1):79–104, 2008.
- [42] FP7. G4v - grid 4 vehicles. <http://www.g4v.eu/>, 23.05.2010.
- [43] Jørgen Franck. *Z-Wave Protocol Overview*, 2006.
- [44] Office of Gas og Electricity Markets. Domestic metering innovation - next steps. Rapport, OFGEM, 2006.
- [45] Pacific Gas og Electric Company. Electric schedule e-6. <http://www.pge.com/tariffs/ERS.SHTML#ERS>, 14.05.2010.

- [46] T. Goodspeed, D.R. Highfill og B.A. Singletary. Low-level design vulnerabilities in wireless control systems hardware. I *Proceedings of the SCADA Security Scientific Symposium*, side 3–1, 2009.
- [47] Ove S. Grande, Hanne Sæle og Ingeborg Graabak. Market based demand response research prjobject summary. Rapport, Sintef Energiforskning AS, 2008.
- [48] Ove.S. Grande og H. Sæle. Market based solutions for increased flexibility in electricity consumption. *Market Design*, side 7–8, 2005.
- [49] Gridwise. Gridwise hjemmeside. <http://www.gridwiseac.org/>, 17.03.2010.
- [50] Bjørn Grinden og Nicolai Feilberg. Analysis of monitoring campaign in norway. Rapport, RECMODECE Project.
- [51] Lucid Design Group. Dashboard. <http://www.luciddesigngroup.com>, 26.04.2010.
- [52] The Smart Grid Interoperability Panel Cyber Security Working Group. Smart grid cyber security strategy and requirements. Rapport, NIST, 2010.
- [53] Abhay Gupta og Michael R. Tennefoss. Radio frequency control networking: Why poor reliability today hampers what could be a viable technology in the future. Rapport, Echelon Corporation, 2005.
- [54] D.J. Hammerstrom, J. Brous, D.P. Chassin, G.R. Horst, R. Kajfasz, P. Michie, T.V. Oliver, T.A. Carlon, C. Eustis, O.M. Jarvegren et al. Pacific Northwest GridWise Testbed Demonstration Projects; Part II. Grid Friendly Appliance Project. Rapport, PNNL-17079, Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, WA (US), 2007.
- [55] Simon Harrison, Alastair Manson og Jason Brogden. Smart Metering Operational Framework Proposals and Options. Rapport, Energy Retail Association, 2007.

- [56] Wilmer Heck. Smart energy meter will not be compulsory. http://www.nrc.nl/international/article2207260.ece/Smart_energy_meter_will_not_be_compulsory, 23.05.2010.
- [57] Jeremy Hirsch. Performance of openstandard plc technologies on erdf distribution network. Rapport, ERDF, 2009.
- [58] ICS. Netherlands technical agreement - nta 8130. Rapport, ICS, 2007.
- [59] Aerodyno Inc. Wattvision hjemmeside. <http://www.wattvision.com>, 26.04.2010.
- [60] Agilewaves Inc. Energy monitoring system. <http://www.agilewaves.com/>, 26.04.2010.
- [61] Energy Inc. Alert me. <http://alertme.com/>, 26.04.2010.
- [62] Energy Inc. The energy detective. <http://www.theenergydetective.com>, 26.04.2010.
- [63] EnergyHub Inc. Energyhub hjemmeside. <http://www.energyhub.net/>, 26.04.2010.
- [64] Enernoc Inc. Enernoc hjemmeside. <http://www.enernoc.com/>, 27.05.2010.
- [65] Itron. Itron hjemmeside. <http://www.itron.com>, 11.05.2010.
- [66] Eirik Jørum, Jørn Bugge og Helle Grønli. Toveiskommunikasjon - status, muligheter og tiltak i norge. Rapport, ECGroup, 2006.
- [67] K-Smartgrid. K-smartgrid hjemmeside. <http://www.k-smartgrid.org/>, 11.05.2010.
- [68] W. Kempton og S.E. Letendre. Electric vehicles as a new power source for electric utilities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3):157–175, 1997.

- [69] W. Kempton og J. Tomic. Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy. *Journal of Power Sources*, 144(1):280–294, 2005.
- [70] P. Kinney. Zigbee technology: Wireless control that simply works. I *Communications Design Conference*, bind 2, 2003.
- [71] Geert Deconinck Klaas De Craemer. Analysis of state-of-the-art smart metering communication standards. Rapport, YRS - Leuven, 2010.
- [72] J.J. Lee, C.S. Hong, J.M. Kang og J.W.K. Hong. Power line communication network trial and management in Korea. *Int. J. Network Mgmt*, 16:443–457, 2006.
- [73] Onzo Ltd. Onzo hjemmeside. <http://onzo.com/>, 26.04.2010.
- [74] M-Bus. M-bus hjemmeside. <http://www.m-bus.com/>, 11.05.2010.
- [75] Gunn Oland Marit L. Fossdal. Om bruk av nye teknologier for måling og kommunikasjon. Rapport, NVE, 2007.
- [76] T. Markel, K. Bennion, W. Kramer, J. Bryan og J. Giedd. Field Testing Plug-in Hybrid Electric Vehicles with Charge Control Technology in the Xcel Energy Territory. *Xcel Energy*, 2009.
- [77] Italia og Korea sammen med MEF partnere. Major economies forum on energy and climate. I *Technology Action Plan: Smart Grids Report to the Major Economies Forum on Energy and Climate*, 2009.
- [78] Andrei Z. Morch og Nicolai Feilberg. Dataformat og kvalitetskrav til måleverdikjeden. Rapport, SINTEF Energiforskning, 2006.
- [79] IDEA Consult nv. Evaluation of the european technology platforms. Rapport, European Technology Platform - Smartgrids Europe, 2008.
- [80] NVE. Enklere å levere overskuddskraft. <http://www.nve.no/no/Nyhetsarkiv-/Nyheter/Enklere-a-levere-overskuddskraft/>, 27.05.2010.

- [81] Asle Tjeldflåt Olav Kolbeinstveit. Nve-rapport 6-2006 - automatisk måleravlesning og toveiskommunikasjon, styringsinstrument eller avlesningsautomat? Rapport, NVE, 2006.
- [82] Beth Pariseau. Energy it sees smart-grid boom for data storage. http://searchstoragechannel.techtarget.com/news/article/0,289142,sid98_gci1355355,00.html, 16.05.2010.
- [83] PGE. V2g tariff. <http://www.pge.com/tariffs/ResTOUCurrent.xls>, 27.05.2010.
- [84] PNNL. The smart grid: An estimation of the energy and co2 benefits. Rapport, U.S Department of Energy, 2010.
- [85] Government of India Ministry of Power. India's energy prospects - reference scenario. Rapport, IEA, 2007.
- [86] Econ Pöyry. Utveksling av informasjon ved innføring av AMS. Rapport, NVE, 2010.
- [87] A. Rahman og P. Gburzynski. Hidden problems with the hidden node problem. I *Proceedings of 23rd Biennial Symposium on Communications*, side 270–273. Citeseer, 2006.
- [88] Michelle Dillon Ravi Sharma. Sweden boasts worlds first zigbee city. Rapport, ZigBee Consortium, 2007.
- [89] C. Reinisch, W. Kastner, G. Neugschwandtner og W. Granzer. Wireless technologies in home and building automation. I *Proc. 5th IEEE International Conference on Industrial Informatics INDIN2007, Prague*, side 93–98, 2007.
- [90] Stian Reite. Storskala AMS - en snarvei til smart grid". Rapport, Metor AS, 2009.
- [91] Directorate-General for Research. Vision and strategy for europe's electricity networks of the future. Rapport, European Commission, 2006.

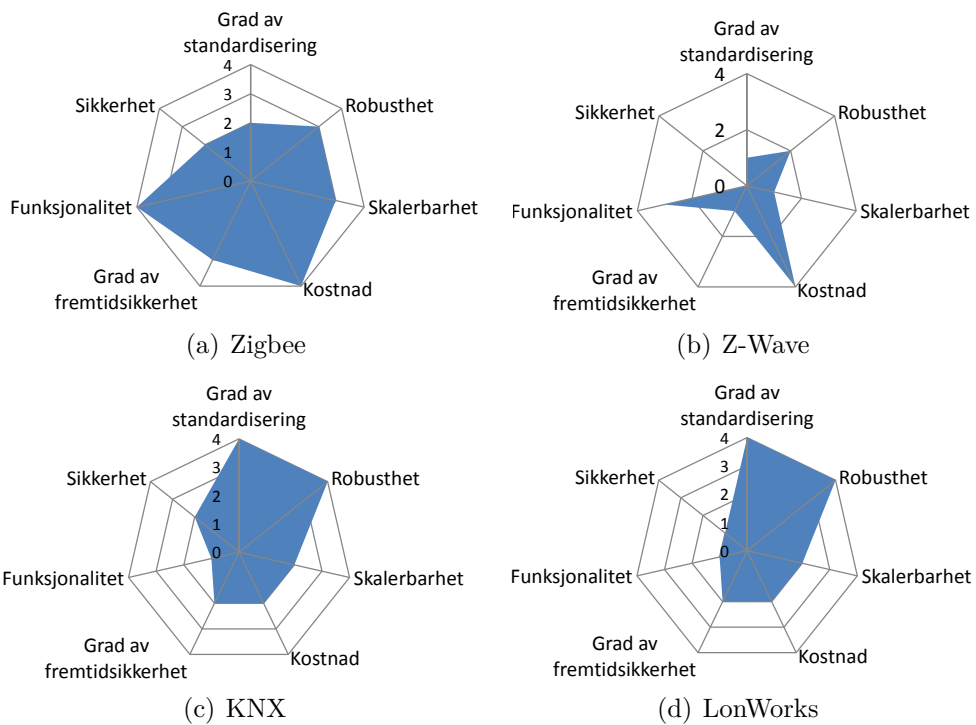
- [92] S Rogai. Telegestore Project Progresses and Results. I *ISPLC2007*, 2007.
- [93] CENELEC Central Secretariat. Standardization mandate to cen, cenelec and etsi in the field of measuring instruments for the development of an open architecture for utility meters involving communication protocols enabling interoperability m/441. Rapport, SM-CG, 2009.
- [94] O. Siddiqui. The green grid - energy savings and carbon emissions reductions enabled by a smart grid. Rapport, EPRI, 2008.
- [95] Skogberg. Skogberg.eu. <http://skogberg.eu/ia/protstack.php>, 12.05.2010.
- [96] Office of the National Coordinator for Smart Grid Interoperability. Nist framework and roadmap for smart grid interoperability standards, release 1.0. Rapport, NIST, 2010.
- [97] IEEE Computer Society. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs). *IEEE Computer Society*, 2007.
- [98] Gerd Solem, Gerard Doorman og Ove S. Grande. Nye produkter fra kraftselger til kunder med timemåling og belastningstyring. Rapport, SINTEF Energiforskning AS, 2003.
- [99] S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, KB Averyt, M. Tignor og HL Miller. IPCC, 2007: Summary for Policymakers. *Climate Change*, 2007.
- [100] SSB. Bredbånd via fiber og kabel-tv øker mest. <http://www.ssb.no/transport/>, 08.05.2010.
- [101] SSB. Bredbånd via fiber og kabel-tv øker mest. <http://www.ssb.no/vis/emner/10/03/ikthus/main.html>, 08.05.2010.

- [102] National Institute of Standards og Technology. Smart grid interoperability standards project. <http://www.nist.gov/smartgrid/>, 17.03.2010.
- [103] Tendril. Tendril hjemmeside. <http://www.tendrilinc.com/products/vision/>, 26.04.2010.
- [104] Energy Saving Trust. Feed-in tariff scheme. <http://www.energysavingtrust.org.uk/Generate-your-own-energy/Sell-your-own-energy/Feed-in-Tariff-Clean-Energy-Cashback-scheme>, 27.05.2010.
- [105] D. Von Dollen. Report to NIST on the smart grid interoperability standards roadmap. Rapport, Technical Report SB1341-09-CN-0031, Electric Power Research Institute (EPRI), 2009.
- [106] M. Webb et al. SMART 2020: Enabling the low carbon economy in the information age. *The Climate Group. London*, 2008.
- [107] H. Wilhite. Cultural aspects of consumption. I *European Science Foundation, Tackling Environmental Resource Management workshop, Lancaster University*, <http://www.lancs.ac.uk/fss/sociology/esf/papers.htm>, 1997.
- [108] H. Wilhite, A. Hoivik og J.G. Olsen. Advances in the use of consumption feedback information in energy billing: the experiences of a Norwegian energy utility. I *Proceedings, European Council for an Energy-Efficient Economy*, 1999.
- [109] D.G. Yoon, S.Y. Shin, W.H. Kwon og H.S. Park. Packet error rate analysis of IEEE 802.11 b under IEEE 802.15. 4 interference. I *Vehicular Technology Conference*, side 7–10, 2006.

Tillegg

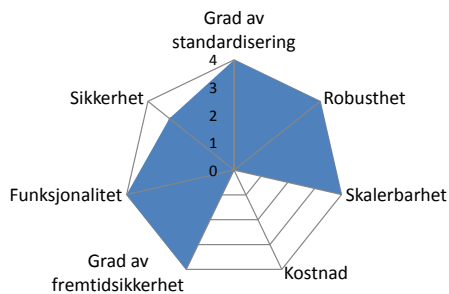
A Analyseresultater Smarthusteknologier

Vurderingene er basert på kategoriene fra 9 og er vektet fra 1 til 4 hvor 1 er dårligst og 4 er best. Grafene i seksjonene under gir en oversikt over hvor dekkende de ulike teknologiene er til bruk som deler av et kommunikasjons-system for et AMS-system.

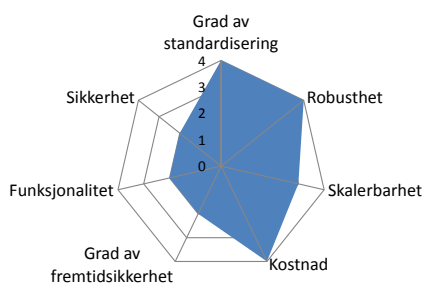


Figur A.1: Analyse av smarthusprotokoller

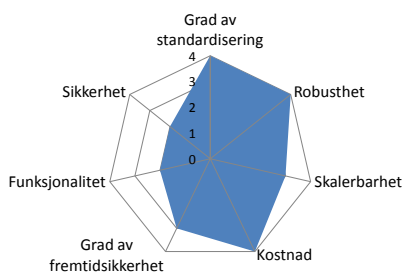
B Analyseresultater Transmisjonsmedium



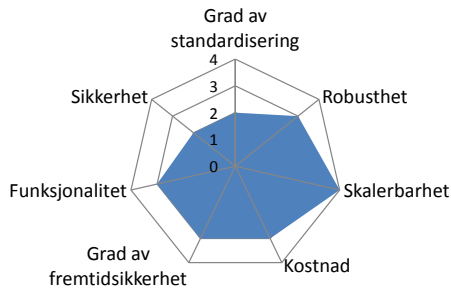
(a) Fiber analyse



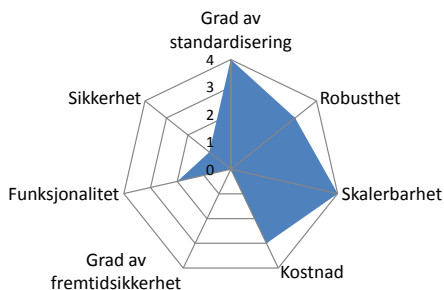
(b) xDSL analyse



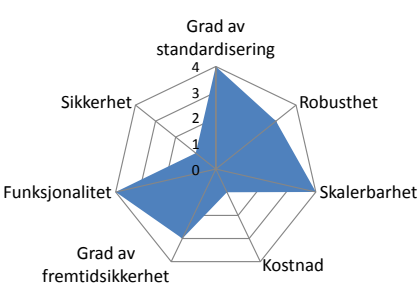
(c) Kabel-TV/HFC analyse



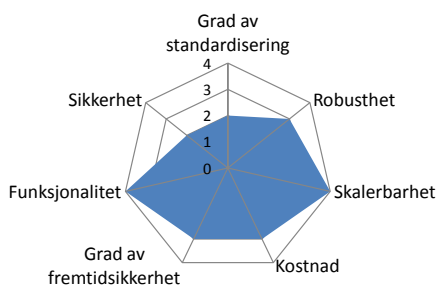
(d) PRIME analyse



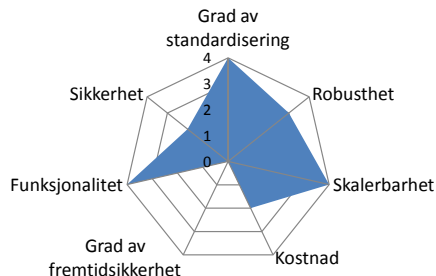
(e) IEC-61334 analyse



(f) IEEE 802.16/WiMax analyse



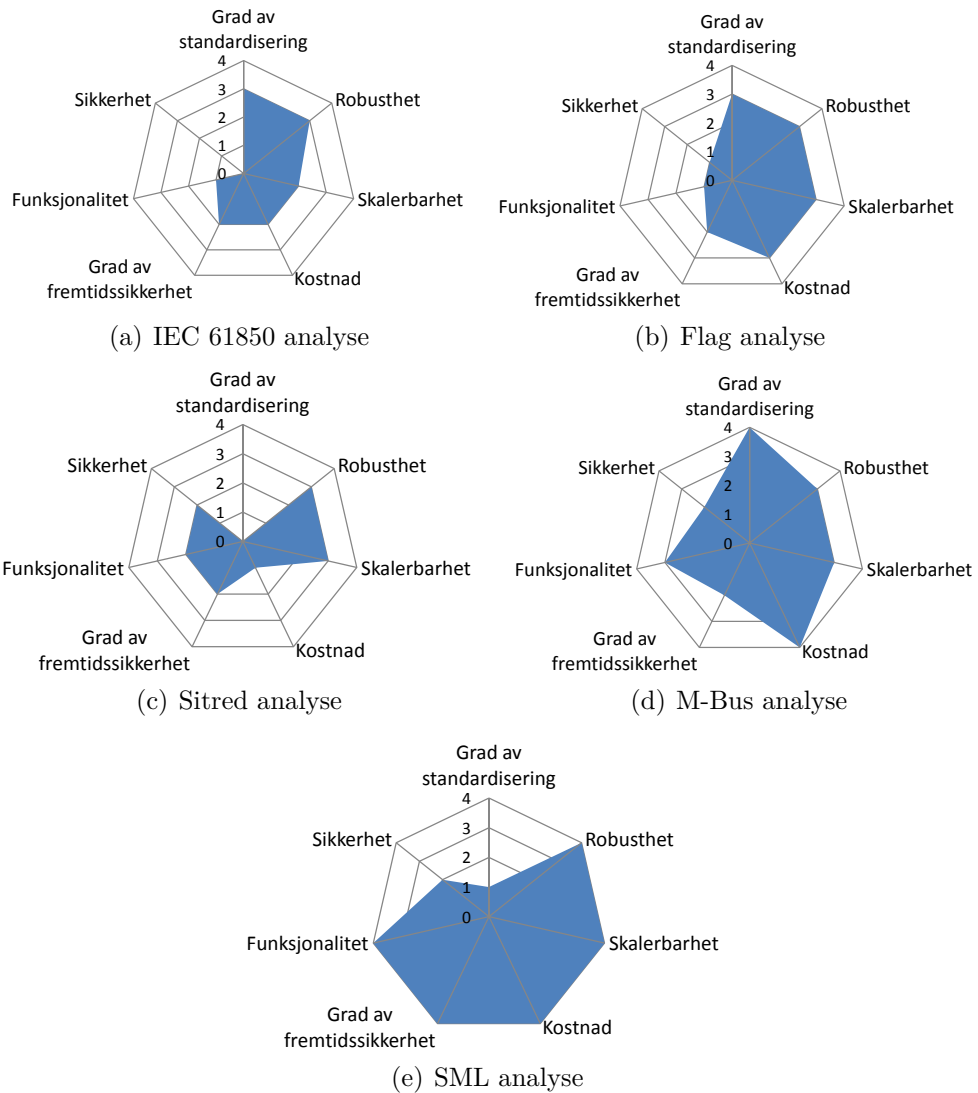
(g) RF analyse



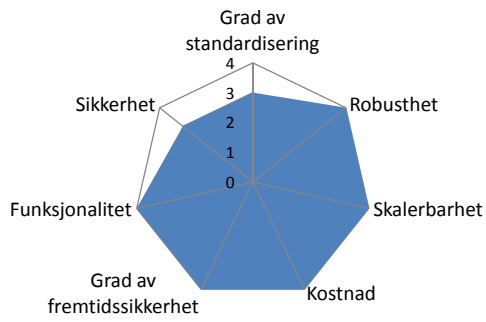
(h) GSM/UMTS/HSPA/LTE analyse

Figur B.2: Analyse av transmisjonsmedium

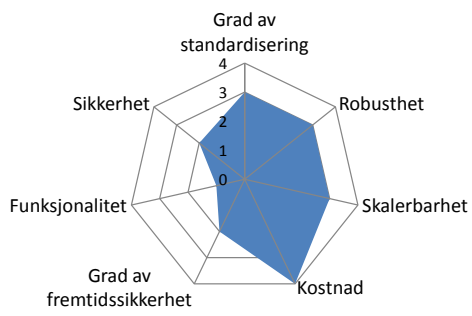
C Analyseresultater Dataformater



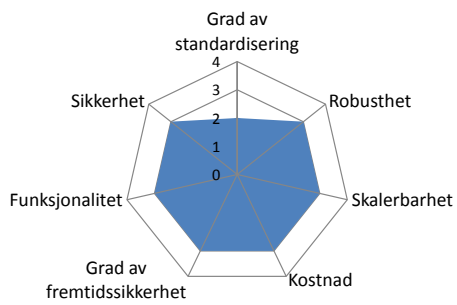
Figur C.3: Analyse av dataformater del I



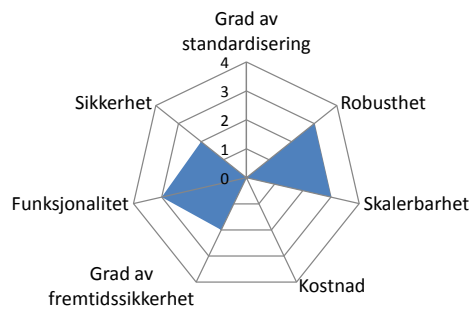
(a) DLMS/COSEM analyse



(b) Euridis analyse



(c) DPWS analyse



(d) ODEL/GS2 analyse

Figur C.4: Analyse av dataformater del II

D Bakgrunnsmateriale for radardiagrammer

Grensesnitt	Teknologi	Grad av standardisering	Robusthet	Skalerbarhet	Kostnad	Grad av fremtidsikkerhet	Funksjonalitet	Sikkerhet
Smartmåler til HAN	Zigbee	2	3	3	4	3	4	2
	Z-Wave	1	2	1	4	1	3	0
	LonWork	4	4	2	2	2	1	1
	KNX	4	4	2	2	2	1	2
Smartmåler til Nettselskap	Fiber	4	4	4	0	4	4	3
	xDSL	4	4	3	4	2	2	2
	Kabel-TV/HFC	4	4	3	4	3	2	2
	Prime	2	3	4	3	3	3	2
	IEC-61334	4	3	4	3	0	2	1
	IEEE 802.16/WiMax	4	3	4	1	3	2	1
	RF	2	3	4	3	3	4	2
	GSM/UMTS/HSPA/LTE	4	3	4	2	0	4	2

Tabell 1: Bakgrunnsmateriale for smarthusstandarder og kommunikasjonsmedium

Meldingsformater	Grad av standardisering	Robusthet	Skalerbarhet	Kostnad	Grad av fremtidsikkerhet	Funksjonalitet	Sikkerhet
IEC 61850	3	3	2	2	2	1	0
Flag	3	3	3	3	2	1	1
Sitred	0	3	3	1	2	2	2
M-Bus	4	3	3	4	2	3	2
SML	1	4	4	4	4	4	2
DLMS/COSEM	3	4	4	4	4	4	3
Euridis	3	3	3	4	2	1	2
DPWS	2	3	3	3	3	3	3
ODEL/GS2	0	3	3	0	2	3	0

Tabell 2: Bakgrunnsmateriale for datamodeller til AMS