NTNU
Det skapende universitet

Design av løsning for automatisk måleravlesning av strøm (AMS) basert på Wi-Fi

Per-Kristian Helland
Åshild Kaldahl Thorrud

Master i kommunikasjonsteknologi
Oppgaven levert: Juni 2011
Hovedveileder: Thomas Jelle, ITEM
Biveileder(e): Lars Kulseng, Trådløse Trondheim

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Problembeskrivelse

I løpet av 2016 skal alle norske husstander ha automatisk måleravlesing av strøm. Strømforbruket skal leses av automatisk hvert 15. minutt, i tillegg skal energileverandøren eller sluttbrukeren kunne spørre måleren i sanntid for å få et bilde av strømforbruket. Det krever en løsning med robust toveis kommunikasjon. 2/3 av alle hjem med bredbånd har trådløst bredbånd. Er det mulig å benytte eksisterende infrastruktur for AMS? Oppgaven skal kartlegge pros og cons ved å bruke WLAN som kommunikasjonskanal og en fullstendig løsning skal utvikles for å vise at dette er et konsept som kan fungere i praksis. Det er beregnet at det vil koste 10 milliarder å innføre AMS bare i Norge. Ved å bruke eksisterende infrastruktur tror vi det er mulig å redusere dette.

Oppgave gitt: 21.januar 2011
Faglærer: Thomas Jelle
Studenter: Åshild Kaldahl Thorrud, Per-Kristian Helland

Sammendrag

Avanserte måle- og styringssystemer (AMS) er et begrep brukt om systemene som skal være med på å fornye strømnettet. Automtisk måleravlesing av strøm er en av oppgavene systemene skal utføre, og dette skal gi muligheter for nye tjenester, mer effektiv drift, nøyaktig fakturering med mer.

Planen var å lage en løsning for automatisk strømavlesing som bruker Wi-Fi som kommunikasjonsmedium for å vise at dette er praktisk gjennomførbart. Vi har laget en løsning som henter, lagrer og viser informasjon om strømforbruk fra en strømmåler levert av Kamstrup. Kommunikasjonen skjer over internett med bruk av TCP/IP og benytter standarden DLMS/COSEM som applikasjonsprotokoll for uthenting av informasjon.

Vi har utviklet en løsning for et datainnsamlingssystem som kan håndtere mange strømmålere, samt en webløsning som prosesserer og viser relevant informasjon til en tenkt kunde.

Oppgaven inneholder en grundig gjennomgang av DLMS/COSEM generelt, hvordan kommunikasjonen fungerer, sikkerhetsmekanismene som finnes og eksempler på meldingsutvekslinger. Dessuten har vi vurdert fordeler og ulemper ved ulike alternativer for kommunikasjonsmedier til bruk i AMS.

Forord

Denne oppgaven ble skrevet som del av faget TTM4905 - Nett og tjenester med spesialisering i teleøkonomi. Oppgaven ble skrevet våren 2011 og er avslutningen på graden Master of Science i kommunikasjonsteknologi ved Institutt for telematikk på Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU).

Veiledere for dette prosjektet har vært Thomas Jelle og Lars Kulseng ved Trådløse Trondheim. Vi ønsker å takke disse to for å ha vært behjelpelige og støttende underveis i arbeidet.

Vi ønsker også å rette en takk til medstudent Eirik J. Daling som har vært behjelpelig med drift av vår felles webtjener og diverse tjenester vi har brukt på denne.

Åshild K. Thorrud og Per-Kristian Helland

Trondheim, 15. juni 2011

Tabeller

Figurer

Forkortelser

AA	Application Association
AAD	Additional Authenticated Data
AARE	Application Association Response
AARQ	Application Association Request
ADSL	Asyncrounous Digital Subscriber Line
AEEG	Autorità per l'energia elettriva e il gas
AES	Advanced Encryption Standard
AES-GCM	Advanced Encryption Standard Galois Counter Mode
AJAX	Asynchronous Javascript
AK	Authentication Key
AMR	Automatic Meter Reading
AMS	Avanserte måle- og styringssystem
AP	Application Process
APDU	Application Layer Protocol Data Unit
API	Application Programming Interface
ASN.1	Abstract Syntax Notation One
A-XDR	Adapted Extended Data Representation
CEER	Council of European Energy Regulators
CEN	European Committee of Standardization
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization

CIA	Confidentiality, Integrity and Availability
COSEM	Companion Specification for Energy Metering
DCS	Data Collection System
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DSL	Digital Subscriber Line
DLMS	Device Language Message Specification
DLMS UA	DLMS User Association
EK	Encryption Key
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
ERDF	Electricité Réseau Distribution France
ESO	European Standards Organization
ETSI	The European Telecommunications Standard Institute
EU	Den europeiske union
FAD	Fornyings- og administrasjonsdepartementet
FC	Frame Counter
FTTH	Fiber to the home
GCM	Galois Counter Mode
GMAC	Galois Message Authentication Code
GPRS	General Packet Radio Service
HDLC	High Level Data Link Control
HFC	Hybrid fibre-coaxial
HLS	High Level Security
HSPA	High Speed Packet Access
HTML	Hyper Text Markup Language
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
ISP	Internet Service Provider

IV	Initialization Vector
kWh	kilowattimer
LED	Light-emitting diode
LLS	Low Level Security
LN	Logical Name
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Control
MSC	Message Sequence Chart
M/441	Smart Metering Standardisation Mandate
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
OBIS	Object Identification System
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing
OSI	Open Systems Interconnection
PHP	PHP: Hypertext Preprocessor
PHY	Physical Layer
PLC	Power Line Communication
PDU	Protocol Data Unit
PRIME	Powerline Intelligent Metering Evolution
SC-AE	Security Control byte Authenticated Encryption
SIM	Subscriber Identity Module
SN	Short Name
SNR	Signal Noise Ratio
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
Wh	Wattimer
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network

WPA2 Wi-Fi Protected Access 2

WPDU Wrapper Protocol Data Unit

wPort wrapper Port

xDLMS Extended Device Language Message Specification

xDSL x Digital Subscriber Line

XML Extensible Markup Language

Innhold

1

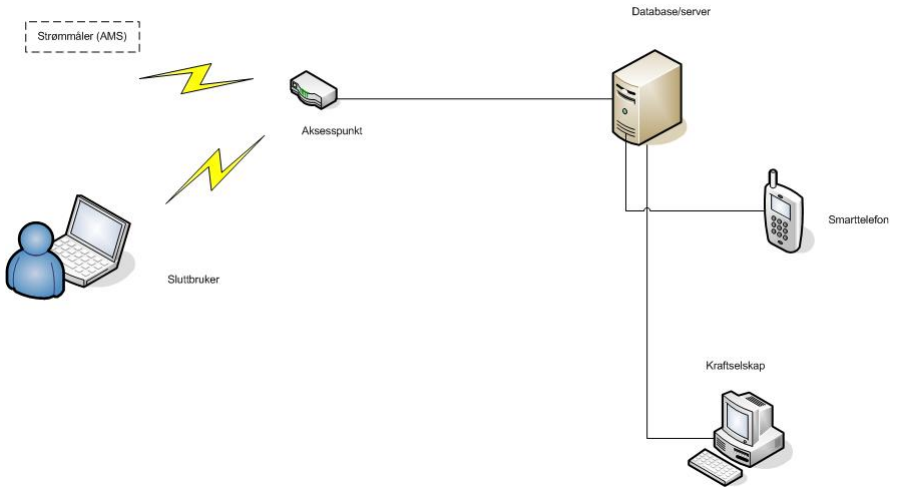
Introduksjon

Strømnettet slik vi kjenner det i dag er på vei til å forandres. I stedet for manuell avlesing av strøm og fakturaer basert på stipulert forbruk, skal AMS sørge for automatisk strømavlesing helst hvert 15. minutt, og regningene skal faktureres ut fra faktisk forbruk. Det skal være toveiskommunikasjon mellom måler og nettselskap. Strømselskapene skal ha tilgang til flere styrefunksjoner, blant annet bryterfunksjonalitet for alle målepunkter. Det skal også være muligheter for tilleggstjenester.

Norges tidligere olje- og energiminister Terje Riis-Johansen har framskyndet innføring av AMS i hele Norge til 2016, istedenfor 2018 som opprinnelig var planen. Det blir en kostbar prosess der alle gamle, mekaniske strømmålere må erstattes av målere basert på moderne teknologi. Disse målerne skal lese av forbruket (energi og effekt bl.a.) og sende dette automatisk til nettselskapet. Midt-Norge har blitt et satsningsområde der planen er at 80 % av alle husstander skal ha installert smart strømmåler innen utgangen av 2013. Med tanke på hvor få steder i Norge som har dette så langt, kan dette synes som en frisk satsning både teknologisk og logistisk. Det åpnes derfor for at Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) kan innvilge dispensasjon fra dette kravet hvis nettselskapene finner det svært vanskelig å etterleve. Midt-Norge er i forskriften [32] definert som Nord-Trøndelag, Sør-Trøndelag og Møre og Romsdal.

Det pågår store diskusjoner om hvilket transmisjonsmedium som skal brukes i en AMS-løsning. Vår oppgave går ut på å designe en løsning av AMS basert på Wi-Fi. Mer konkret skal vi implementere toveiskommunikasjon fra strømmåler til et datainnsamlingssystem/Data Collection System (DCS) og lagre nødvendig informasjon.

Vi skal også sørge for at informasjonen blir tilgjengelig for kundene og nettselskapene gjennom egnede kanaler. Vår plan er å lage en løsning der vi får lest av strømverdier hvert kvarter. Kommunikasjonen skal skje mellom en maskin vi kontrollerer og strømmåleren ved bruk av Device Language Message Specification (DLMS)/Companion Specification for Energy Metering (COSEM)-spesifikasjonen, og verdiene løsningen henter skal lagres i en database. Vi vil bruke internett som kommunikasjonskanal, og strømmåleren skal sende verdiene sine via Wi-Fi til et aksesspunkt, som sender informasjonen videre ved bruk av bredbånd. Vi skal bruke Transmission Control Protocol (TCP)/Internet Protocol (IP) som transportlag. Strømverdiene som hentes skal vises på en nettside vi skal lage for kunden, som kan leses både på en PC og på en smarttelefon. Et overordnet design av vår planlagte løsning er vist i figur 1.1.



Figur 1.1: Overordnet design av vår planlagte løsning

Vårt prosjekt utføres i samarbeid med Trådløse Trondheim. De har følgende krav til en AMS-løsning:

- Måleren skal ha en Wi-Fi-modul.
- Sikkerhetsmekansimen skal være Wi-Fi Protected Access 2 (WPA2).
- Måleren skal ha et programmeringsgrensesnitt/Application Programming Interface (API).
- Det skal være ende-til-ende-sikkerhet.

- Løsningen skal være NAT-traverserbar.
- Det skal være feilhåndtering med lokal lagring (på/ved måler) av data som ikke sendes.
- Skalerbarhet - måleren må støtte sending av data til flere klienter.
- Bruk av 3-fasemåler, evt. 1-fasemåler, men utbyttbar til 3-fasemåler.

Dette vil vi dermed prøve å ta hensyn til i vår løsning.

I det første kapittelet vil vi gå litt dypere inn på AMS og hva begrepet innebærer. Neste kapittel handler om DLMS/COSEM-spesifikasjonen, etterfulgt av et kapittel om sikkerhetsmekanismer som brukes i standarden. Deretter vil vi diskutere fordeler og ulemper ved forskjellige kommunikasjonsmedier som er aktuelle til bruk i AMS, før resultatene presenteres. Til slutt vil vi ha en diskusjonsdel og presentere våre konklusjoner.

2

Avanserte måle- og styringssystemer

2.1 Hva er AMS?

Avanserte måle- og styresystemer (AMS) er et samlebegrep innført av NVE for å beskrive det "nye" strømnettet som skal innføres i Norge, med tilhørende teknologi for automatisering av flere funksjoner som i dag gjøres manuelt, eller ikke finnes. Strømnettet skal transformeres fra et relativt sett "dumt" nett med kommunikasjon i én retning, til et intelligent styrt nett med informasjonsutveksling fram og tilbake fra nettselskap til kunde. I denne informasjonsutvekslingen er automatisk og hyppig avlesing av strømmålere en viktig del i startfasen. Overgangen til AMS vil muliggjøre mange nye tjenester som kan leveres over strømnettet og vil trolig føre til en omveltning for kraftbransjen. Visjonene bak AMS er mange. Noen av de vanligste er gjengitt nedenfor:

- Billigere og mer rettferdig avregning for forbrukere
- Raskere oppdagelse av feil i strømnettet
- Redusert strømforbruk som resultat av mer informerte forbrukere, f.eks gjennom sanntidspriser og informasjon om eget forbruk
- Flytting av forbruk
- Reduksjon av effekttopper
- Målrettet energisparing

- Nødvendig betingelse for og første steg mot innføring av "smartgrid" som har mange positive effekter for effektiviseringen av strømforbruket

2.2 Målsetning med AMS

NVEs overordnede målsetting med AMS er å bidra til energilovens hovedmål om at produksjon, fordeling og bruk av energi skal skje på en samfunnsmessig rasjonell måte, samtidig som det blir tatt tilstrekkelig hensyn til alle parter som blir berørt. Et velfungerende kraftmarked med et optimalt forbruk er viktig for å oppnå energilovens hovedmål.

Omveltningen AMS vil føre med seg vil gi grunnlag for forandring av arbeidsprosessene innenfor nettvirksomheten. Når NVE forskriftsfester innføring av AMS betyr det at nyttevirkningene vurderes som høyere enn kostnadene ved fullskala utrulling av AMS [32].

Begrunnelsen for å innføre AMS er at slik teknologi gjør at nettselskapene kan utføre sine tjenester og oppfylle sine oppgaver mer effektivt og med høyere kvalitet enn i dag, og at AMS kan gjøre det mulig å tilby tilleggstjenester. Konkrete forbedringer ved innføring av AMS vil være at strømforbruket avleses automatisk og at faktureringer gjøres på bakgrunn av timeverdier og ikke stipulert forbruk. Hyppigere avlesninger fører til hyppigere faktureringer, samt enklere håndteringer av kundedata og mindre behov for kundeservice hos kraftselskapene [4]. Videre kan bytte av leverandør skje enklere og raskere, noe som fører til lavere kostnader ved et slikt bytte og mer konkurranse om strømkundene [4]. Det foregår nå et arbeid i EU med å utvikle standarder for AMS-utstyr.

2.3 Hovedoppgaver

Måle- og styringsfunksjonaliteten legger til rette for mange nye tjenester. De to hovedoppgavene er å effektivisere avregningen, samt å tilrettelegge for markedet. Når det gjelder effektivisering av avregningen innebærer det å konkretisere hvilke minstekrav som skal gjelde for hovedfunksjonaliteten til AMS, det vil si automatisk avlesning av strømforbruk, innsamling av data og avregning. Med tilrettelegging for markedet menes det at nettselskapene kan bli pålagt å tilrettelegge for at andre leverandører kan utføre visse typer tjenester. Det måle- og kommunikasjonsutstyret som installeres kan tilknyttes

eksternt utstyr som kan utføre tjenester utenom produksjon, omsetning, overføring og forbruk av elektrisk energi [32].

AMS-utstyrets basisfunksjon er å måle energi- og effektforbruket og oversende måledataene til nettselskapet. Det vil si at den grunnleggende kommunikasjonen knyttet til AMS-utstyret går mellom AMS-måleren og nettselskapet (AMS-kanalen). Det er ulike teknologier som kan benyttes når nettselskapene skal sette opp denne kommunikasjonen. Nettselskapet kan benytte eksisterende infrastruktur som fiber, Asyncrounous Digital Subscriber Line (ADSL) eller andre aksessteknologier for tilkobling til internett. Disse kanalene kan sikres ved hjelp av kryptering og autentisering. Ellers kan nettselskapene sette opp egne kanaler som General Packet Radio Service (GPRS) eller PLC. Disse kanalene må være IP-baserte for å kunne oppfylle kravene til NVE [4].

Tredjepartstilgang og et utvidet tjenestetilbud kan øke den samfunnsmessige nytten ved innføring av AMS [4], men fører til økt bruk av kommunikasjonskanalene. Ulike tilleggstjenester vil ha ulikt krav til båndbredde. For å kunne tilby alle typer tilleggstjenester, må AMS-utstyret kunne kommunisere med annet utstyr i bygget/boligen. I tillegg må måledata eller andre data sendes til tredjeparter og tjenesteleverandøren må kunne kommunisere med sluttbruker. En tilleggstjeneste kan være at sluttbrukeren kan se sanntidsdata av strømforbruket på et display inne i boligen.

Nettselskapene har til hensikt å legge til rette for at sluttbrukerne skal få se gode måledata slik at det kan bidra til å redusere effekttopper og øke sluttbrukers prisfølsomhet. Thema Consulting Group skriver i sin rapport utarbeidet for NVE [4] at de er usikre på om disse hensiktene er nok til å utløse tilleggstjenester. De vurderer økonomiske virkemidler som lite treffsikre dersom de ønskede tilleggstjenestene skal realiseres. De mener derfor at påbud av tilleggstjenester er best egnet.

Thema Consulting Group [4] skriver videre at tilgang på måledata, både historiske data og sanntidsdata, har stor betydning for å realisere nytteeffekten av AMS knyttet til bevisstgjøring av sluttbruker, energisparing og mulighet til å begrense effekttopper. For at sluttbrukeren kan få denne tilgangen må det kunne kobles på en kommunikasjonsmodul på AMS-utstyrets grensesnitt slik at data kan hentes direkte fra måler. Thema Consulting Group [4] foreslår at display ikke skal være obligatorisk ved installasjon av AMS-utstyr. Det er fordi det finnes mange andre løsninger for sluttbrukeren å lese sanntidsdata på, det være seg mobiltelefoner, PC-er, nettbrett o.l.

2.4 Funksjoner og oppgaver

For å produsere de tjenester og løse de oppgaver som er forutsatt må AMS-utsyret oppfylle en rekke funksjonskrav. NVEs tilnærming er både å vurdere hvilke oppgaver AMS-utstyret skal utføre, og sette konkrete tekniske krav til utstyret. I tillegg vurderes krav til hvilke tjenester nettselskapene skal kunne tilby sluttbruker, kraftleverandører og andre energitjenesteleverandører [32].

Siden 2007 har en rekke krav og oppgaver til AMS blitt vurdert og sendt på høring. Under følger en oversikt over alle disse kravene og oppgavene som enten er bestemt eller under vurdering [32].

- *Tidsoppløsning*: Data skal minumum kunne registreres og lagres hvert 60. minutt i den enkelte kundes måler fram til det sendes til nettselskapets innsamlingssentral. NVE synes det er viktig at kundene kan være aktive både på spotmarkedet og i balansemarkedet. For å være aktiv på spotmarkedet holder det med en registreringsfrekvens på 60 minutter. Skal kunden derimot være aktiv i balansemarkedet kan det være behov for en registreringsfrekvens på 15 minutter. Derfor er det bestemt at alle nye målersystem som installeres skal kunne registrere og lagre måleverdier hvert kvarter. Hvis ikke registreringsfrekvensen kan justeres på en enkel måte, skal den settes til 15 minutter når AMS installeres.
- *Momentan avlesing*: Det skal være mulighet for momentan avlesning. Derfor må det være en toveiskommunikasjon mellom nettselskap og måler, slik at nettselskapet kan hente inn målerverdier når som helst.
- *Lagring av data*: Data skal kunne lagres i måleren fram til overføring til nettselskapers sentral. Dette skal også sikres dersom det er avbrudd i strømforsyningen.
- *Overføring av data*: Data fra kunden skal overføres til nettselskapet hver dag, og fakturering skal skje etter de til enhver tid gjeldende krav. Måleverdier skal være tilgjengelig for sluttbrukere og kraftleverandører innen kl. 0900 neste dag.
- *Måling av lokal produksjon*: Det vil bli et krav om at måleren skal kunne måle lokal produksjon av strøm som mates ut på nettet. Dette skal skje uten ekstra kostnad for brukeren. Lokal produksjon kan være overskudd fra solceller, vindmøller, lokalprodusert vannkraft e.l.
- *Tilkobling av tilleggsutstyr*: AMS-utstyret skal kunne tilkobles eksternt utstyr.

- *Distribusjon av informasjon til kundene*: Sluttbruker skal få tilgang på måledata via Internett eller SMS. Videre skal kunden få tilgang til måledataene slik de selv ønsker det. Hvis det er en ekstra kostnad for nettselskapene å tilby å vise måledataene slik kunden ønsker det, for eksempel på et display, skal kunden selv betale for det.
- *Sikkerhet*: Det er et krav om åpne grensesnitt slik at tilleggsfunksjoner kan installeres, men sikkerheten må være tilstrekkelig nok til at måledata ikke kan misbrukes og manipuleres.
- *Bryterfunksjonalitet*: NVE vil foreslå å forskriftsfeste at AMS skal ha en bryterfunksjon. Med en bryterfunksjon kan nettselskapene styre lastuttaket i det enkelte målepunkt eller strupe all bruk. Dette kan komme til nytte hvis kunden trenger å få sine effekt- og energiuttak begrenset. Dette kan være i knapphetssituasjoner der kunden trenger å få forbruket sitt rasjonert. NVE har vært usikker på kostnader og risiko ved en slik funksjon, men mye tyder på at en bryterfunksjon vil være en del av basisfunksjonaliteten som følge av M/441-utredningen, og dermed kunne inkluderes uten stor kostnadsøkning.

2.5 Status i kraftbransjen i Norge

25.-26. mai 2011 deltok vi på konferansen *AMS i Norge* arrangert av Energi Norge. Utifra dette har vi en del erfaringer fra og synspunkter om statusen rundt innføringen av AMS i Norge:

Skepsisen til Internett og rene IP-løsninger i kraftbransjen er overraskende stor. Det virker som om dette er "upløyd mark" og at det eneste som vurderes er GPRS, PLC eller til nød 3G. Muligens skyldes dette at aktørene som deltok på konferansen [9] ikke omfattet de største fiberaktørene som naturlig vil forsøke å satse på implementasjoner basert på internett som kommunikasjonsmedium (les: Lyse og Hafslund).

Kraftbransjen er fremdeles i startgropa hva gjelder utvikling av løsninger for AMS. De venter blant annet på den fulle utredningen fra NVE som skal komme innen juli 2011. Med tanke på hvor mange endringer som har kommet fra NVE og Olje- og energidepartmentet de siste to-tre årene er det heller ikke rart at man venter med å trekke konklusjoner og velge løsninger, siden det raskt kan føre til betydelige merkostnader.

Så langt ser det ikke ut som om det er mange aktører som har begynt med praktiske piloter for å teste ut ulike løsninger. De fleste er riktignok i kontinuerlig dialog

med utstyrsleverandører og har folk som jobber med planleggingen av den kommende utrullingen. Det samarbeides også med leverandører av løsninger for IT-arkitektur og IT-integrasjon, en del av utfordringen som utvilsomt blir viktig.

Nettselskapene vil nødig velge feil, og er selvsagt klar over at selv om innføringen av AMS representerer en stor mulighet til å lage nye, interessante tjenester finnes det også en potensielt stor nedside på grunn av høye kostnader og risiko for feil i systemene. Nettselskapene har allerede et litt "dårlig rykte" og bransjen er litt upopulær blant befolkningen generelt, på grunn av høye strømpriser og stedvise problemer med leveringen (Midt-Norge). Det siste bransjen trenger er kostnader fra et produkt som kundene synes har begrenset eller ingen verdi. Å kommunisere et klart budskap om hva som leveres og hvilken verdi dette har for så vel kunde som nettselskap vil derfor være av betydning for hvor vellykket gjennomføringen vil være.

2.6 AMS i Europa

Arbeidet med innføring av AMS er i ulike faser rundt om i Europa. I dette avsnittet gir vi en gjennomgang og vurdering av status i utrullingen og hvilke utfordringer aktører i bransjen står overfor.

2.6.1 Status i andre land

De fleste andre land i Europa har ikke utført fullskala utrulling av AMS enda. I Sverige og Italia er det plassert ut målere med toveiskommunikasjon, men det er imidlertid begrensninger på disse målerne med tanke på tilleggstjenester. I Finland skal de ha AMS-målere i 80 % av alle hjem i løpet av 2013, og det finske systemet vil i større grad legge til rette for tilleggstjenester. I forbindelse med det store "OPEN meter"-prosjektet er det igangsatt noen pilotprosjekter rundt om i Europa [32].

2.6.2 Erfaringer fra Sverige

Erfaringene fra Sverige viser at implementeringen er teknisk vellykket, men at de kommer til å få problemer med å etterleve kravene som settes på grunn av tidlig adopsjon og dermed uheldige teknologivalg og løsninger. I tillegg har de hatt sin porsjon problemer med utrullingen, f.eks. med Telenors arbeid i Cinclus-prosjektet [19]. De opplever også

oftere og oftere at 2G-modemene eller Subscriber Identity Module (SIM)-kortene i dem slutter å fungere og trenger manuell feilretting, muligens et problem forsterket av det faktum at de fleste målere her er plassert utendørs i motsetning til i Norge.

I sin presentasjon på *AMS i Norge* [9], kom Jan Berglund fra Jämtkraft med klare oppfordringer om tidlig å planlegge og se på løsninger for IT-systemene og integrasjonene man uunngåelig må gjennomføre. Han sa at det gjelder å planlegge alt, få det testet i realistiske og praktiske piloter, samt følge opp og fikse alle problemer med kommunikasjonen så fort de oppdages. For å holde kostnadene lave er man helt nødt til å lage velfungerende systemer som unngår for mange tilfeller av nødvendig, manuell feilavretting. En måte å sørge for dette på, foreslo han, er å gjennomføre omfattende pilottesting fra starten - og da gjerne også prøve ut flere mulige, alternative kommunikasjonsmedier. På grunn av store stedsforskjeller, både rent topografisk og i tetthet av målere i et område, er det nemlig slik at avlesningssystemene oftest blir en hybrid av forskjellige kommunikasjonsløsninger, og da gjelder det å kjenne til styrkene og svakhetene til hver løsning og være klar over hvilke utfordringer som det er normalt å støte på. I tillegg bør IT-systemene være fleksible nok og tilstrekkelig løst koblet til måten kommunikasjonen foregår. På denne måten kan man både minimere investeringskostnadene ved at man velger den løsningen som passer best til det området man bygger ut, og driftskostnadene ved at man kjenner til svakheter og har gjort tiltak for å unngå "kjente feller" som ble avdekket under pilot-arbeidet.

2.6.3 Samordning av AMS

Arbeidet med å utvikle et regelverk for innføring av AMS i Norge har pågått i flere år. Dette gjelder også i flere andre europeiske land. Noen land har i større eller mindre grad innført AMS, der kommunikasjonsløsningene og standardiseringskravene i disse landene har vært individuelle. NVE har pekt på at en slik individuell tilpasning kan være til hinder for et felles internasjonalt kraftmarked [32].

I henhold til EUs visjon om et felles europeisk marked, er det avgjørende at de forskjellige AMS-løsningene kan samkjøres. Derfor pågår det nå et arbeid som prøver på dette. Det gjelder både prosjekter initiert eller finansiert av EU, slik som standardiseringsarbeidet M/441 og "OPEN meter"-prosjektet, og tiltak gjennom det europeiske regulatorsamarbeid, blant annet Council of European Energy Regulators (CEER). Så langt som mulig har NVE i sitt arbeid forsøkt å tilpasse endringer i forskriften

til de anbefalinger som er gjort [32].

2.6.4 EU-mandat M/441

For å sikre at AMS innføres i Europa har Den europeiske union (EU) satt 2020 som frist for at 80 % av alle husholdninger i alle land i EU skal ha installert AMS. EU har satt i gang et standardiseringsarbeid for å hindre monopol på AMS-utstyr [32]. Dette er gjort ved å gi et mandat til standardiseringsorganene European Committee of Standardization (CEN), European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC) og The European Telecommunications Standard Institute (ETSI), det såkalte EU-mandat M/441. Mandatet ble gitt ut i 2009 og består av to deler;

- Del 1 som omhandler krav til kommunikasjon og som opprinnelig skulle bli lagt fram for EU-kommisjonen innen 2010. Denne er ennå ikke offentliggjort, men foreløpige signaler er at man ikke har kommet til enighet om et interoperatibelt rammeverk [4].
- Del 2 som omhandler standardisering tilknyttet tilleggstjenester og som skal foreligge innen 3.kvartal 2011.

Også for Norge er det viktig å forholde seg til EU sine krav, fordi produktene på markedet vil være styrt av de krav som EU måtte sette. NVE ser det som veldig kostbart å utvikle særnorske løsninger [32].

2.7 Politikk

Innføringen av AMS vil som nevnt bli forskriftsfestet og kravene som settes er i bunn og grunn et resultat av aktiv politikk, både nasjonalt og internasjonalt. Derfor vil vi se på noen av de politiske aspektene ved AMS i dette avsnittet.

I tilbakemeldingene NVE har fått på høringsnotatet er det bred enighet om at forslaget om fremskynding av tidsfristen for implementering av AMS i Midt-Norge er dømt tli å bli en fiasko. Høyst sannsynlig vil det både være dumt, forhastet, dyrt og kanskje heller ikke mulig å gjennomføre rent praktisk. NVE skal derfor videreformidle dette til departementet [9], så får tiden vise hvor viktig det er for politikerne å vise handlekraft for å rydde opp i kraftproblematikken i denne landsdelen.

Mange mener innføringen av AMS stammer fra EUs 20/20/20 mål og forventningene til AMS som tiltak for energieffektivisering er høye. Erfaringene fra flere hold tyder

imidlertid på at AMS er et dårlig tiltak for energieffektivisering og ikke ser ut til å påvirke bruken av elektrisitet hos folk flest. Dette er altså erfaringene man har gjort seg både i Malvik [29] og i Sverige [9].

Likevel er AMS å anse som et første steg mot neste generasjons strømnett, såkalt "smart grid", hvor visjonene og håpene til AMS tas enda et steg videre. Håpet er at mange skal produsere sin egen elektrisitet og at vi over tid skal få så sofistikert lastdeling i strømnettet at kravene til ekstern strømproduksjon reduseres radikalt. Smarte nett er derfor en av nøkkelfaktorene når det diskuteres hvordan man skal nærme seg et karbonnøytralt og bærekraftig forbruk i EU og verden generelt.

Sett i et litt kortere tidsperspektiv, har man i Norden som mål å samkjøre kraftbørsene og skape et felles nordisk sluttbrukermarked innen 2015. Dette vil innebære at prisene harmoniseres mellom landene og at man kan kjøpe strømmen sin fra alle kraftleverandører som leverer i det nordiske markedet. I tillegg har EU som mål å etablere et felles europeisk engrosmarked for strøm slik at kraftprodusenter, kraftleverandører, større industriforetak og andre større aktører fritt kan kjøpe og selge kraft i konkurranse med tilsvarende aktører [21]. Dette er et naturlig steg videre på veien mot det frie europeiske markedet EU kjemper hardt for å innføre.

3

DLMS/COSEM

Standardisering av smarte målesystem har høy prioritet i hele verden. Selv om mange standarder allerede er på plass, må de integreres, identifiserte hull må fylles, nytt utstyr vurderes og nye teknologier adopteres. I Europa er denne oppgaven tatt opp i to store initativ: "OPEN meter"-prosjektet og Smart Metering Standardisation Mandate (M/441)-mandatet til EU-kommisjonen. "OPEN meter"-prosjektet samler 19 ledende leverandører og teknologiselskaper for å forme krav, se på eksisterende standarder og teknologier, utvikle nye teknologier, teste nye løsninger og foreslå standarder for europeisk standardisering. Planen er at dette prosjektet skal være ferdig i juni 2011.

DLMS User Association (DLMS UA) bidrar aktivt til både M/441- og "OPEN meter"-prosjektet, og DLMS/COSEM-spesifikasjonen. Denne er internasjonalt standardisert som IEC 62056 for strømmålere og EN 13757-1 for andre målere og har blitt valgt som hovedstandard for disse prosjektene [5].

Automatic Meter Reading (AMR) (som er forgjengeren til AMS) trenger universelle definisjoner og kommunikasjonsstandarder. DLMS/COSEM er et felles språk som gjør at kommunikasjonsenhetene kan forstå hverandre. DLMS/COSEM-spesifikasjonen spesifiserer en grensesnittmodell og kommunikasjonsprotokoller for utveksling av data med ulike typer måleutstyr.

DLMS står for "Device Language Message specification" og er i korte trekk en spesifikasjon av hvilke data som er tilgjengelige, og hvordan disse aksesseres. DLMS spesifiserer altså en grensesnittmodell som gir en oversikt over tilgjengelig funksjonalitet i en måler.

COSEM står for "COmpanion Specification for Energy Metering", og setter reglene, basert på eksisterende standarder, for datautveksling med målere. Kommunikasjonsprotokollene definerer hvordan en kan få tilgang til data og hvordan dataene blir transportert.

DLMS UA beskriver DLMS/COSEM som følgende [7]:

- En objektmodell for å se funksjonaliteten til måleren, slik det blir sett ved målerens grensesnitt.
- Et identifikasjonssystem for alle måledata.
- En meldingsmetode for å kommunisere med modellen og for å gjøre om informasjon til en serie med bytes.
- En transportmetode for å overføre informasjon mellom måleutstyret og datainnsamlingssystemet.

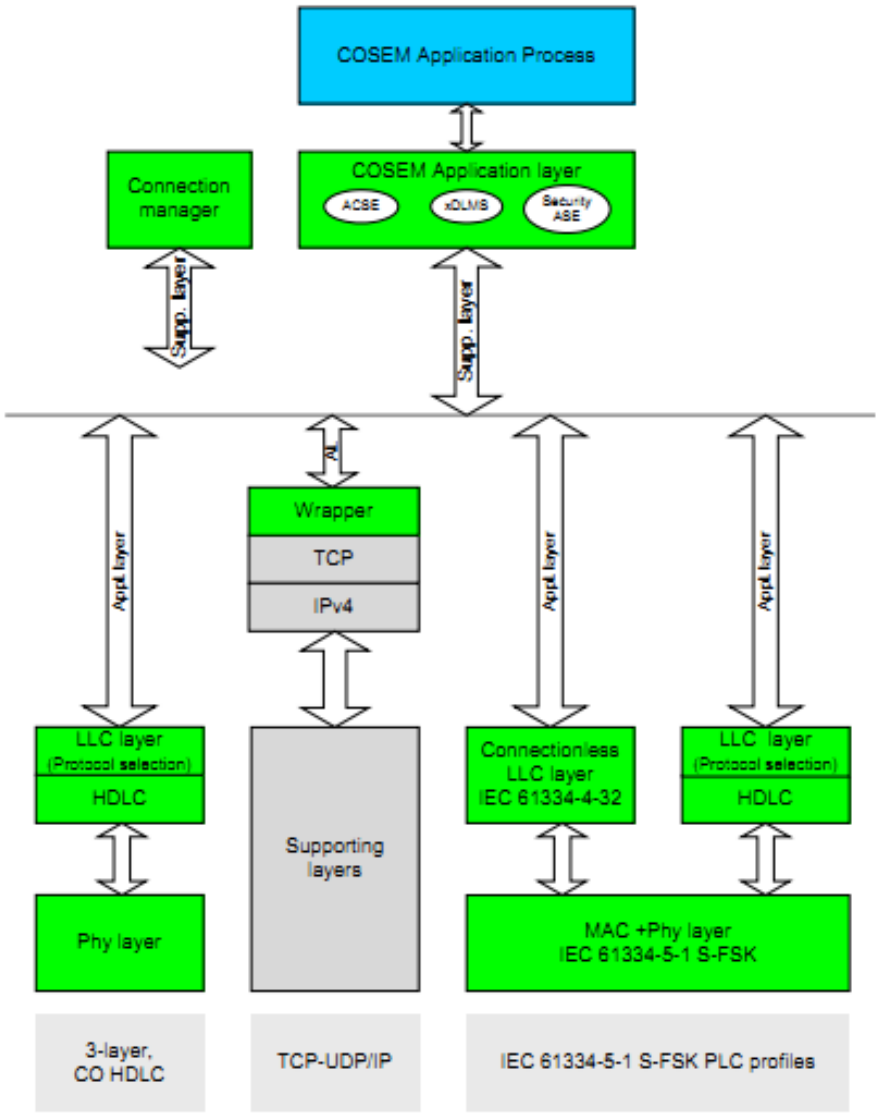
3.1 Modellering

All data på måleren blir "mappet" til objekter. Objektene har attributter og metoder, akkurat som i objektorientert programmering. Hvert attributt har en betydning, datatype, og en verdi. En metode utfører en bestemt operasjon på et attributt. Like objekter utgjør en "Interface Class" (IC), og hver IC har et spesifikt sett med attributter og metoder [3].

Hvilke data som kan hentes ut er identifisert av en samling verdier kalt "Object Identification System (OBIS)"-koder. Verdiene er organisert i seks grupper: *Medium*, *Channel*, *Quantity*, *Processing*, *Classification* og *Historical values*. Disse utgjør en OBIS-kode som eksempelvis kan se slik ut: 1.0.1.8.0.255. Sammen med IC og versjonsnummer identifiserer en OBIS-kode et objekt på måleren [3]. OBIS-verdier kan lastes ned fra DLMS sine nettsider [7].

3.2 Kommunikasjonsprofil

COSEM gir en overordnet beskrivelse av hva slags funksjonalitet og informasjon som finnes i en måler ved å tilgjengeliggjøre dette gjennom definerte metoder, attributter og grensesnitt for kommunikasjonen med målerne. En av de store fordelene med COSEM er kompatibiliteten den tilbyr med hensyn til hvilken kommunikasjonsprofil man ønsker å benytte.



Figur 3.1: Kommunikasjonsprofilen til COSEM [2]

Som man ser i figur 3.1 er det mulig å benytte alle typer av IP-, PLC-, eller andre typer trådløs eller kablet kommunikasjon. Dette er gjort mulig ved å ha et klart skille mellom applikasjonslaget og de underliggende lagene i protokollstakken, altså helt i samsvar med Open Systems Interconnection (OSI)-modellen. Videre følger en kort beskrivelse av de

ulike lagene:

3.2.1 COSEM applikasjonsprosess

Hver applikasjonsprosess er det logisk høyeste nivået av en instans av en måler. Hver fysiske måler kan bestå av mange logiske målere, eller applikasjonsprosesser, men må altså bare bestå av én.

3.2.2 COSEM applikasjonslag

I applikasjonslaget gjøres meldingshåndteringen, altså behandling av innkommende og utgående xDLMS-meldinger. I tillegg finnes funksjoner for å sette opp tilkoblinger mellom klient og tjener med dertil ønsket sikkerhet. Fra applikasjonens synspunkt er DCS-systemet normalt en klient som spør etter tjenester, og måleren en tjener som leverer de forespurte tjenestene [2]. Dette kan virke bakvendt siden en maskin kjører mange klienter og hver tjener oftest bare kommuniserer med en klient av gangen, men slik vil klient-tjener-forholdet beskrives i denne rapporten.

3.2.3 Kommunikasjonsbetjener

Som en annen del av applikasjonslaget finnes det oftest en kommunikasjonsbetjener, som sørger for å være mellomleddet når det skal settes opp tilkoblinger mellom målere og avlesningssystemet. Denne vil avhenge sterkt av det underliggende kommunikasjonsmediet og bør minimum tilby metoder som for eksempel "koble til", "koble fra" og "send data". Merk at dette er en ren kommunikasjonshåndterer og ikke der applikasjonslogikk eller sikkerhet er implementert.

3.2.4 Innkapslingslag

For å ha mulighet for å støtte flere logiske enheter i en og samme fysiske måler har man blitt nødt til å ta med et innkapslingslag over de mer spesifikke kommunikasjonsprotokollene. Det viktigste denne innkapslingen gjør er å tilegne hver logiske tilkobling eller prosess en port kalt wrapper Port (wPort) for å kunne skille mellom flere tilkoblinger gjort til samme port og adresse (for eksempel over TCP/IP).

3.2.5 Resten av kommunikasjonsprotokollene

Herfra og ned støtter man seg på protokoller som allerede finnes for kommunikasjonen slik som for eksempel TCP/IP, UDP/IP, IP over PLC, High Level Data Link Control (HDLC) over seriell kabel osv. Mulighetene er svært mange og det er opp til hver enkelt hva man finner hensiktsmessig å benytte seg av. I vårt tilfelle er planen å bruke TCP/IP som fungerer som et gjennomsiktig kommunikasjonslag sett fra applikasjonslaget og dermed gjør at informasjonen som sendes er helt uavhengig av hvordan informasjonsutvekslingen foregår logisk og fysisk.

Hvis IP brukes som nettverkslag i COSEM, identifiseres en fysisk COSEM-enhet ved IP-adresse og portnummer. Applikasjonslaget i COSEM lytter til en UDP- eller TCP-port, og de ulike logiske COSEM-enhetene i hver måler skilles fra hverandre ved bruk av wPort-nummer.

3.3 COSEM-transportlag for IPv4-nettverk

COSEM_on_IP-kommunikasjonsprofilene inneholder et forbindelsesløst og et forbindelsesorientert transportlag, som tilbyr tjenester til COSEMs applikasjonslag. Det forbindelsesløse transportlaget er basert på User Datagram Protocol (UDP) Internet standard STD0006. Det forbindelsesorienterte transportlaget er basert på TCP Internet standard STD0007 [2].

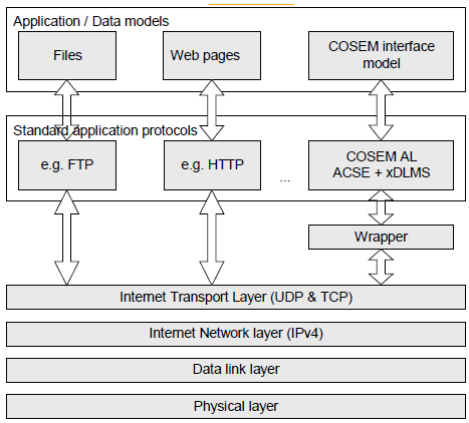
I COSEM_on_IP-profilene bruker applikasjonslaget (AL) til COSEM tjenestene fra en av disse transportlagene, som igjen bruker tjenester fra IP-nettverkslaget for å kommunisere med andre noder som er tilkoblet det abstrakte IPv4-nettverket [2].

Når COSEM AL blir brukt i disse profilene kan det bli betraktet som en vanlig internettstandard-applikasjonsprotokoll (som HTTP, FTP eller SNMP), som vist i figur 3.2.

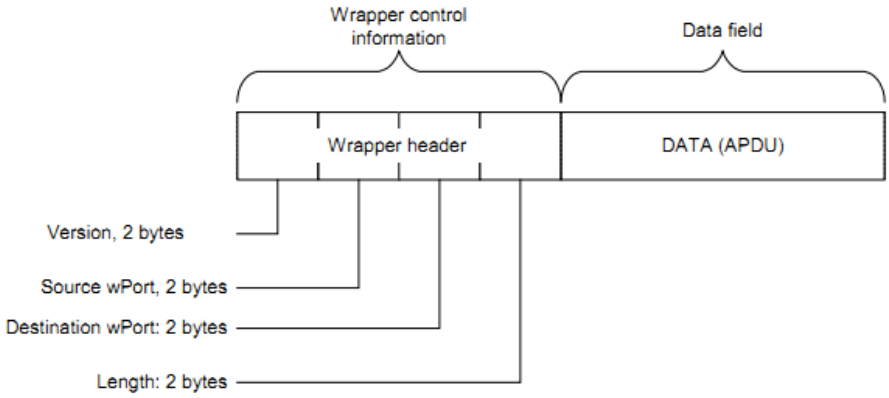
Hvis UDP skal benyttes som transportlag, følger transaksjonene den vanlige UDP-gangen, med unntak av at det legges til en "wrapper" foran dataene som blir sendt. Figur 3.3 viser hvilke felt denne "wrapperen" skal inneholde.

"Wrapperheaderen" inneholder fire felter der hvert felt er 16 bits lange:

- "Version": Dette er et nummer som viser versjonen til wrapperen som er brukt. Denne verdien fastsettes av DLMS UA. Per 2011 er verdien 0x0001.



Figur 3.2: COSEM som en standard internettprotokoll [2]

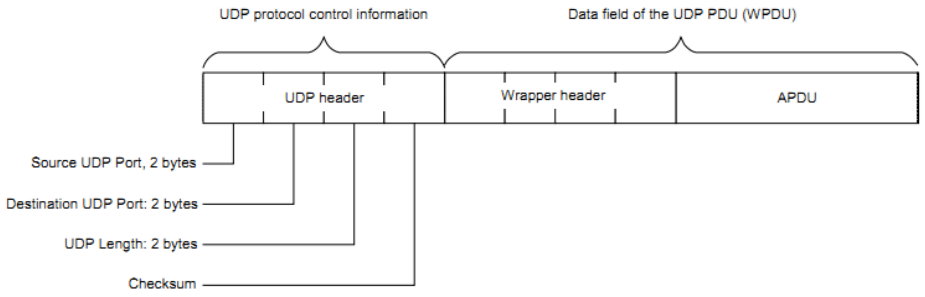


Figur 3.3: En WPDU [2]

- "Source wPort": Dette er wPort-nummeret til avsenderen.
- "Destination wPort": Dette er wPort-nummeret til mottakeren.
- "Data length": Dette er lengden av datafeltet (APDU-en) til WPDU-en.

I figur 3.4 vises PDU-en til det forbindelsesløse, UDP-baserte transportlaget (UDP-PDU) i COSEM.

En TCP-sesjon med DLMS/COSEM foregår på samme måte som en vanlig TCP-sesjon, med unntak av at datafeltet fylles med en WPDU ("wrapper" + APDU).



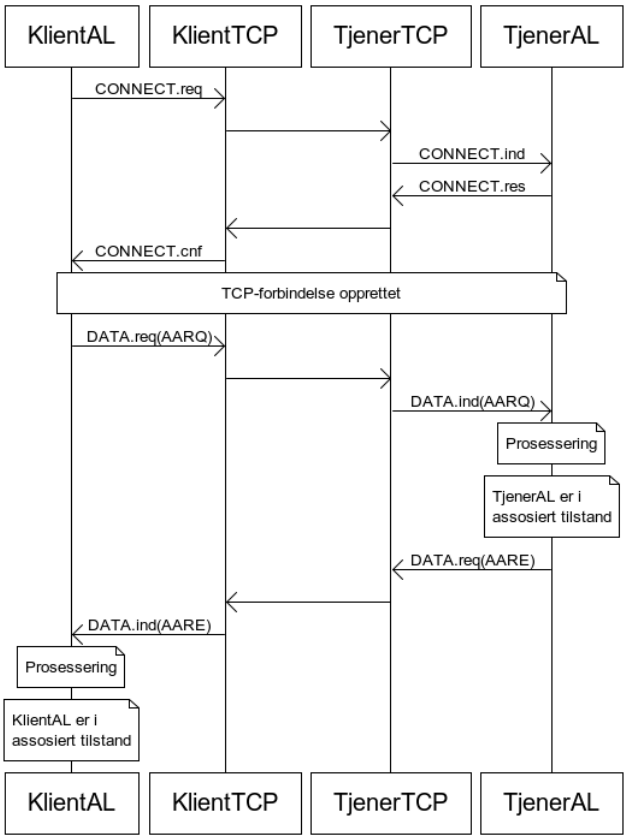
Figur 3.4: Pakkestrukturen til en PDU i COSEM som bruker UDP [2]

3.4 Hvordan kommunikasjonen foregår

Når et DCS, eller en annen klient, skal kommunisere med en måler må først den fysiske forbindelsen opprettes. For at klienten skal kunne hente data fra måleren etter at en fysisk forbindelse er opprettet, må en Application Association (AA) mellom disse etableres. Applikasjonsprosessen (AP) hos klienten forsøker å opprette en AA-forbindelse, mens tjenerens (her målerens) AP aksepterer forespørselen eller ikke. For at denne assosiasjonen kan opprettes må en tilkobling av de underliggende lagene opprettes, for eksempel en TCP-forbindelse [2]. Figur 3.5 er et Message Sequence Chart (MSC)-diagram som viser hvordan en AA opprettes.

AA-er kan etableres mellom en klient-AP og tjener-AP-er ved å bruke forskjellige applikasjonskontekster, autentiseringsmekanismer og xDLMS-kontekster, i tillegg til andre parametre. For eksempel kan en klient-AP etablere en AA med en tjener-AP der applikasjonskonteksten bruker Short Name (SN)-referering og en AA med en annen tjener-AP der applikasjonskonteksten er Logical Name (LN)-referering. Ved bruk av LN-referering blir objektene referert (adressert) ved det logiske navnet (OBIS-koden), mens ved SN-referering adresseres objektene ved hjelp av et unikt 16 bits heltall. Konteksten kan ikke velges av klienten. Den er satt av målerens produsent og er en karakteristikk av implementasjonen.

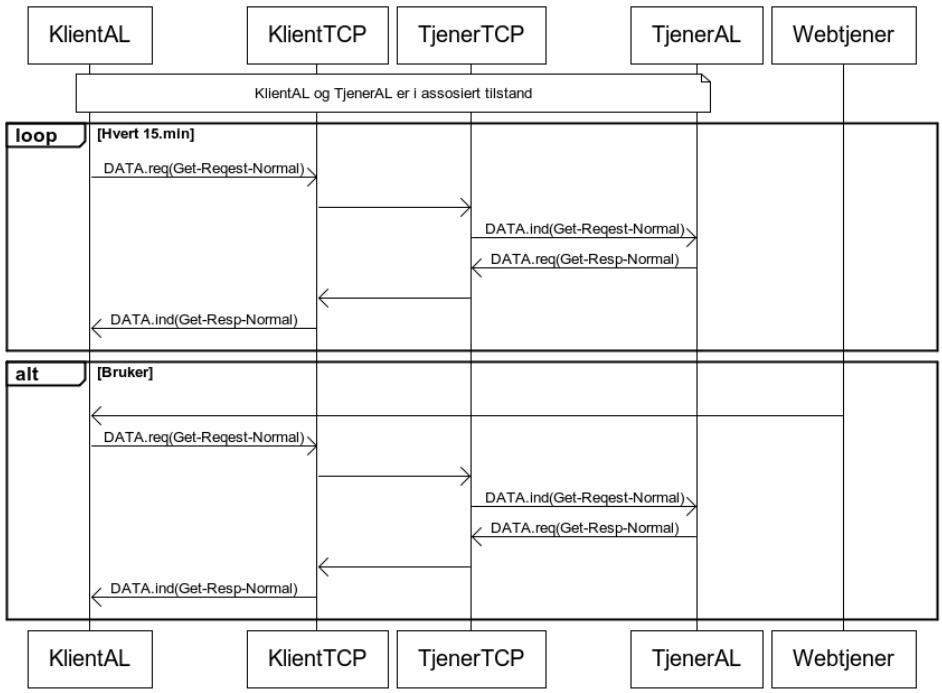
Hvis AA-en er vellykket, kan klienten sende forespørsler og få svar. Når klienten vil lese verdien til en eller flere COSEM-objekter brukes "GET"-tjenesten ved LN-referering, og "Read"-tjenesten ved SN-referering. Hvis klienten skal skrive data brukes "SET" i LN-kontekst, og "Write" i SN-kontekst [2].



Figur 3.5: MSC av en vellykket AA-opprettelse

Den kodede forespørselen kan ikke være lenger enn det tjener-AP-en aksepterer. Hvis forespørselen er for lang til å passe inn i én APDU brukes blokkoverføring [2].

Figur 3.6 viser et MSC-diagram av en bekreftet, vellykket "GET"-tjeneste, uten blokkoverføring. Forespørselen gjelder strømavlesning, og skal gjentas hvert 15. minutt. MSC-en viser også at bruker kan initiere tjenesten, for å lese av strømforbruket fra en nettside eller lignende.



Figur 3.6: MSC av GET-tjenesten

3.4.1 Eksempler på meldingsutvekslinger

I dette avsnittet vil det være mange eksempler på meldingsutvekslinger, skrevet i Extensible Markup Language (XML)-notasjon. Disse eksemplene er hentet fra Icube software sine hjemmesider om DSLM/COSEM [27], og vi har i tillegg brukt deres rammeverk og XML-meldinger i vårt arbeid.

Den fysiske enheten, måleren, støtter en eller flere kommunikasjonsprofiler. Foreløpig spesifiserer standarden to profiler: den 3-lags, forbindelsesorienterte HDLC-baserte profilen, og den TCP-UDP/IP-baserte profilen. Strømmåleren vi har brukt i vårt arbeid bruker den HDLC-baserte profilen, men kommunikasjonen mellom måleren og våre datamaskiner transporteres ved hjelp av TCP/IP. De tre lagene i den HDLC-baserte profilen er det fysiske laget, HDLC-laget og applikasjonslaget [27].

Etter å ha koblet til det fysiske laget og HDLC-laget, må applikasjonslaget kobles til. Dette er i OSI-terminologien en assosiasjonsforbindelse.

Alle forespørslene og deres korresponderende svar er definert i standarden ved bruk av "Abstract Syntax Notation One (ASN.1)"-notasjon. I "Icube software" [27] sine verktøy og bibliotek, som vi har brukt i vårt arbeid, er de spesifikke instansene av forespørsler og svar presentert i XML-notasjon, som i følgende:

```
<ReadRequest Qty="0001" >
  <ParameterisedAccess>
    <VariableName Value="60E8" />
    <Selector Value="01" />
    <Parameter>
      <Structure Qty="0004" >
        <Structure Qty="0004" >
          <LongUnsigned Value="0008" />
          <OctetString Value="0000010000FF" />
          <Integer Value="02" />
          <LongUnsigned Value="0000" />
        </Structure>
        <OctetString Value="07D8021DFF0C130DFF8000FF" />
        <OctetString Value="07D90A1DFF0B3622FF8000FF" />
        <Array Qty="0000" >
        </Array>
      </Structure>
    </Parameter>
  </ParameterisedAccess>
</ReadRequest>
```

Dette er et "ReadRequest"-element, og brukes for å lese informasjon fra SN-målere. En slik forespørsel sendes til en måler ved at XML-en først kodes om til en bytesekvens som kalles for en protokolldataenhet (PDU), i henhold til reglene som er spesifisert i standarden. Noen av detaljene bak kodingen av meldinger beskrives i avsnitt 3.4.2 på side 31. I vårt arbeid brukte vi xmlpdu-biblioteket til "Icube software" [27], som implementerer prosedyrer for koding og dekoding. Verdiene er alltid representert hexadesimalt.

Den kodede PDU-en til "ReadRequest"-meldingen ovenfor tilsvarer denne bytesekvensen: 05 01 04 60 E8 01 02 04 02 04 12 00 08 09 06 00 00 01 00 00 FF 0F 02 12 00 00 09 0C 07 D8 02 1D FF 0C 13 0D FF 80 00 FF 09 0C 07 D9 0A 1D FF 0B 36 22 FF 80 00 FF 01 00. Det er denne sekvensen som sendes til måleren [27].

Når det fysiske laget og HDLC-laget er koblet til, må som sagt en assosiasjonsforbindelse opprettes for at måler og klient skal kunne kommunisere. Den første forespørselen som må sendes for å etablere assosiasjonen er assosiasjonsforespørselen. For en LN-måler kan den se slik ut:

```
<AssociationRequest>
  <ApplicationContextName Value="LN" />
  <InitiateRequest>
    <ProposedDlmsVersionNumber Value="06" />
    <ProposedConformance>
      <ConformanceBit Name="Action" />
      <ConformanceBit Name="EventNotification" />
      <ConformanceBit Name="SelectiveAccess" />
      <ConformanceBit Name="Set" />
      <ConformanceBit Name="Get" />
      <ConformanceBit Name="BlockTransferWithAction" />
      <ConformanceBit Name="BlockTransferWithSet" />
      <ConformanceBit Name="BlockTransferWithGet" />
      <ConformanceBit Name="Attribute0SupportedWithGet" />
      <ConformanceBit Name="PriorityMgmtSupported" />
      <ConformanceBit Name="Attribute0SupportedWithSet" />
    </ProposedConformance>
    <ProposedMPduSize Value="FFFF" />
  </InitiateRequest>
</AssociationRequest>
```

Her sendes flere elementer. I "ProposedDlmsVersionNumber" skal versjonsnummeret til DLMS-protokollen stå. For tiden er versjonsnummeret seks. Elementet "ProposedConformance" inneholder en liste med etterspurte tjenester hos måleren. Hver tjeneste er representert ved et "ConformanceBit". "ProposedMaxPduSize" er størrelsen på den lengste PDU-en klienten har mulighet til å lagre. Verdien "FFFF" betyr "ingen grenser" [27]. Etter en assosiasjonsforespørsel er sendt mottas et svar fra måleren. I dette svaret står det om forespørselen aksepteres eller ikke. Hvis elementet "AssociationResult" har verdien 0, betyr det at assosiasjonen var vellykket. Er denne verdien imidlertid 1, betyr det at assosiasjonen mislyktes, og at måleren og klienten ikke opprettet en forbindelse. I tillegg inneholder assosiasjonssvaret mange av de samme elementene som forespørselen, blant annet alle tjenestene måleren aksepterte av de som ble forespurt i "ProposedConformance"-lista.

For å lese data fra en LN-måler må "GET"-tjenesten brukes. Ved bruk av "GET"-tjenesten sendes en "GetRequest", og den enkleste varianten av "GetRequest" er "GetRequestNormal". Et eksempel på den er:

```
<GetRequest>
  <GetRequestNormal>
    <InvokeIdAndPriority Value="C1" />
    <AttributeDescriptor>
      <ClassId Value="0003" />
      <InstanceId Value="0101010800FF" />
      <AttributeId Value="02" />
```

```
    </AttributeDescriptor>
  </GetRequestNormal>
</GetRequest>
```

Elementet "InvokeIdAndPriority" inneholder en byteverdi som viser hvilken prioritet forespørselen har, om forespørselen skal bekreftes, samt en verdi som identifiserer én gitt forespørsel. Eksempel: "InvokeIdAndPriority Value=C1". C1 = 1100 0001. Hvis vi nummererer bitene fra 7 til 0 fra venstre mot høyre, ser vi at bit nummer syv er 1, som betyr høy prioritet. Bit nummer seks er også 1 som betyr "Service class = Confirmed" mens bit 5 til 0 er 000001 som er en id for denne forespørselen som velges av klienten og kan gjenbrukes. Tjeneren svarer med samme "InvokeIdAndPriority" slik at man kan skille mellom ulike forespørsler.

"AttributeDescriptor" er en treelementstruktur som identifiserer objektinstansene og attributtet klienten vil lese:

- "ClassId" er klasseidentifikatoren til objektet klienten vil lese.
- "InstanceId" er det logiske navnet til dette objektet.
- "AttributeId" er attributtnummeret til attributtet klienten vil lese fra det gitte objektet.

Attributtnumrene finnes i *Blue Book* [3]. Klasseidentifikatoren og det logiske navnet på et ønsket objekt kan enten lastes ned fra DLMS sine hjemmesider [7] eller hentes fra objektlista, som er ei liste over alle objektene måleren har. For å hente denne objektlista må det spørres etter attributt 2 fra objekt 0.0.40.0.0.255, og klasseidentifikatoren er 15 (assosiasjon LN) [3]. Derfor ser "GetRequestNormal" for å lese objektlista slik ut:

```
<GetRequest>
  <GetRequestNormal>
    <InvokeIdAndPriority Value="C1" />
    <AttributeDescriptor>
      <ClassId Value="000E" />
      <InstanceId Value="0000280000FF" />
      <AttributeId Value="02" />
    </AttributeDescriptor>
  </GetRequestNormal>
</GetRequest>
```

Responsen er en "GetResponseNormal", som her:

```
<GetResponse>
  <GetResponsenormal>
    <InvokeIdAndPriority Value="C1" />
    <Result>
      <Data>
        <Array Qty="0002" >
          <Structure Qty="0004" >
            <LongUnsigned Value="0001" />
            <Unsigned Value="00" />
            <OctetString Value="00002A0000FF" />
            <Structure Qty="0002" >
              <Array Qty="0002" >
                <Structure Qty="0003" >
                  <Integer Value="01" />
                  <Enum Value="01" />
                  <NullData />
                </Structure>
                <Structure Qty="0003" >
                  <Integer Value="02" />
                  <Enum Value="01" />
                  <NullData />
                </Structure>
              </Array>
              <Array Qty="0000" >
              </Array>
            </Structure>
          </Structure>
          ....
        </Array>
      </Data>
    </Result>
  </GetResponsenormal>
</GetResponse>
```

Denne objektlista er veldig liten. Den viser bare ett element, men kan inneholde et vilkårlig antall. Hvert element beskriver en objektinstans ved å bruke en struktur på fire elementer. Mer forklaring om disse elementene kommer senere i dette avsnittet på side 30. Når måleren har mange objekter vil svaret på en forespørsel etter objektlista være en veldig lang PDU. Derfor vil måleren sende dataen i flere blokker i stedet for i en stor, enkel melding, gitt at måleren har mulighet til "BlockTransferWithGet" (som er listet i "NegotiatedConformance" til "AssociationResponse"). Denne egenskapen kalles "blokkoverføring" og er en datadelingsmekanisme som må støttes av applikasjonslaget.

Når en LN-måler mottar en "GetRequestNormal" (for eksempel for å lese objektlista) må den velge å svare med en "GetResponseNormal" eller den kan bytte til blokkoverføring

og svare med en "GetResponseWithDataBlock". Med blokkoverføring kan svaret se slik ut:

```
<GetResponse>
  <GetResponsewithDataBlock>
    <InvokeIdAndPriority Value="C1" />
    <Result>
      <LastBlock Value="00" />
      <BlockNumber Value="00000001" />
      <Result>
        <RawData Value="018201B3020412...6020002031601000100" />
      </Result>
    </Result>
  </GetResponsewithDataBlock>
</GetResponse>
```

Elementet "InvokeIdAndPriority" kan godt være det samme som i forespørselen. Det ytre resultatet ("Result") er en struktur på tre elementer:

- "LastBlock" er en boolsk verdi som indikerer om blokken er den siste i blokkoverføringen (00 = false).
- "BlockNumber" er en positiv verdi og er nummeret på blokken som sendes.
- "RawData" (det indre resultatet) er en oktettstreng som inneholder de første n bytene av dataene.

Etter å ha fått den første blokken må rådataene lagres, for eksempel i en tekststreng T. Den neste blokken etterspørres med en "GetRequestForNextDataBlock", som kan se slik ut:

```
<GetRequest>
  <GetRequestForNextDataBlock>
    <InvokeIdAndPriority Value="C1" />
    <BlockNumber Value="00000001" />
  </GetRequestForNextDataBlock>
</GetRequest>
```

"InvokeIdAndPriority" kan fortsatt være den samme og "BlockNumber" er nummeret på den siste blokken mottatt. Svaret på denne forespørselen er en ny "GetResponseWithDataBlock" ("BlockNumber" 2) og rådataene må konkateneres med T:

T := T + "RawData"

Prosessen må repeteres til den siste blokken er mottatt ("LastBlock" = true):

```
<GetResponse>
  <GetResponsewithDataBlock>
    <InvokeIdAndPriority Value="81" />
    <Result>
      <LastBlock Value="01" />
      <BlockNumber Value="00000006" />
      <Result>
        <RawData Value="02041200071...601000100" />
      </Result>
    </Result>
  </GetResponsewithDataBlock>
</GetResponse>
```

Rådataene må igjen konkateneres med dataene som er mottatt så langt.

T := T + "RawData"

T blir til slutt en veldig lang PDU. For å konvertere T til XML må T venstrekonkateneres med byte-verdien FF:

T := FF + T

og sendes til "PduToXml" hvis Icube sitt rammeverk brukes [27].

XML-meldingen man da får tilbake kan se slik ut:

```
<Data>
  <Array Qty="01B3" >
    ....
    <Structure Qty="0004" >
      <LongUnsigned Value="0003" />
      <Unsigned Value="00" />
      <OctetString Value="0101010800FF" />
      <Structure Qty="0002" >
        <Array Qty="0003" >
          <Structure Qty="0003" >
            <Integer Value="01" />
            <Enum Value="01" />
            <NullData />
          </Structure>
          <Structure Qty="0003" >
            <Integer Value="02" />
            <Enum Value="01" />
            <NullData />
          </Structure>
          <Structure Qty="0003" >
            <Integer Value="03" />
            <Enum Value="01" />
            <NullData />
          </Structure>
        </Array>
        <Array Qty="0000" >
```

```
          </Array>
        </Structure>
      </Structure>
      ....
    </Array>
</Data>
```

Informasjonen som til slutt mottas er en tabell med mange elementer. Det er et listeelement for hvert objekt. Hvert element har en struktur på fire elementer som beskriver objektet:

- Det første elementet (”LongUnsigned”) er klasseidentifikatoren
- Det andre elementet (”Unsigned”) er versjonsnummeret til klassen
- Det tredje elementet er det logiske navnet
- Det fjerde elementet lister tilgangsrettighetene til attributtene og metodene

Når parameterne er kjent, kan for eksempel en ”GetRequestNormal” sendes for å lese energiregisteret. Energiregisteret finnes i klasse 3, ”Register” og kan ha OBIS-koden 1.1.1.8.0.255. Attributt nummer 2 angir den enhetsløse verdien av registeret. Forespørselen vil da se slik ut:

```
<GetRequest>
  <GetRequestNormal>
    <InvokeIdAndPriority Value="C1" />
    <AttributeDescriptor>
      <ClassId Value="0003" />
      <InstanceId Value="0101010800FF" />
      <AttributeId Value="02" />
    </AttributeDescriptor>
  </GetRequestNormal>
</GetRequest>
```

Svaret kan se slik ut:

```
<GetResponse>
  <GetResponsenormal>
    <InvokeIdAndPriority Value="C1" />
    <Result>
      <Data>
        <DoubleLongUnsigned Value="000007D3" />
      </Data>
    </Result>
  </GetResponsenormal>
```

```
</GetResponse>
```

Dette betyr at energiregisteret har en verdi på 7D3 (hexadesimalt), som er 2003 desimalt. Skaleringen er ikke kjent og må derfor spørres etter for å regne om verdien til kilowattimer (kWh). Skaleringen til energiregisterobjektet finnes i attributt 3. Skaleringen kan dermed leses med en forespørsel lik den forrige "GetRequest"-forespørselen med "AttributeId" lik 3. Svaret på en slik forespørsel kan være:

```
<GetResponse>
  <GetResponsenormal>
    <InvokeIdAndPriority Value="C1" />
    <Result>
      <Data>
        <Structure Qty="0002" >
          <Integer Value="FE" />
          <Enum Value="1E" />
        </Structure>
      </Data>
    </Result>
  </GetResponsenormal>
</GetResponse>
```

FE er -2 i tos komplement desimalt. Det er dette som er skaleringen. Enumverdien forteller hvilken enhet verdien har, 1E er Wattimer (Wh). Det betyr at den aktive energien er:

Aktiv energi =

$$2003 \cdot 10^{-2} = 20.03Wh = 0.02003kWh$$

3.4.2 Koding av meldinger

Som sagt sendes meldingene som bytesekvenser, og ikke som XML-meldinger. Følgende viser et eksempel på uthenting av attributter fra L3-spenningsobjektet ved å bruke GET-tjenesten (LN), med en forklaring på hva de forskjellige bytene betyr. Meldingene er såkalt Adapted Extended Data Representation (A-XDR)-kodet.

Utgående beskjed: C00181 0003 0101480700FF 0100

C00181 – Dette betyr at det er en "Get.request normal", etterfulgt av "InvokeIdAndPriority"-verdien (81).

0003 – Dette betyr at "class_id" er 3, som er register-klassen.

0101480700FF – Dette står for logisk navn 1.1.72.7.0.255, som her er navnet til L3-spenningsobjektet.
0100 – Dette betyr at attributt 1 (logisk navn) skal hentes.

Innkommende beskjed: C40181 000906 0101480700FF
C40181 – Dette står for "Get.response normal", og hvilken "InvokeIdAndPriority"-verdi som brukes.
000906 – Dette er en oktettstreng med lengde 3 byte som blant annet forteller at dataene som kommer har lengde 6.
0101480700FF – Logisk navn 1.1.72.7.0.255.

Utgående beskjed: C00181 0003 0101480700FF 0200
Her er mye av det samme som første utgående beskjed, foruten at nå skal attributt 2, som representerer verdi, hentes.

Innkommende beskjed: C40181 000600000905
C40181 – Samme som første innkommende beskjed.
000600000905 – Dette betyr at "data double long unsigned" = 00000905 hexadesimalt, som tilsvarer 2309 desimalt.

Utgående beskjed: C00181 0003 0101480700FF 0300
Hent attributt 3, som er skaleringsenhet.

Innkommende beskjed: C40181 000202 0FFF 1623
C40181 – Samme som før.
000202 – Dataene som mottas er en liste med to elementer.
0FFF – Skaleringen er FF (-1 i tos komplement). Det betyr at verdien er

$$2309 \cdot 10^{-1} = 230,9$$

1623 – Enumverdien er 23, som betyr hvilken enhet det er. 23 hexadesimalt = 35 desimalt, og denne verdien representerer enheten Volt.

4

Valg av overføringsmedium

Det har blitt diskutert hvilket kommunikasjonsmedium som bør benyttes for den gradvise innføringen av AMS i Norge. NVE har bevisst ikke lagt føringer for hva slags teknologier som skal brukes, bortsett fra at kommunikasjonen må være basert på IP [32]. Med dette ønsker NVE å legge til rette for åpne, kompatible og standardiserte løsninger som kan kobles sammen. I senere tid kan det dog se ut som om de vil slakke på dette kravet som følge av tilbakemeldingene på høringsnotatet [21].

Oppgaven vår gikk spesifikt ut på å lage en AMS-løsning basert på Wi-Fi. Wi-Fi vil kun benyttes mellom måler og aksesspunkt, men derfra må en annen form for internettaksess brukes som overføringsmedium. Det pågår diskusjoner om hvilket overføringsmedium som er best egnet som AMS-kanal, og vi vil derfor i dette kapittelet diskutere ulike alternativer som er aktuelle og peke på fordeler og ulemper ved hvert av alternativene, i tillegg til å gjøre en oppsummering mot slutten.

4.1 Wi-Fi

Wi-Fi er ikke et alternativ som kommunikasjonsmedium hele veien fra strømmåler til datainnsamlingssystem på grunn av svært begrenset rekkevidde, men det betyr likevel ikke at det er utelukket for det første strekket av veien. For å benytte Wi-Fi blir man derfor avhengig av videre tilkobling til Internett gjennom fiber, xDSL, HFC eller andre aksessteknologier og det oppstår dermed en avhengighet mellom Wi-Fi og disse kablete alternativene. Fiber, xDSL og HFC er diskutert senere som selvstendige alternativer for

overføringsmedium.

4.1.1 Fordeler - Wi-Fi

- Raskt:

  Wi-Fi har generelt veldig høy ytelse, både når det gjelder overføringshastighet og forsinkelse. Dette gir økte muligheter for utvikling av innovative tjenester og visshet om en fremtidsrettet løsning som uten problemer vil tåle utvidelser.

- Billig:

  For alle som har en Internett-tilkobling hjemme, vil en løsning basert på Wi-Fi bli vesentlig billigere enn flere av alternativene. Eksisterende infrastruktur, gratis trafikkbruk og bredt tilgjengelig maskinvare er viktige grunner til dette.

- Fremtidsrettet:

  Den generelle utviklingen ser ut til å gå i retning av "alt over IP - IP overalt" og Wi-Fi står sånn sett teknologisk sentralt. Teknologien er kjent for å være robust, fleksibel, sikker og rask og har dermed mange egenskaper som vil sørge for lang brukstid.

4.1.2 Ulemper - Wi-Fi

- Avhengighet til kablet tilkobling:

  Med mindre noen kommer opp med en skikkelig god løsning, ser det ut til at en grad av kontroll på aksesspunktene (trådløsruterne) til kundene for å få strømmålerne koblet "på nett" er nødvendig, fordi strømmålerne bl.a. ikke har noen støtte for bruker-input. Kunden har i disse løsningene selv ansvar for trådløs ruter. Dersom aksessteknologien er fiber, er denne kontrollen mer eller mindre tilfelle allerede, siden de fleste fiberleverandørene leverer aksesspunktene til kundene. Men for xDSL, HFC, mobilt bredbånd m.m. står kundene oftest selv for innkjøp av aksesspunkt, hvis de i det hele tatt benytter seg av trådløs tilkobling.

- Liten utbredelse:

  Vi har ingen eksakte tall å vise til, men i forhold til f.eks mobildekning er antall husstander/målepunkter med Wi-Fi-dekning lavt. Det betyr at det spesielt noen steder vil være kostbart og lite gunstig å gå for en løsning basert på Wi-Fi siden

man da først må sette opp trådløse nett, og muligens også til og med grave kabler for Internett-tilkobling. Det betyr i praksis at man blir nødt til å implementere løsninger for flere kommunikasjonsmedium og forholde seg til flere typer maskinvare som igjen både kompliserer og øker prisen på prosjektene.

- Antenne- og dekningsproblemer

  Vårt arbeid gjennom testing av måler med Wi-Fi har vist svært dårlig signalstyrke selv under optimale forhold. Med under en halv meter avstand fra trådløs ruter til måler, var ikke signalstyrken bedre enn omtrent 60 %, og vanskeligheter med å få strømmåleren koblet til ble tydelige selv på korte avstander eller med små synlige hindringer. Derfor vil det være nødvendig å skaffe maskinvare med bedre antenner dersom man skal ha håp om å bruke Wi-Fi som kommunikasjonskanal i praksis.

4.2 Mobilnett (EDGE/HSPA/LTE)

4.2.1 Fordeler - mobil

- Stort dekningsområde:

  Stort sett hele Norge skal være dekket av 3G-nett og minst 2G-nett (EDGE). Med andre ord er infrastrukturen i stor grad på plass og klar til bruk. Telenor oppgir at 98,9 % av Norges landareal har 2G-dekning, mens tilsvarende for 3G er 67,3 % [31].

- Robust teknologi:

  Mobilnettet har vært brukt til svært mye i mange sammenhenger og systemer, og har vist seg å fungere godt. Dette er en stor fordel for mobilnett siden en velprøvd og velbrukt teknologi som er til å stole på, gir lavere usikkerhet og er av stor økonomisk verdi.

- Billig maskinvare/utstyr:

  På grunn av den store utbredelsen er maskinvare, antenner og utstyr for mobilnett relativt rimelig.

- Ingen infrastrukturkostnader:

  Mobilnettet finnes fra før og krever derfor ingen investeringer i nettverksinfrastruktur. Siden infrastrukturutbygging er meget kostbart, er dette en stor utgiftsfordel, men som selvsagt betales for gjennom brukskostnader.

- Allerede i bruk:

  Det finnes mange AMS-løsninger verden over basert på mobiltrafikk.

4.2.2 Ulemper - mobil

- Usikkerhet rundt teknologisk levetid:

  Hvis nettselskapene for eksempel velger GPRS/EDGE som teknologi, kan en ikke være sikker på hvor lenge Telenor eller en annen operatør vil velge å holde denne teknologien "i live" selv om dette antagelig er lang tid. Foreløpig sier Telenor at de vil opprettholde GSM 900-dekning i hele landet frem til 2025 [31]. Målsetningen må selvfølgelig være at systemene for automatisk strømavlesning skal vare lenge når de først implementeres og et eventuelt valg av mobilnett som kommunikasjonsmedium *kan* vise seg å bli flaskehalsen med tanke på levetid.

- Ved bytte av teknologi må radioer/antenner byttes ut i hver måler:

  Dersom man skulle trenge å oppgradere fra 2G til 3G eller fra 3G til 4G, ved for eksempel behov for høyere overføringshastigheter, vil ikke dette la seg gjøre uten å skifte ut maskinvare i alle målere - uten tvil en kostbar prosess. Dermed kan et eventuelt feilvalg nå, vise seg å bli kostbart i det lange løp.

- Gjør seg avhengig av teleoperatør:

  Ved å velge mobilnett, gjør man seg til en viss grad avhengig av en eller flere mobiloperatører. Selv om dette er en godt regulert bransje, vil det likevel være uheldig å være avhengig av andre for å kunne gjennomføre normal drift.

- Kostbart:

  Dette hører til en viss grad sammen med punktet over. I tillegg til å bli avhengig av en tredjepart for å drifte selskapet, er denne avhengigheten forbundet med høyere kostnader ved høyere bruk av deres tjenester. Dette betyr at jo oftere data sjekkes og mer informasjon som sendes over nettverket, jo dyrere vil samarbeidet være. Et mulig økt krav til innhentingshyppighet, enten fra myndigheter eller forbrukere, vil i fremtiden gi automatisk økte kostnader. Dette vil også føre til mindre vilje til å utvikle innovative tjenester og levere et best mulig produkt.

- Frekvensusikkerhet:

  Det benyttes mange forskjellige frekvenser i dagens mobilnett, og det vil bli flere i fremtiden, blant annet pga overtakelsen av frekvensene brukt til TV-kringkasting.

Dette kan føre til ytterligere fragmentering på utstyrssiden og dermed mulig mer avhengighet av operatør og utstyrsleverandører.

- Mulige dekningshull:

  I visse områder vil man oppleve at det ikke finnes tilstrekkelig dekning. En måte å løse dette på er ved hjelp av signalforsterkning. Dette kan både være en kompetanse- og tidkrevende prosess som vil øke utrullingskostnadene. Plasseringen av målepunkter, typisk inne i et lukket metallskap, øker også mulighetene for at dette blir et reelt problem.

- "På forespørsel"-uthenting:

  Det kan vise seg å være problematisk å gjøre uthenting av informasjon fra målere uten at måleren selv initierer kontakten, ettersom man på mobilnettet foreløpig ikke har fast IP-adresse eller naturlig støtte for offentlig tilgjengelig IP-adresse i dagens mobilnett. Uten toveiskommunikasjon er man tilbake til noe som ligner på AMR snarere enn AMS.

- Kapasitet og responstid:

  De tidligere generasjonene av mobil datatrafikk (GPRS/EDGE) har lavt strømforbruk, men også lave overføringshastigheter (typisk rundt et par hundre Kb/s) og varierende responstid (alt fra 2-300 ms til flere sekunder). For noen bruksområder vil dette ikke være tilfredsstillende og teknologivalget kan i så måte hemme utviklingen av tjenester. Både overføringshastigheter og responstid bedres ved bruk av 3G, men vil fremdeles være dårligere enn alternative teknologier og også medføre andre uheldige egenskaper, som for eksempel høyere strømforbruk og generelle kostnader.

4.3 xDSL/HFC

Bredbånd er et viktig begrep i dagens moderne samfunn. Båndbredde er et mål på hvor mye informasjon som kan overføres gjennom det aktuelle mediet per sekund. Det finnes forskjellige teknologier for bredbånd, som for eksempel ADSL, optisk fiber og Wi-Fi [34]. ADSL er den mest kjente xDSL-teknologien i bruk i Norge. DSL-teknologier er opprinnelig bygget på telefonnettet (PSTN) med ISDN som en av de første trinnene på veien til ADSL2+ og VDSL som representerer de nyeste versjonene av denne teknologien. HFC er bredbånd over kabel-TV-nettet og er på mange måter en blanding mellom fiber og xDSL.

4.3.1 Fordeler - bredbånd

- Hastighet:

  En gjennomsnittshusholdning i Norge har en ADSL-linje med en hastighet på 6,1 Mbit/s og medianen er på 3,9 Mbit/s [23]. Dette tilsvarer at overføring av 1 Mbit tar ca 0,25 sekunder. ADSL2+ kan komme opp i en hastighet på 25 Mbit/s og bredbåndsteknologiene har generelt sett høye overføringshastigheter. Dette taler for at ulike bredbåndsteknologier er gunstige valg som kommunikasjonsmedium.

- Utbredelse:

  xDSL og HFC er utbredt i Norge. I 2010 hadde 83 % av Norges husholdninger bredbånd, med DSL som den klart mest brukte [26].

4.3.2 Ulemper - bredbånd

- Eies av tredjepart:

  Det faktum at aksessnettet ikke eies av kraftselskapene, men av tredjeparter, er ikke spesielt heldig. For å få til en holdbar løsning må det antagelig inngås avtaler med så godt som alle internett-tilbyderne på markedet - en oppgave som i seg selv virker utfordrende. Alternativt kan strømselskapene dele ut kommunikasjonsmoduler til kundene, som de kan feste på internettmodemet sitt. Dette kan imidlertid ha en negativ effekt ved at ansvaret for at denne modulen er tilgjengelig faller på kunden, en praksis som med god grunn er meget uvanlig.

- Ikke full dekning:

  Selv om bredbånd er utbredt, dekker det ikke hele landet og kan derfor ikke være den eneste løsningen som implementeres.

4.4 Fiber

Fiberoptisk kommunikasjon er kommunikasjon via lyspulser sendt gjennom optiske fiberkabler. Disse lyspulsene blir generert av lasere eller Light-emitting diode (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 [11]. Mange nettselskap tilbyr i dag flere tjenester i tillegg til nettdriften. Dette er tjenester

som for eksempel internett, TV og kommunikasjon via fiber [18]. 6 av de 10 største nettselskapene i Norge tilbyr internett gjennom fiber som et tillegg til strømleveranse. Avenir rapporterer at i Norge er det distriktene som har størst tilgang til fiber ved at nettselskap har investert aggressivt med sterkt pådriv og støtte fra lokale og nasjonale myndigheter [11].

4.4.1 Fordeler - fiber

- Hastighet:

  Fiberoptikk anses av mange for å være den teknologien som vil dominere aksessmarkedet i fremtiden. Det største fortrinnet med fiber er kapasitet, ettersom man kan sende flere gigabyte med informasjon i sekundet [34]. Fiber er den raskeste bredbåndsoppkoblingen som finnes. Allerede i dag er det bredbåndstilkoblinger i Oslo-området som tilbyr hastigheter opp mot og over 250 Mbit/s for vanlige husstander og boligblokker [11]. Ved bruk av fiber som kommunikasjonskanal vil kapasiteten ikke være noen utfordring. Aktive fibernett, levert av blant andre Lyse, har symmetriske kapasiteter på 100/100 Mbit/s i dag. Passive fibernett, som Telenor bygger, har ikke slike hastigheter foreløpig, men teknologien anses som skalerbar og med potensiale for videreutvikling tilstrekkelig til å vurderes som akseptabel for leveranse av 100 Mbit/s i nær fremtid.

- Kostnadseffektivt:

  Datamengden AMS fører med seg vil ikke trenge fiber som dedikert kommunikasjonskanal, men hvis både TV, internett og strømdata sammen kunne sendes inn i hjemmet med fiber, vil dette være et kostnadseffektivt alternativ. Strømdataene kan også sendes på egen bølgelengde for økt sikkerhet. 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 fibernett til å levere både "triple-play" (internett, TV og telefoni) og AMS-tjenester over den samme kommunikasjonskanalen [11].

- Egen kontroll: Siden de fleste av fiberleverandørene i Norge er nettselskaper, vil de som oftest ha kontroll på både aksessnettet og aksesspunktene hos kundene. Dermed ligger det til rette for å lage integrerte løsninger som ikke avhenger av en tredjepart. Bredbåndsalliansen, som består av de største nettselskapene som tilbyr

fiber, dekker per 2008 58 % av sine 968 500 husstander med fiberlinjer [11].

- Lite interferens: Fiber er lite påvirket av interferens. For eksempel leder ikke fiber elektrisitet, og kan dermed legges i nær kontakt med strømledninger og lignende uten at det påvirker signalene [34].

4.4.2 Ulemper - fiber

- Utbredelse: Det finnes mange husholdninger som ikke har installert fiber. Andre kvartal 2010 meldte Statistisk Sentralbyrå at 12 % av Norges husholdninger hadde fiberkabel hjem til seg. I en rapport utarbeidet for Fornyings- og administrasjonsdepartementet (FAD) kommer Nexia [10] fram til at estimert nasjonal fiberdekning i 2015 er ca. 35 % . Videre antar Nexia at 20 % av alle husstander og virksomheter vil være tilknyttet kommersielle tilbud i 2015. Derfor er nok fiber den løsningen som vil kreve høyest investeringskostnader i infrastruktur. Selve utstyret er ikke kostbart, men heller gravearbeidet. Denne kostnaden varierer stort, alt ettersom hvor i landet det skal graves [34]. Nexia estimerer en utbyggingskostnad for alle regioner på litt over 50 milliarder kroner. Av dette representerer framføring av fiber (i form av transportnett og aksessnett) nesten 85 % av kostnadene. Kostnaden per tilknytning er rundt 27 000 kr [10].

  Nettselskapene erstatter nå i stor grad kobber med fiber og nye industri- og kontorbygninger får også fiber installert. Med en slik utvikling vil fiber kunne bli mer aktuelt som kommunikasjonskanal i fremtiden. Allikevel vil sluttbrukere i områder uten enkel tilgang til fiber ikke kunne tilknytte seg dette nettet. Fiber er aktuell i en 'punkt til punkt'-løsning i allerede fiberutbygde områder [18]. Det er viktig å bemerke at utbyggingen av fiber ikke kommer til å forsvares kun på bakgrunn av AMS-innføring. FTTH har også stor nytte for forbrukerne så vel som for samfunnet [25].

4.5 PLC

PLC er en teknologi som sender informasjon over en elektrisk krets som for eksempel strømnettet hjemme i din egen leilighet eller ut til kraftselskapene. Strøm til kundene leveres med en frekvens på 50 Hz. PLC fungerer ved å legge et modulert signal med

høyere frekvens oppå dette [20]. Ved bruk av PLC som overføringsmedium vil strømnettet være bærer for datasignaler i tillegg til strøm. I teorien kan denne teknologien overføre data med en kapasitet som gjør den til en reell konkurrent til de teknologier som en Internet Service Provider (ISP) vil bruke, typisk ADSL, fiber etc., med hastigheter opp i flere megabit/sekund [4], men i praksis vil hastighetene typisk være i kbps-området for en løsning som bare skal levere AMS-tjenester. Over kortere strekninger kan teknologien riktignok gi høyere overføringshastigheter. Hvor langt PLC vil benyttes før datatrafikken rutes over i ordinære datanett er installasjonsavhengig [4]. Det er tre hovedkandidater på markedet for tredje generasjons PLC: Powerline Intelligent Metering Evolution (PRIME) Specification fra PRIME Alliance, G3 PLC Profile Specification som støttes av franske Electricité Réseau Distribution France (ERDF), og italienske ENEL/Echelon sin løsning [24].

4.5.1 Fordeler - PLC

- Standardisert:

  Til nå har PLC stått i skyggen av Wi-Fi og Ethernet, grunnet manglende Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)-standard. Nå er imidlertid standarden IEEE PLC P1901 utarbeidet, og PLC-baserte hjemmenettverk står på trappene. Arbeidsgruppa til IEEE P1901 ble dannet i 2005, og standarden ble ferdig i 2010 [12, 14]. P1901-gruppas mål var å definere en Media Access Control (MAC)/Physical Layer (PHY)-standard for PLC-enheter som leverte over 100Mbps. Viktige momenter som ble tatt hensyn til i standarden var å bruke PLC-kanalen på en balansert og effektiv måte, ha mekanismer som sikret interoperabilitet, sikkerhet og personvern, og sikre levering av ønsket båndbredde og tjenestekvalitet [12]. The HomePlug Alliance skriver på sin hjemmeside at mange forventer at adopsjonen av PLC-teknologi vil øke på grunn av 1901-standarden, på samme måte som de trådløse teknologiene opplevde vekst da IEEE leverte 802.11-standardene, og at industrien vil samles og tilby store fordeler for kunden [12].

- Selveid:

  Siden nettselskapene selv eier strømnettet, letter det arbeidet siden de ikke trenger å forholde seg til andre ved implementeringen.

- Utstrekning:

Strømnettet er overalt. Dermed ligger en god del til rette for en utrulling av AMS basert på PLC med lave investeringskostnader. Riktignok vil også det kreve vesentlige investeringer, men tyngden av disse vil ligge i endepunktene og ikke i selve infrastrukturen.

- Lukket:

  Siden PLC baserer seg på strømnettet er det i mye større grad et lukket nett enn f.eks. internett. Dette har naturlige sikkerhetsmessige fordeler, men å basere seg på såkalt "security by obscurity" er sjelden lurt og ikke tilstrekkelig. Med uttrykket "security by obscurity" menes det at sikkerhetshull ikke vil bli utnyttet fordi de er skjult eller ukjente for utenforstående.

- Tilgjengelighet:

  PLC har den betydelige fordelen at den er tilgjengelig i sikringsskapet der AMS-utstyret er plassert [4]. PRIME Alliance har fått "chip"-leverandørene Texas Instruments (USA), STelectronics (Frankrike) og ADD (Spania) til å implementere teknologien på én "chip" [24].

- Vellykkede prosjekter:

  PRIME Alliance har gjennomført et pilotprosjekt med 1000 målere som ble vurdert som en suksess. En storskalapilot med 100 000 målere er nå lagt ut på anbud hos Iberdrola og G3 PLC Profile Specification har også gjennomført et vellykket pilotprosjekt [24]. ENEL, som er det største distribusjonsselskapet i Italia, installerte 29,8 millioner målere fra 2001 til 2006 [16]. Disse smarte energimålerne er koblet til konsentratorer via PLC, og konsentratorene er koblet til kommunikasjonssentraler via GSM/GPRS-nett. ENEL sitt system, som markedsføres sammen med IBM sine produkter, har oppnådd en dominant posisjon i Italia. Dette prosjektet kalles Telegestore og ble en suksess, som førte til at myndighetenes organ for regulering av elektrisitet og gass, innførte krav om at alle nettselskap skulle installere AMS-systemer [11].

- Popularitet:

  I en analyse Eme Analys gjorde av funksjonskravene for det svenske målermarkedet etter introduksjonen av lovbestemt automatisk måleravlesing, kom det frem at PLC var den foretrukne protokollen fra sluttbruker til konsentrator blant selskapene [11]. Trenden blant leverandørene er likevel at jo senere de velger, jo flere velger trådløse

kommunikasjonsprotokoller som for eksempel GPRS [11].

4.5.2 Ulemper - PLC

- Tvil rundt lange avstander:

  Det er sådd tvil om PLC-nettet kan brukes over lange avstander [13].

- Overføringshastighet:

  Overføringshastigheten til PLC-nettet er mye lavere enn andre alternativer, og dette gjør det blant annet dårlig egnet til bruk med TCP/IP [17]. Siden det er et krav fra NVE om at løsningen skal være basert på IP [32], kan dette virke som et dårlig utgangspunkt. Som nevnt tidligere, kan det også ha en dempende effekt på tjenesteutviklingen når de er nødt til å forholde seg til lav båndbredde. PLC er tross alt egentlig "tvunget på" et nett som ikke ble laget for dataoverføring. Maksimal overføringsrate for PRIME er 132 kbit/s, mens maksimal overføringsrate for G3 PLC Profile Specification er 32 kbit/s [24].

- Støy:

  Utfordringer er knyttet til håndtering av støy fra andre elektriske apparater, spesielt i tettbebygde strøk. I PRIME-løsningen skal dette derimot være tatt hånd om grunnet adoptert teknologi fra xDSL og 2-3G-nettene.

4.6 Oppsummering

Fordelene og ulempene ved de ulike teknologiene er mange og det gjør det vanskelig å avgjøre hva som er det best egnede valget. En presentasjon BKK holdt i 2009 [24] peker på at teknologiskifter i fremtiden kan gi store kostnader og føre til en dyrere løsning totalt sett. Dette later til å være en gyldig bekymring og man bør tilstrebe å velge løsninger som er fremtidsrettet og skalerer. I så måte blir løsninger basert på bredbåndsteknologier (xDSL, HFC, fiber) spesielt attraktive siden de per i dag tilbyr den høyeste båndbredden. Det er nærliggende å tro at spesielt de største nettselskapsaktørene som for eksempel Hafslund og Lyse som også tilbyr fiberaksess til sine kunder, vil levere sine AMS-løsninger basert på den eksisterende fiberinfrastrukturen. For disse alternativene det vil være naturlig å vurdere bruk av Wi-Fi som aksessteknologi.

En løsning basert på mobile teknologier har potensielle fallgruver, men har også vist seg å være teknologisk vellykket flere steder det er tatt i bruk. PLC representerer på sin side det gamle, trygge for kraftbransjen - en mulighet til å beholde alt i sitt eget nett. Spørsmålet da blir om PLC er teknologisk modent og solid nok til å kunne løse problemene på en tilfredsstillende måte. Mye tyder på at vi vil se en blanding av løsninger, både i bransjen, men også innad i hvert selskap på grunn av de forskjellige egenskapene og fordelene ved de ulike løsningene.

5

Sikkerhet

5.1 Generelt

Den teknologiske utviklingen går generelt veldig fort i dagens samfunn. Teknologien muliggjør veldig mange nye løsninger som både er nyttige for forbrukere og lønnsomme for samfunnet som helhet. De fleste er enige om at de nye løsningene gir en "bedre verden". På den annen side finnes det mange som advarer mot at utviklingen representerer en fare for forvitring av universelle rettigheter som personvern, retten til privatliv og ytringsfrihet. Dette er rettigheter samfunnet er fundert på, og som vi har holdt fast ved i flere hundre år. Holdningen folk har til teknologi og modningen den gjennomgår i befolkningen, ser på generell basis ut til å gå tregere enn utviklingen av teknologien selv. Dette utgjør en risiko for at man utvikler løsninger som virker gode og nyttige fordi man har muligheten, men som senere viser seg å være uheldige og ha uønskede eller uforutsette konsekvenser. Sentralt i temaer som diskutert over står mengden informasjon som bør lagres om hver enkelt person og tilgjengeligheten av disse. Folk forventer at informasjon som lagres om dem har en god, forretningsmessig grunn for å bli det, og at dataene beskyttes så godt som mulig. I så henseende er implementasjon av sikkerhet i AMS-løsningene et viktig moment ettersom data om strømforbruk i høyeste grad er å anse som personsensitiv og kan tenkes å kunne misbrukes av mange parter.

Det er vanlig å beskrive begrepet sikkerhet ved hjelp av tre karakteristikker. Dette har fått betegnelsen "Confidentiality, Integrity and Availability (CIA)-trekanten":

- Konfidensialitet

- Integritet
- Tilgjengelighet

Tilgjengelighet betyr at systemet og dataene skal være tilgjengelige stort sett når bruker etterspør dem eller når de skal benyttes av systemet. Konfidensialitet innebærer at informasjonen skal være konfidensiell for andre enn de tiltrodde partene i systemet. Dette oppfylles ofte ved hjelp av kryptering. Integritet innebærer derimot at man skal være sikker på at de dataene som mottas faktisk er de samme dataene som ble sendt (dataintegritet) og at de data som mottas kommer fra den man tror (opprinnelsesintegritet).

I dette kapittelet beskrives først og fremst mekanismer og løsninger som skal sørge for konfidensialitet og integritet, mens systemdesignet og teknologien må ha ansvaret for å holde tilgjengeligheten oppe.

Vår løsning baserer seg på bruk av TCP/IP-protokollen og bruk av Wireless Local Area Network (WLAN) som kommunikasjonskanal mellom klient og tjenere eller strømmålere. Med tanke på de manglende sikkerhetsmessige egenskapene til internett og protokollene som benyttes, er det viktig å ta hensyn til at både endring, forfalskning og repetisjon av meldinger kan finne sted i tillegg til avlytting. Andre typer nettverk er ofte mer lukket og mindre tilgjengelig for angripere enn internett, som er åpent for alle. På grunn av dette er det viktig å ta forholdsregler når det gjelder sikkerheten i systemet og opprettholde konfidensialitet og integritet i kommunikasjonen.

5.2 Sikkerhetsvalg i DLMS/COSEM

DLMS/COSEM har tre hovedprofiler for sikkerhet. Disse er:

- Ingen sikkerhet
- Lav sikkerhet - Low Level Security (LLS)
- Høy sikkerhet - High Level Security (HLS)

Det er opp til hver enkelt produsent av strømmålere å bestemme hvilke av sikkerhetsprofilene de skal støtte. LLS passer best i omgivelser som tilbyr sikkerhet gjennom selve nettverket, for eksempel ved at det er skjult eller svært lite tilgjengelig for uvedkommende. I slike omgivelser er sjansen mindre for at avlytting, endring, forfalskning og repetisjon av meldinger finner sted. Derfor er også sikkerhetsmekanismene svært begrenset, og tilbyr blant annet ingen form for dataintegritet og kun autentisering av klient, ikke tjener. HLS

er sikkerhetsprofilen som tilbyr reell sikkerhet og det er den vi kommer til å legge vekt på i resten av dette kapittelet.

5.3 DLMS/COSEM HLS

I DLMS/COSEM HLS finnes det fire hovedvalg for implementering av sikkerhet:

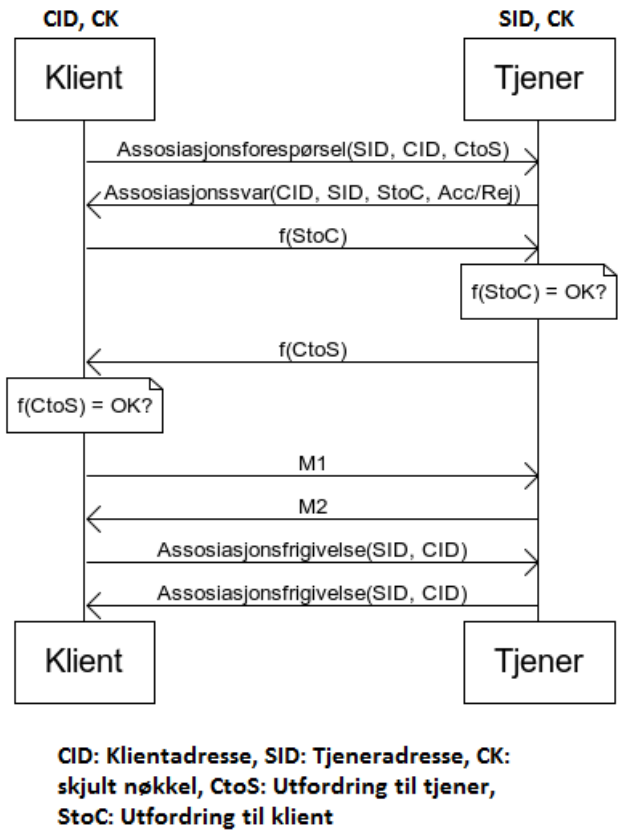
1. Ingen sikkerhet
2. Autentisering
3. Kryptering
4. Autentisering og kryptering

I korte trekk kan man si at autentisering tilsvarer integritet og kryptering tilsvarer konfidensialitet. Det burde dermed ikke være noen overraskelse at det kun er alternativ 4 som gir tilfredsstillende sikkerhet. Videre kommer en beskrivelse av hvordan autentisering og kryptering foregår i DLMS/COSEM-baserte løsninger. Sikkerhetsmekanismen som benyttes kalles Advanced Encryption Standard Galois Counter Mode (AES-GCM), en underkategori av den velprøvde og tiltrodde Advanced Encryption Standard (AES)-standarden.

5.3.1 Autentisering

Autentiseringen skjer ved opprettelsen av assosiasjonen mellom klient og tjener (AA). Prosedyren for hvordan dette gjennomføres, vises i figur 5.1. Funksjonen som benyttes for autentiseringen, f, kan være en av følgende: MD5, SHA-1 eller Galois Message Authentication Code (GMAC). I assosiasjonsforespørselen sender klienten en utfordring, CtoS, for eksempel i form av en tilfeldig tekststreng, til tjeneren. Tjeneren svarer med en utfordring, StoC. Klienten bruker en funksjon, f, til å beregne et svar på utfordringen fra tjeneren med StoC og Ck som inndata og svarer med dette. Tjeneren foretar tilsvarende beregning og sjekker at resultatet er identisk med svaret fra klienten. Dersom det stemmer, gjennomføres samme prosedyre motsatt vei med CtoS. Hvis klienten verifiserer f(CtoS) er en toveis autentisering oppnådd, og meldingsutvekslingen kan begynne.

I tillegg til en første gangs gjensidig autentisering av klient og tjener, er det mulig å autentisere hver melding som sendes for å forsikre seg om at meldingen kommer fra den man tror og/eller at innholdet i meldingen ikke har blitt endret under sending. Avhengig

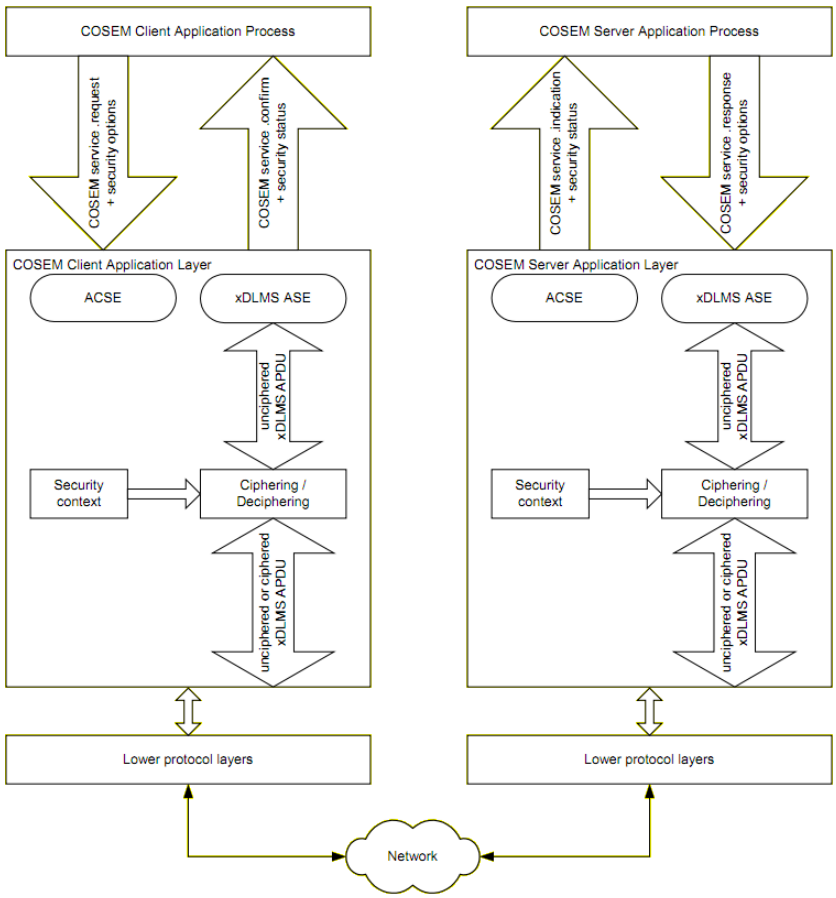


Figur 5.1: Gjensidig autentisering i DLMS/COSEM HLS, modifisert fra [2]

av hvilken type autentisering man velger, vil man kunne forsikre seg mot nettopp dette. Bruk av GMAC med en hemmelig nøkkel lager en autentiseringsblokk som legges ved hver melding. Gjenskapelse av denne blokken er kun mulig dersom man kjenner nøkkelen og det er svært vanskelig å endre både innholdet og autentiseringsblokken slik at de fremdeles stemmer overens med nøkkelen. Derfor er GMAC godt egnet til å tilby både data- og opprinnelsesintegritet.

5.3.2 Kryptering

Figur 5.2 som er hentet fra DLMS UA sin "green book" [2] viser overordnet det som skjer ved kryptering av meldinger. Selve krypteringsprosessen blir lagt inn som et "siste ledd" før meldingene overføres ved hjelp av de underliggende kommunikasjonslagene.



Figur 5.2: Overordnet design for kryptering [2]

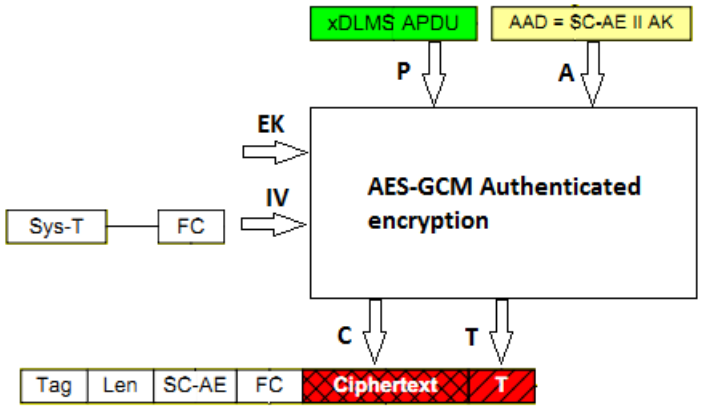
Det er i "Security context" man finner verktøyene, informasjonen og nøklene som benyttes i algoritmen som gjør den faktiske krypteringen/dekrypteringen. Elementene i sikkerhetskonteksten er som følger:

- Autentiseringsnøkkel (Authentication Key (AK))
- Krypteringsnøkkel (CK)
- Initialiseringsvektor (Initialization Vector (IV))
- Type algoritme (foreløpig er det bare Galois Counter Mode (GCM) som er støttet)
- Hovedprofil (autentisering/kryptering eller begge)

Virkemåten til GCM-algoritmen er utenfor denne oppgavens omfang. For detaljer se

spesifikasjonen av GCM [15]. Krypteringsnøklene må være kjent av klient og tjener på forhånd ved første gangs oppsett, men kan endres etter opprettelse av en sikker tilkobling/assosiasjon mellom dem. Informasjon om initialiseringsvektoren overføres under opprettelse av assosiasjon.

5.3.3 AES-GCM i DLMS/COSEM



EK = Encryption Key
IV = Initialization vector = Sys-T || FC
P = Plaintext
A = Additional authenticated data = SC-AE || AK
C = Ciphertext
T = Authentication tag
FC = Frame Counter
Sys-T = System Title
SC-AE = Security Control byte Authenticated encryption

Figur 5.3: Elementene i krypteringen. Utledet fra [2]

Bestanddeler

Figur 5.3 viser bestanddelene i høynivå-sikkerhetsmodusen til DLMS/COSEM (HLS) som bruker AES-GCM-algoritmen.

Sys-T: Sys-T er systemtittel, en åtte byte lang verdi som unikt skal identifisere hver måler og datainnsamler i systemet. De tre første bytene er produsentavhengige, mens de

siste fem delegeres fritt av produsenten som må sørge for at ingen av verdiene gjenbrukes.

IV: IV-en er lik Sys-T konkatenert med Frame Counter (FC). Pakketelleren, FC, skal endres for hver pakke som sendes. Slik forsikrer man seg om at samme IV aldri blir benyttet mer enn en gang sammen med en lik nøkkel. Dette er et viktig prinsipp, for dersom man benytter samme IV flere ganger med samme nøkkel kan man ikke lenger forvente å ha et sikkert system [15]. Implementasjonen som er valgt i DLMS/COSEM-standarden bruker 4 byte for å representere FC. Dette tilsvarer 4,3 mrd. verdier, så dersom FC brukes som en teller, i motsetning til at FC-en velges tilfeldig, i tillegg til at nøkkelen skiftes fra tid til annen, burde man være godt sikret mot at gjenbruk av IV ikke finner sted.

AAD: Additional Authenticated Data (AAD) er lik Security Control byte Authenticated Encryption (SC-AE) konkatenert med AK, altså autentiseringsnøkkelen. For autentisert kryptering er verdien av SC-AE 48 desimalt, eller 30 i hexadesimal notasjon. Autentiseringsnøkkelen kjennes kun av klient og tjener og brukes altså som inndata til AES-GCM-algoritmen for å sørge for data- og opprinnelsesintegritet ved å produsere utdataen T.

T: En 12 byte lang autentiseringstagg som blir laget på bakgrunn av AAD og klarteksten som sendes. Denne blir lagt til på slutten av meldingene slik at mottaker kan forsikre seg om at meldingen er uforandret og faktisk kommer fra den som gir seg ut for å være avsender.

EK: Krypteringsnøkkelen er på 128 bit, og brukes som inndata til AES-GCM-algoritmen for å kryptere alle meldingene.

C: Den krypterte teksten, som har lik lengde som klarteksten, beregnes ved hjelp av inndataene klartekst, IV og Encryption Key (EK). Her ser man hvorfor det er helt avgjørende at samme IV ikke benyttes flere ganger, siden dette ville produsert samme utdata for like melding/nøkkelpar. Dette kan raskt avsløre EK om man kan finne frem til hvilken klartekst som sendes.

Virkemåte

Før DCS skal sende en forespørsel til strømmåleren skal altså Application Layer Protocol Data Unit (APDU)-en krypteres, samt at meldingen og avsender skal autentiseres. Systemet må ha implementert AES-GCM-algoritmen i en eller annen form, og denne tar fire inndata og produserer to utdata som vist i figur 5.3. Deretter er prosedyren i prinsippet nokså enkel:

- Finn gyldig AK som finnes lagret i en database, fil eller i kode.
- Gjør det samme for krypteringsnøkkelen som skal brukes i den gjeldende sesjonen, EK.
- Finn frem riktig Sys-T og konkatener denne med pakketelleren, FC. Viktig: FC må inkrementeres med én fra forrige melding som ble sendt. For å unngå feil er det derfor viktig at DCS og strømmåler er synkronisert i sin bruk av FC. Verdien av telleren kan leses ukryptert i meldingshodene, så det burde være relativt enkelt å holde styr på dette.
- Deretter sendes disse inndataene til AES-GCM-funksjonen som skal returnere den krypterte meldingen konkatenert med autentiseringstaggen T. Som det vises i figur 5.3 trengs det kun å legge til riktig meldingshode, før meldingen er klar til å sendes.

5.3.4 Nøkkelhåndtering

Nøklene i systemet brukes enten i en-til-en kommunikasjon, såkalt unikast, eller en-til-alle, såkalt kringkasting. DLMS/COSEM definerer fem nøkkeltyper. Tabell 5.1 gir en oversikt over disse samt en forklaring av hva de brukes til.

DLMS UA definerer i spesifikasjonene [2, 3] metoder for å endre og utveksle nøkler. Da brukes KEK i en algoritme for innpakking av nøkler definert i RFC 3394 (del av AES-standarden) for å kryptere nøkkelen som skal transporteres mellom innsamlingssystem og målere.

Nøkkeltype	**Forklaring**
Hovednøkkel	Må legges inn på måler ved produksjon og vites av datainnsamlingssystemet. Brukes som nøkkel for innpakking og overføring av andre nøkler, såkalt "Key Exchange Key (KEK)".
Global unikastnøkkel	Denne nøkkelen benyttes ved opprettelse av assosiasjon mellom innsamlingssystem og en gitt måler.
Global kringkastings-nøkkel	Brukes ved kryptering av kringkastede meldinger.
Autentiseringsnøkkel	Brukes for å autentisere meldinger. Se avsnitt 5.3.3 for nærmere beskrivelse av autentiseringsnøkkelen (AK).
Dedikert unikastnøk-kel	Brukes til å kryptere meldingene som utveksles etter at en assosiasjon er satt opp. Det er mulig å bruke hovednøkkelen som dedikert unikastnøkkel, men for maksimal sikkerhet, kan man opprette og bruke en ny nøkkel for hver assosiasjon.

Tabell 5.1: Nøkkeltyper benyttet i DLMS/COSEM HLS

6

Resultater

I dette kapitlet vil vi presentere hva vi har kommet fram til som løsning på problemstillingen vi formulerte i innledningen. Kapittelet beskriver nettsiden, design av løsningen, samt informasjonsinnsamling, kommunikasjon og sikkerhet i løsningen vi har laget.

6.1 Nettside

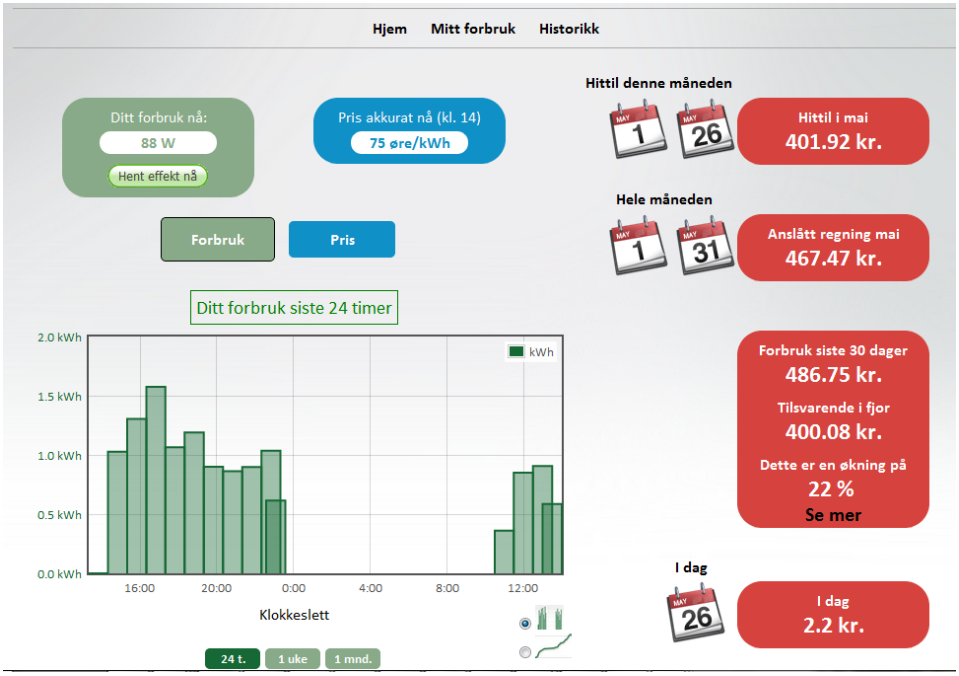
En del av oppgaven var å lage en nettside for sluttbrukere som skal presentere relevant informasjon om strømforbruk og -priser. I denne sammenheng var det viktig å finne frem informasjon som var interessant for kunden og prøve å presentere den på en forståelig måte. I tillegg ønsket vi at det skulle være enkelt å finne de viktigste opplysningene ved kun å kaste et blikk på nettsiden. Noe av det vi ønsket å presentere for kunden var:

- Strømprisen akkurat nå
- Effektforbruk akkurat nå
- Kostnad
  - siste døgn
  - hittil i måneden
- Antatt kostnad inneværende måned
- Fremtidig prisutvikling
  - kommende 24 timer

  - kommende uke
  - kommende måned

- Strømforbruk
  - siste døgn
  - siste syv dager
  - siste måned

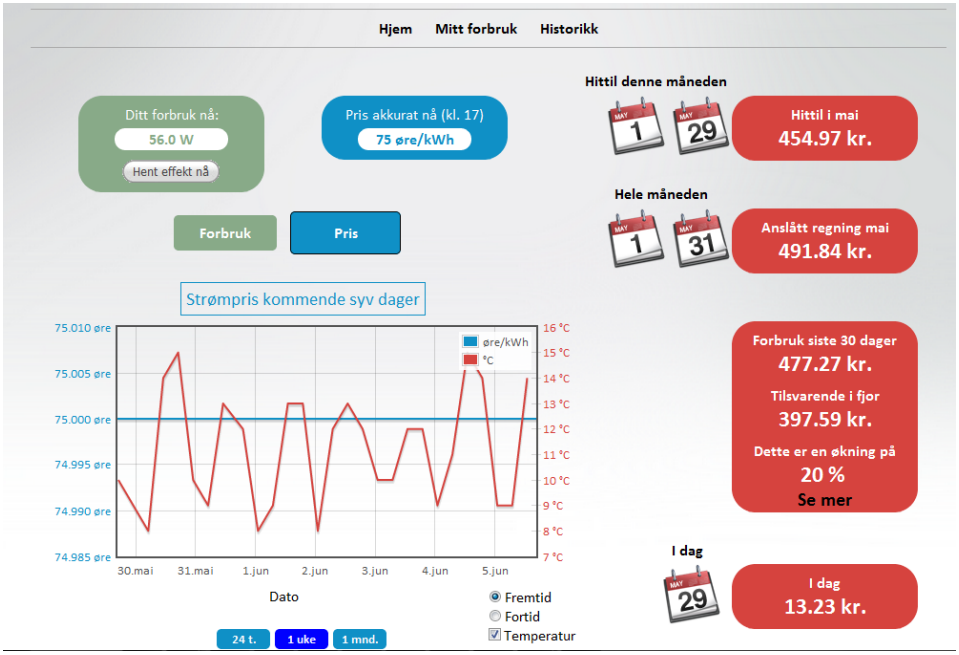
Vi utviklet dermed en nettside som inneholdt dette. Adressen til siden er http://ams.daling.net/content.



Figur 6.1: Nettside for kunder med forbruksoversikt

Figur 6.1 viser strømforbruk det siste døgnet, mens figur 6.2 viser priser og utetemperatur for den kommende uka.

Senere fant vi en undersøkelse som viser hva kunder vil ha presentert av slike opplysninger, foretatt i USA [22]. Det viste seg at vi hadde truffet ganske bra med våre antagelser om hva kunden ville se.



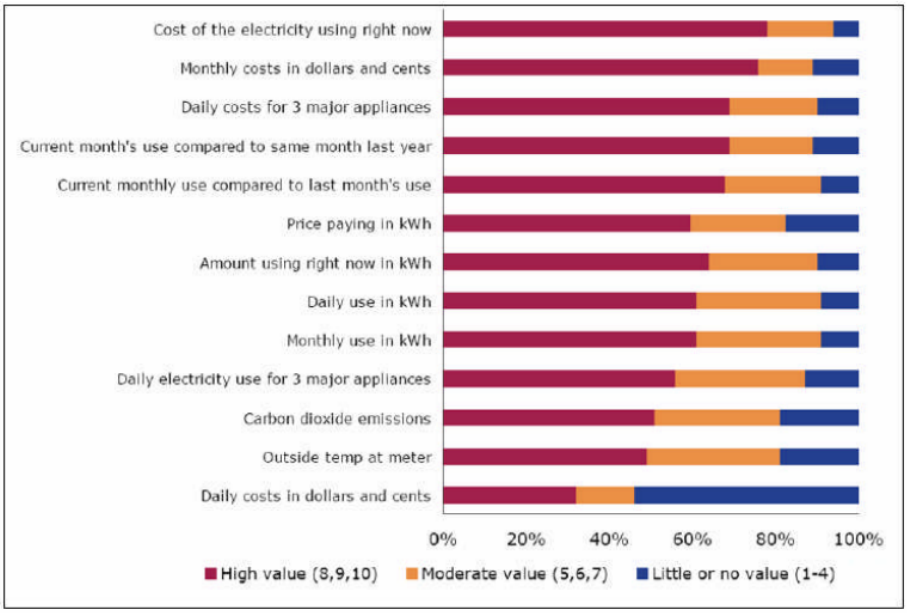
Figur 6.2: Nettside for forbrukere med prisoversikt

Figur 6.3 viser resultater fra denne undersøkelsen. Vi så at vi manglet enkelte opplysninger som var etterspurt. Inspirert av undersøkelsen implementerte vi følgende:

- Forbruk siste 30 dager i kr.
- Forbruk tilsvarende dager i fjor i kr.
- Sammenligning av disse i prosent.
- Fremtidig varsel av utetemperatur som en graf i samme koordinatsystem som fremtidig prisutvikling.
- Mulighet for å sjekke forbruk i valgt tidsperiode, presentert som stolpediagram.
- Et stolpediagram som viser historikken i strømforbruket til kunden, det vil si månedlig og ukentlig strømforbruk de tre siste årene, inkludert inneværende år.

Vi fjernet gjennomsnittlig forbruk i kr., da dette ikke syntes å være interessant for kunden.

Programmeringsspråkene vi brukte under utvikling av nettsiden var PHP: Hypertext Preprocessor (PHP) og JavaScript. PHP er et mye brukt, generelt scriptingspråk som passer spesielt godt til webutvikling [30]. JavaScript er et skriptingspråk som (oftest)



Figur 6.3: En undersøkelse som viser hvilke data kunden ønsker presentert [22]

benyttes på klientsiden for å gjøre nettsider mer "levende" og dynamisk oppdaterte. JavaScript blir brukt i milliarder av nettsider for å legge til funksjonalitet, validere skjemaer, kommunisere med tjenere og mye mer [33].

Diagrammene på nettsiden er laget ved hjelp av Flot som er et plottebibliotek utviklet ved hjelp av JavaScript og bruker JavaScript-rammeverket jQuery aktivt. Flot kan være noe kronglete å forholde seg til i starten, men våre erfaringer er gode og vi synes rammeverket produserer grafer og diagrammer som ser tiltalende ut. Det finnes mange fordeler ved å bruke JavaScript i stedet for en løsning implementert på tjenersiden for visning av grafer og lignende på nettsider:

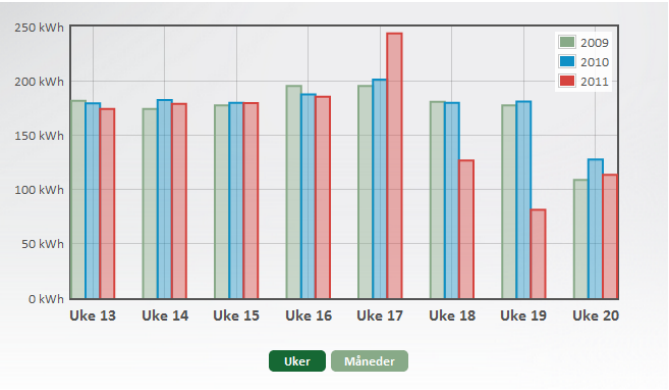
- Først og fremst slipper man unna med mye mindre bruk av ressurser og minker datamengdene som må sendes til nettbrukeren. Alt som sendes er ei liste med x- og y-verdier (tekst) for å beskrive hvilke data nettleseren skal fylle grafene med.
- Informasjonen kan hentes og vises asynkront ved hjelp av Asynchronous Javascript (AJAX) slik at innholdet på nettsiden kan oppdateres uten at hele siden lastes på nytt.

- Det blir mulig og praktisk å hente flere datasett samtidig ved første gangs lasting av nettsiden og så la nettleseren skifte mellom datasettene basert på hva brukeren ønsker å se.

Den største ulempen med å benytte JavaScript er antagelig nettleserkompatibilitet, da slike løsninger oftest ikke fungerer for eldre versjoner av nettlesere og dermed kan bli et potensielt irritasjonsmoment for brukerne.

Når hovedsiden lastes på nettsiden vår, gjøres det et asynkront kall til tjeneren for å hente informasjonen som skal vises i grafene/diagrammene. Tjeneren returnerer da åtte forskjellige datasett som midlertidig lagres lokalt i nettleseren til brukeren. Dermed kan brukeren bytte dag-, uke- og månedsvisning med høy hastighet og uten nevneverdig forsinkelse siden nye data hentes lokalt og ikke over internett. Denne øyeblikkeligheten gir en mye bedre brukeropplevelse og sparer også webtjeneren for potensielt ekstra trafikk sammenlignet med å hente nye data for hvert trykk. I praksis blir hastigheten på maskinen brukeren benytter, det tregeste leddet for bytte mellom visningstypene.

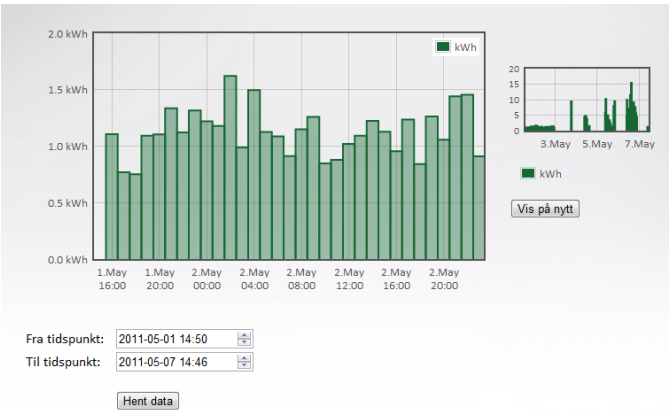
Sammenligning av kraftforbruk for tidligere perioder med nåtid, var som nevnt tidligere, viktig for kundene å ha tilgang til. Derfor lagde vi en egen seksjon på siden kalt *Historikk* som viser kundens forbruk de siste tre årene, enten fordelt etter måned eller de siste åtte ukene (f.eks. uke 18-25 2009-2011). Figur 6.4 viser ukesoversikten for forbruket de siste tre årene. Tilsvarende diagram for månedsvisning er altså tilgjengelig ved å trykke på valget *Måneder*.



Figur 6.4: Ukesvisning av historisk strømforbruk siste tre år

Dette burde gi kunder en mulighet til å tilgjengeliggjøre og se resultatene av eventuelle sparingstiltak de foretar seg og dermed være en av mange små faktorer som kan hjelpe til med å senke strømforbruket generelt.

Vi har også laget en side der forbrukeren kan se forbruket sitt i en valgt periode. På denne siden kan kunden sjekke forbruket sitt mellom to valgte tidspunkt, og enkelt se nærmere på mindre perioder i dette tidsrommet. Det er også et lite diagram som viser en oversikt over det valgte tidsrommet, mens det store diagrammet viser forbruket i perioden som velges fra det lille diagrammet. Dette kan velges ved å dra musa over det området på det lille diagrammet man vil se på. Siden er vist i figur 6.5 med forbruksdata for 1.-2.mai i det store diagrammet, og fra 1.-7.mai i det lille.

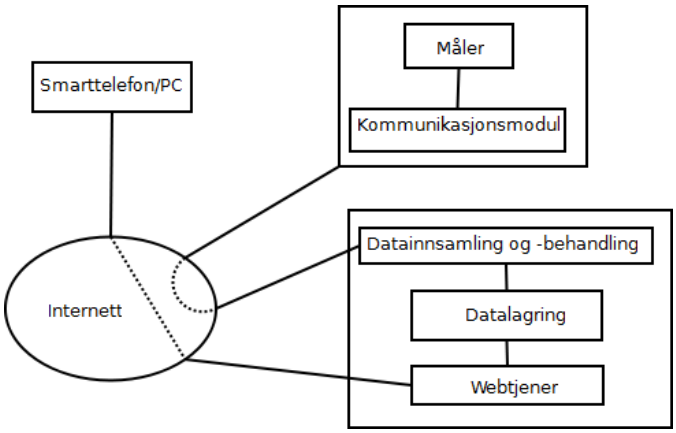


Figur 6.5: Forbruksinformasjon med selvvalgt tidsrom

6.2 Design

Utformingen av løsningen vår vises i figur 6.6. De stiplede linjene representerer flyt av datatrafikk gjennom nettverket.

Vi har en strømmåler som sender data via en kommunikasjonsmodul, i vårt tilfelle en Ethernet-modul. Denne modulen sender data over IP til en innsamlingsnode. I vår løsning er datainnsamlingen og databehandlingen på samme sted, det vil si enten på PC-ene våre eller på tjeneren vi har satt opp. Videre lagres informasjonen i en database. Når webtjeneren får en forespørsel fra en kunde, hentes data fra databasen og sendes over



Figur 6.6: Design av AMS-løsningen

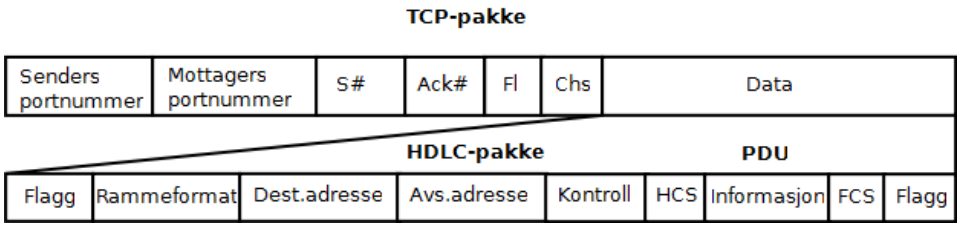
internett til nettleseren kunden bruker på sin PC eller smarttelefon. Datainnsamlingen, databehandlingen, lagringen og webtjeneren kan være helt uavhengige av hverandre, men i vår løsning er de samlet på samme tjener.

6.3 Kommunikasjon

Sammen med Trådløse Trondheim så vi på forskjellige strømmålere på markedet som kunne innfri kravene fra NVE og Trådløse Trondheim, som er beskrevet på side 8 og side 2. På det norske markedet var det to leverandører som skilte seg ut: Landis+Gyr og Kamstrup. Landis+Gyr sine strømmålere hadde ikke støtte for Wi-Fi og ble dermed utelukket. Lyse jobber med å innføre AMS, og har planer om å ta i bruk Kamstrup sine målere. Lyse vil også ta i bruk trådløs kommunikasjon mellom strømmåler og ekstern kommunikasjonsenhet. Derfor ble det naturlig for oss å bestille de samme målerne.

Vi fikk tilsendt en strømmåler av typen 162Kx3 med Ethernet-modul og en strømmåler av typen 282Kx3 med Wi-Fi-modul fra Kamstrup. Vi fikk gitt strømmåleren av typen 162Kx3 en statisk IP-adresse - "129.241.208.119", eller *strommaler.item.ntnu.no*. Den står koblet til en ruter og en strømkilde, og vi bruker PC-ene våre som DCS-er.

Transporten av pakker skjer ved hjelp av både HDLC- og TCP-protokollene, som begge er såkalt forbindelsesorienterte. Dette fører til at man setter opp tilkobling to ganger, en prosedyre som på oss virker merkelig, da det burde holdt med én av de to. Fra starten



Figur 6.7: Pakkestruktur i meldingene som sendes

trodde vi at vi bare skulle bruke TCP fordi det virket som den letteste og mest logiske løsningen. Det eneste som skulle til var en "wrapper" foran PDU-en. Vi prøvde derfor dette, men uten hell. Vi fant etter hvert ut at kommunikasjonsprofilen til strømmåleren var trelags HDLC og at åpningsmodusen var "DIRECT_HDLC" [6]. Siden vi ikke har kablet kobling mellom PC-ene våre og måleren, er ikke bruk av HDLC alene mulig. Derfor pakket vi inn HDLC-pakkene i TCP-pakker før vi sendte dem, slik pakkestrukturen vises i figur 6.7. Det hele virker ganske absurd, men det fungerte.

Det første vi gjorde var å sende en assosiasjonsforespørsel uten bruk av noen sikkerhetsmekanismer, da vi ikke hadde fått tilsendt noe passord eller annen dokumentasjon. Til dette benyttet vi Icube [27] sitt rammeverk.

Under er XML-notasjonen av assosiasjonsforespørselen gjengitt:

```
<AssociationRequest>
  <ApplicationContextName Value="LN" />
  <InitiateRequest>
    <ProposedDlmsVersionNumber Value="06" />
    <ProposedConformance>
      <ConformanceBit Name="Action" />
      <ConformanceBit Name="EventNotification" />
      <ConformanceBit Name="SelectiveAccess" />
      <ConformanceBit Name="Set" />
      <ConformanceBit Name="Get" />
      <ConformanceBit Name="BlockTransferWithAction" />
      <ConformanceBit Name="BlockTransferWithSet" />
      <ConformanceBit Name="BlockTransferWithGet" />
      <ConformanceBit Name="Attribute0SupportedWithGet" />
      <ConformanceBit Name="PriorityMgmtSupported" />
      <ConformanceBit Name="Attribute0SupportedWithSet" />
    </ProposedConformance>
    <ProposedMaxPduSize Value="FFFF" />
  </InitiateRequest>
</AssociationRequest>
```

Svaret på forespørselen så slik ut:

```
<AssociationResponse>
  <ProtocolVersion Value="1" />
  <ApplicationContextName Value="LN" />
  <AssociationResult Value="00" />
  <ResultSourceDiagnostic>
    <AcseServiceUser Value="00" />
  </ResultSourceDiagnostic>
  <InitiateResponse>
    <NegotiatedDlmsVersionNumber Value="06" />
    <NegotiatedConformance>
      <ConformanceBit Name="Get" />
      <ConformanceBit Name="BlockTransferWithGet" />
    </NegotiatedConformance>
    <NegotiatedMaxPduSize Value="006F" />
    <VaaName Value="0007" />
  </InitiateResponse>
</AssociationResponse>
```

Verdien i *AssociationResult* er 0, noe som betyr at assosiasjonen var vellykket, og at strømmåleren og klienten ble assosiert. Vi prøvde også senere å sende denne assosiasjonsforespørselen til Wi-Fi-måleren, men vi fikk ingen respons.

Da dette var gjort var vi interessert i å få tak i objektlista til *Management Logic device* på Ethernet-måleren. *Management Logic device* er en logisk enhet alle strømmålere som implementerer DLMS/COSEM må ha. Objektlista til hver logiske enhet inneholder en oversikt over alle tilgjengelige objekter og metoder i enheten. Denne lista er det andre attributtet til objektet av klassen *Assocation*, med det forhåndsbestemte navnet 0.0.40.0.0.255. Hvert listeelement består av det logiske navnet og klassen til et objekt [27].

Vi sendte en forespørsel for å få tak i objektlista. Denne forespørselen ga oss ei liste over objektene vi hadde tilgang til med assosiasjonen uten sikkerhet, men det eneste objektet som var interessant for oss var aktiv effekt (Watt). Vi hadde blant annet ikke rettigheter til å lese av aktiv energi.

Vi spurte Kamstrup om vi kunne få noe mer informasjon for å sende en assosiasjonsforespørsel med sikkerhet, slik at vi for eksempel kunne få tilgang til å lese av aktiv energi. De sendte oss et dokument som var en teknisk beskrivelse av deres DLMS-målere [1]. Vi sendte en assosiasjonsforespørsel med LLS til både *Management Logical device* og *Electric meter logic device*, men uten hell. LLS er sikkerhetsmekanismen som autentiserer DCS-systemet, og fungerer som tilgangskontroll. Vi kommer mer tilbake til det i avsnitt 6.5.

Forespørselen vi sendte kan sees under. Merk *CallingAuthenticationValue* med verdi 3039 som tilsvarer 12345 desimalt. Dette er standardpassordet Kamstrup ga oss.

```
<AssociationRequest>
  <ApplicationContextName Value="LN" />
  <SenderACSERequirements Value="1" />
  <MechanismName Value="LOW_SECURITY" />
  <CallingAuthenticationValue Value="3039" />
  <InitiateRequest>
    <ProposedDlmsVersionNumber Value="06" />
    <ProposedConformance>
      <ConformanceBit Name="Action" />
      <ConformanceBit Name="SelectiveAccess" />
      <ConformanceBit Name="Set" />
      <ConformanceBit Name="Get" />
      <ConformanceBit Name="BlockTransferWithGet" />
      <ConformanceBit Name="Attribute0SupportedWithGet" />
    </ProposedConformance>
    <ProposedMaxPduSize Value="FFFF" />
  </InitiateRequest>
</AssociationRequest>
```

Svaret vi fikk var:

```
<AssociationResponse>
  <ProtocolVersion Value="1" />
  <ApplicationContextName Value="LN" />
  <AssociationResult Value="01" />
  <ResultSourceDiagnostic>
    <AcseServiceUser Value="0B" />
  </ResultSourceDiagnostic>
  <InitiateResponse>
    <NegotiatedDlmsVersionNumber Value="06" />
    <NegotiatedConformance>
      <ConformanceBit Name="Get" />
      <ConformanceBit Name="BlockTransferWithGet" />
    </NegotiatedConformance>
    <NegotiatedMaxPduSize Value="006F" />
    <VaaName Value="0007" />
  </InitiateResponse>
</AssociationResponse>
```

Siden *AssociationResult* viser verdien 1, betyr det at assosiasjonen var mislykket [27]. Verdien i *AcseServiceUser* viser en feilmelding. Hva den står for kan finnes i IEC 62056-53, men denne har ikke vi tilgang til. Kildene våre [2, 27] sier at det er slik en assosiasjonsforespørsel med lav sikkerhet skal sendes og vi er derfor usikre på hvor feilen

ligger. Vi har derimot en mistanke om at det er HDLC-adressene som ikke er riktige, eller at de er skrevet på feil måte.

I Kamstrups spesifikasjon [1] står det at man har leserettighet på aktiv effekt med alle assosiasjoner. Derfor sendte vi en forespørsel om aktiv effekt til strømmåleren. Forespørselen så slik ut:

```
<GetRequest>
  <GetRequestNormal>
    <InvokeIdAndPriority Value="81" />
    <AttributeDescriptor>
      <ClassId Value="0003" />
      <InstanceId Value="0101010700FF" />
      <AttributeId Value="02" />
    </AttributeDescriptor>
  </GetRequestNormal>
</GetRequest>
```

Dette fungerte, og vi fikk tilbake verdien på effekten strømmåleren brukte akkurat da. Det er disse verdiene som kontinuerlig hentes av DCS-systemet vårt, lagres i databasen, og vises på nettsiden vi har laget. Det er imidlertid urovekkende at alle har tilgang til denne informasjonen fra strømmåleren, da aktiv effekt er høyst personsensitiv data.

6.4 Lagring av data og datamengder

6.4.1 Datamengder

Mengden av data som sendes har ofte vært diskutert, siden det har mye å si for blant annet valget av teknologi og kostnader forbundet med innføringen av AMS. Vår løsning har fått mange lag med protokoller som gjør at nyttedataene som sendes blir nokså små i forhold til den totalt sendte datamengden. Målingene våre viser at det sendes 1025 bytes med data, medregnet opp- og nedkobling av sesjoner, for å sende 114 bytes med nyttedata. Med nyttedata menes her lengden av APDU-ene som brukes i DLMS/COSEM. Disse har også litt overhead siden de omfatter assosiasjonsforespørsler og -svar. De faktiske dataene som mottas, altså den aktive effekten fra strømmåleren som er selve essensen i forespørselen som gjøres er kodet med 4 bytes. Vi ser dermed at vi har en nytteprosent på 11,1, som må sies å være relativt lavt.

I tabell 6.1 viser vi en oversikt over hvor mye nettverkstrafikk som genereres i tillegg

til hvor mye data som kan forventes å måtte lagres per tidsenhet for henholdsvis én og alle målere i hele Norge. Utregningene er gjort for måleravlesninger hvert kvarter, slik som det er foreslått i høringsnotatet fra NVE [32] og antall målere i Norge er estimert til 2,6 millioner, på bakgrunn av Christian Haugen sin masteroppgave [11]. Med tilleggstjenester og fullstendig system vil antagelig datamengdene være større, men beregningene her burde uansett gi en pekepinn på størrelsene.

	Dag	**Måned**	**År**
Data sendt over nettverk			
Én måler	96,1 KB	2,85 MB	34,3 MB
Alle målere i Norge	238 GB	7,07 TB	85,0 TB
Data lagret til database			
Én måler	4,80 KB	0,143 MB	1,67 MB
Alle målere i Norge	11,6 GB	353 GB	4,15 TB

Tabell 6.1: Datamengder generert av datainnsamlingssystemet

Nettverkstrafikken per år for alle målepunkter i Norge har vi altså estimert til 85 TB. Dette tilsvarer en trafikk på 22,6 Mbit/s - en hastighet som er lavere enn det som normalt tilbys hver enkelt kunde som har internettaksess gjennom fiber. Med andre ord vil ikke trafikken generert fra strømmålere gjøre noen særlig forskjell for internett-tilbyderne i Norge. Det er faktisk slett ikke utenkelig at internett-trafikken som må håndteres av webtjenerne for å vise kundene deres strømforbruk, vil overstige trafikken fra strømmåleravlesningene.

Når det gjelder mengden informasjon som lagres til database, er beregningene basert på vår egen database med måleverdier for aktiv effekt (Watt) og forbrukt energi (kilowatt-timer). Denne viser et gjennomsnitt på omtrent 50 bytes per innslag i databasen, som dermed er lagt til grunn for å vise hvilke lagringsmengder man står overfor. 4,15 TB informasjon kan høres mye ut, men det er langt fra avskrekkende med tanke på at denne lagringsplassen kan anskaffes for et par tusenlapper i dagens marked. Utfordringene vil komme av andre grunner enn datamengden i seg selv: for eksempel vil sikker lagring, rask tilgjengelighet på informasjon og skalerbarhet være viktige egenskaper å etterstrebe ved

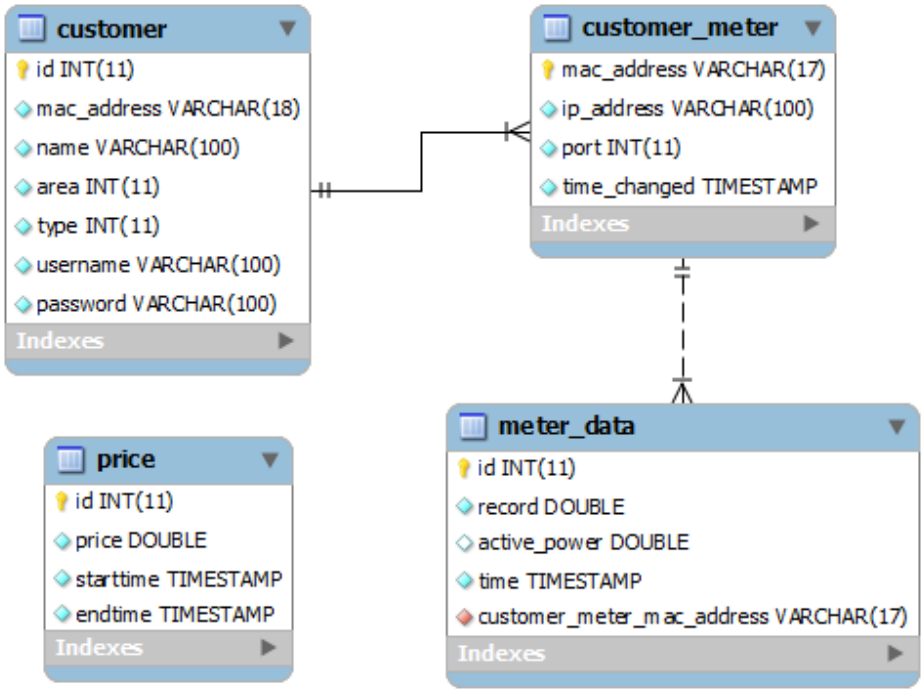
fullstendig implementasjon av systemet.

6.4.2 Lagringen av data

I vår løsning skjer lagring av data i en MySQL-database. Databasen har fire tabeller av betydning:

- Kunder - kundeinformasjon
- Målere - MAC-adresse, IP-adresse og portnummer for hver måler
- Målerdata - total energi, aktiv effekt, tidspunkt og kundeidentifikasjon
- Pris - pris for gitt tidspunkt

I figur 6.8 vises et enkelt relasjonsdatabase-diagram av disse tabellene.



Figur 6.8: Relasjonsdatabase-diagram

Tabellen for målere (customer_meter) er spesifikk for *kommunikasjonen* med målerne og inneholder derfor informasjonen som er nødvendig for å koble seg til en strømmåler.

Det er lagt opp til at MAC-adressen skal være fast, hvilket vil være naturlig siden den er direkte avhengig av maskinvaren og dermed sjelden vil bli skiftet. Listen over målere kunne inneholdt kundeinformasjon også, men det virker naturlig å ha dem skilt siden kundene og deres maskinvare logisk sett er adskilte enheter.

Både målerdata- og pristabellen bruker datatypen "timestamp" for å representere tiden oppføringene gjelder for. Denne datatypen lagrer tidspunkter på formatet 2011-05-17 12:00:00 og bruker dermed litt mer plass enn andre tidsrepresentasjoner, men gjør informasjonen mer lesbar og tilgjengelig for oss som utviklere.

I arbeidet vårt la vi til testdata for måleravlesinger hvert kvarter for de siste to og et halvt årene for å få et realistisk bilde av datamengdene og måten disse måtte håndteres på. Dette ga oss nokså store utfordringer med websiden på grunn av det store antallet måleravlesinger vi måtte forholde oss til (ca 85 000). Det ble raskt klart at vi ikke kunne la alle beregninger basere seg på alle verdier, og at vi derfor enten ble nødt til å gjøre overslag eller mellomlagre informasjon om forbruket underveis i egne tabeller i databasen. Det siste ville gitt nøyaktige resultater, men krever også at man vet nøyaktig hva slags informasjon man er ute etter å få lagret i tillegg til å ha et program kjørende kontinuerlig med logikk for å gjennomføre dette.

Det andre alternativet baserer seg på å la MySQL-databasen gjøre grovarbeidet med siling av målerdata, for eksempel ved bare å hente én målerverdi for hver dag i stedet for hvert kvarter hvis man skal regne ut forbruket for en hel måned. På denne måten får man redusert størrelsen på datasettene man skal gjøre beregninger på til et håndterlig nivå, men ofrer også en del nøyaktighet. Dermed er det mulig å vise kunden forbruksdata for lengre perioder uten for mye venting eller belastning på web-tjeneren.

Den største utfordringen vi har støtt på når det gjelder ytelse i forbindelse med nettsiden og beregningene av forbruksdata var en effektiv implementasjon av algoritmen som finner ut hvor mye man skal betale for sitt strømforbruk som i tillegg skulle være nøyaktig. Utfordringene omfatter blant annet følgende:

- Måleravlesingene kan være registrert på vilkårlig tidspunkt.
- Prisene kan gjelde for et vilkårlig tidsrom.
- Tidspunktene for prisskifter og måleravlesinger er helt uavhengige av hverandre.

Dette gjør for eksempel at man må beregne forbruket mellom hvert prisskifte og gjøre gjennomsnitt for hvor mye av forbruket som gjelder hvilken pris mellom to

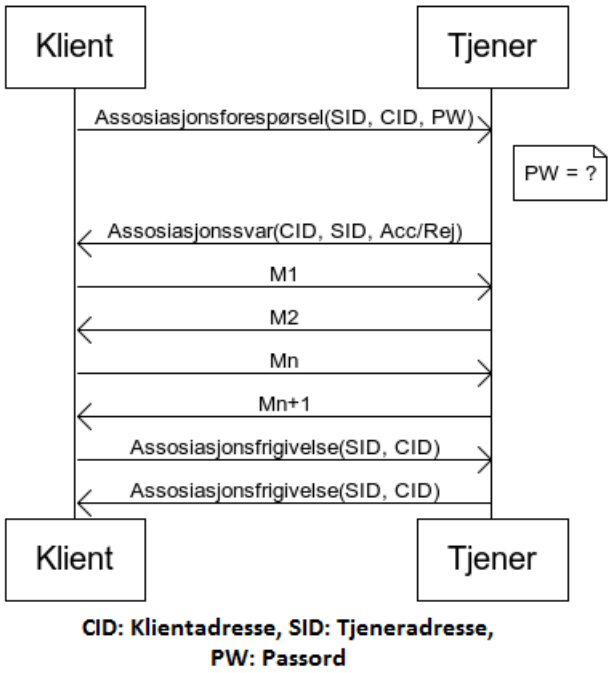
avlesinger. Vi gjør dette ved å lage en liste med hendelser som enten er prisendringer eller måleravlesinger, sorterer denne på tiden de gjelder for, og gjør beregningene kronologisk for hver hendelse.

Vi skjønte tidlig at det ville være lurt å indeksere tidskolonnen i målerdatatabellen slik at oppslag som henter data for et visst tidsrom gjøres raskere. Å indeksere en kolonne gir større plassbruk, men det vil også gjøre spørringene raskere.

6.5 Sikkerhet

HLS er autentiseringsmekanismen med høyest sikkerhet i DLMS/COSEM, og også det eneste alternativet for kryptering av meldinger. Vi så ikke for oss noen løsning uten å benytte oss av dette, ettersom sikkerhet er høyt prioritert når det gjelder behandling av personsensitive data. I den tekniske beskrivelsen vi fikk fra Kamstrup [1] stod det derimot ingenting om assosiasjoner med HLS, kun med LLS (i tillegg til assosiasjon uten noe sikkerhet i det hele tatt). Det var meget synd, for LLS-autentisering er langt fra sikkert nok ved bruk av internett som kommunikasjonskanal. Det eneste klienten gjør ved LLS-autentisering er å sende med et passord som må være det samme som tjeneren har. Tjeneren autentiseres ikke, noe som i praksis betyr at man ikke kan være sikker på at kommunikasjon skjer med riktig strømmåler. Hvis passordet ikke endres er det alltid den samme meldingen som sendes til tjeneren i en assosiasjonsforespørsel. Dette gjør autentiseringen svært sårbar for repetisjonsangrep. Alt som behøves av en angriper er å fange opp meldingen og sende den samme meldnigen på nytt senere, gitt at passordet ikke har blitt endret. Hvis angriperen får til dette, vil den bli assosiert og til og med kunne endre passordet som benyttes. Dette vil skape store problemer for datainsamlingen som ikke lenger vil kunne hente ut data fra strømmåleren, siden den ikke lenger kan autentisere seg. Denne måten å autentisere seg på brukes derfor typisk når kommunikasjonskanalen tilbyr nok sikkerhet til at tyvlytting og kopiering av meldinger ikke er praktisk gjennomførbart [2], en virkelighet som er fjern fra den på internett.

En autentisering med LLS starter med at klienten sender et passord med *Calling_Authentication_Value*-parameteren i assosiasjonsforespørselen. Tjeneren sjekker om det mottatte passordet samsvarer med klientidentifikasjonen. Hvis det gjør det, blir assosiasjonen etablert. Hvis ikke, avvises assosiasjonen. Resultatet sendes tilbake til klienten i en assosiasjonssvar-melding. Autentiseringsprosessen med LLS er vist i figur



Figur 6.9: LLS-autentisering, modifisert fra [2]

6.9.

I den tekniske spesifikasjonen fra Kamstrup [1] er tre typer assosiasjoner oppført. To av dem er til *Management logic*-enheten og én til *Electric meter logic*-enheten. Assosiasjonen til *Electric meter logic*-enheten er en LLS-assosiasjon og den gir leserettigheter til nesten alle objekter. LLS-autentiseringen til *Management Logic*-enheten gir mer begrensede rettigheter, mens assosiasjonen uten noe sikkerhet til *Management Logic*-enheten naturlig nok kun har leserettigheter til noen få av objektene. Vi prøvde på en LLS-assosiasjon i løsningen vår, men det var kun assosiasjonen uten sikkerhet som ble vellykket etablert.

6.6 Datainnsamlingssystemet (DCS)

Vår implementasjon av datainnsamlingssystemet (DCS), er gjort i programmeringsspråket Java. Vi har fire pakker i prosjektet vårt: *crypto*, *data*, *dcs* og *net*. En gjennomgang av hver pakkes hovedoppgave er gitt i tabell 6.2 og en lengre beskrivelse gis i teksten under.

Pakkenavn	**Hovedoppgave**
crypto	Kryptere meldinger og gjøre nøkkelhåndtering
data	Definering av meldingstyper, uthenting av informasjon fra XML, lagre og hente data fra database og hjelpemetoder for å skifte mellom datatyper (f.eks. byte-tabeller og strenger).
dcs	Holde styr på hvilke målere som skal avleses, når og hvor ofte.
net	Oppkobling til og henting av data fra én enkelt strømmåler

Tabell 6.2: Pakkeoppdelingen til datainnsamlingssystemet

Pakken *crypto* har to viktige metoder for henholdsvis å kryptere og dekryptere meldinger. Som forklart i kapittel 5 er implementasjonen basert på høynivå sikkerhet slik det er forklart i DLMS/COSEM-standardens "grønne bok", såkalt HLS. Vi benytter RSA Share for Java, utviklet av EMC Corporation [8] som rammeverk for utviklingen av sikkerhetsmekanismene. Det betyr at det er deres implementasjon av AES-GCM som ligger til grunn for krypteringen. Siden strømmålerne vi har benyttet ikke støtter HLS har vi måttet nøye oss med eksempler fra den "grønne boka" [2] for å verifisere at kryptering og dekryptering av meldinger faktisk fungerer og følger standarden. Vi har verifisert at kryptering av assosiasjonsforespørsel skjer slik det er beskrevet i spesifikasjonen i avsnitt 12.2 [2]. *Crypto*-pakken er ikke ferdigutviklet, men det er en lovende start for videre utvikling og sammenkobling mot målere som implementerer HLS.

I pakken *data* finnes koden som gjør bearbeiding av informasjon samt henting fra og lagring til database. Databaseklassen er laget etter det såkalte "singleton"-mønsteret, som betyr at det aldri kan finnes mer enn én instans av denne klassen. Dette sikrer at ikke flere prosesser eller tråder skriver til databasen samtidig, noe som er praktisk for å unngå låser og eventuell inkonsistens i dataene. I tillegg har vi metoder for parsing av XML, som gjør at vi kan hente enkeltverdier fra APDU-er, for eksempel fra meldinger slik som beskrevet i seksjon 3.4.1 på side 23. I denne pakken har vi også plassert de ulike

meldingstypene som finnes. Eksempler på disse er assosiasjonsforespørsel med og uten sikkerhetsmekanismer og forespørsel om aktiv effekt og energi. Disse meldingene er lagret som XML, og må kodes om til A-XDR for å sendes til strømmålerne. Til denne jobben har vi funnet et kildekode-bibliotek laget av Icube [27], som har metoder for xml-til-pdu og omvendt. Vår erfaring er at dette biblioteket fungerer utmerket og følger standarden slik det er definert i den "grønne boka" [2]. Siden informasjonen som sendes over nettverket til strømmålerne sendes som byte-tabeller, har vi ved flere anledninger sett oss nødt til å konvertere strenger til byte-tabeller og vice versa og det finnes derfor en rekke hendige metoder for håndtering av dette i klassen *Helper*. De fleste av metodene har vi kopiert fra diverse nettsteder og testet og verifisert på egenhånd.

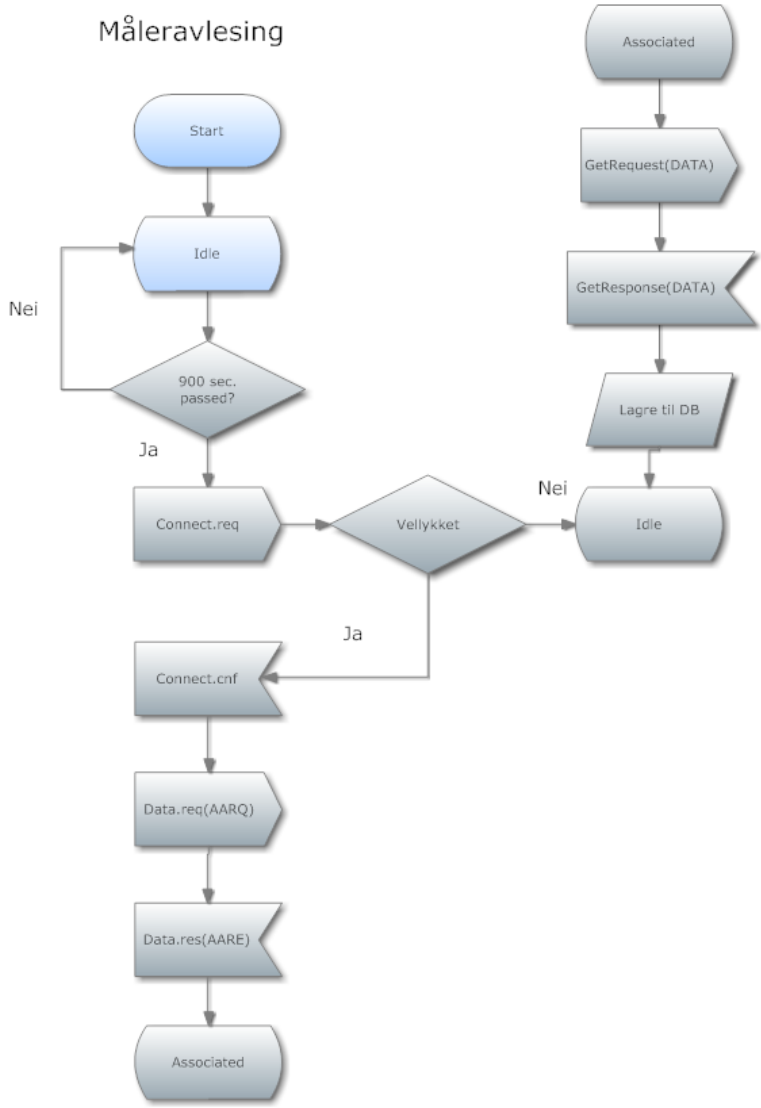
Pakken *dcs* er hovedpakken, der alle prosesser og tråder startes og stoppes. Her sjekkes det opp mot databasen hvilke målere som skal avleses til enhver tid. Dersom informasjon om tilkobling til målere endres, for eksempel ny IP-adresse eller ny port, oppdateres dette i DCS slik at man bruker den nye informasjonen til å koble til målerne. Det samme gjelder hvis man legger til eller fjerner målere som ikke lenger skal avleses. Det at prosessen for datainnsamling oppdaterer lista av målere kontinuerlig uten at den må stoppes er en praktisk egenskap og noe som for eksempel kan utnyttes i nettverk som benytter Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) for dynamisk tildeling av IP-adresser. Denne relativt løse koblingen mellom program og informasjon om målere er altså gjort mulig ved å lagre tilkoblingsinformasjonen om målerne i databasen og jevnlig sjekke om det har skjedd endringer siden sist.

Pakken *net* inneholder logikken og håndteringen av nettverkstilkobling til en måler. Det er her opprettelse og nedkobling av TCP- og HDLC-tilkoblinger skjer. I tillegg håndteres assosiasjonsforespørsler og sending av meldinger for avlesning av de ulike verdiene til en respektiv måler. I figur 6.10 har vi vist forløpet av en slik måleravlesing i form av et SDL-tilstandsdiagram.

6.6.1 Betjening av mange målere samtidig

Vi hadde lyst til å lage en fornuftig måte å kunne betjene mange målere samtidig på. Løsningen vi har gått for oppretter en ny tråd for hver "klient" som betjener hver sin strømmåler. Det er DCS-en som holder oversikt og starter alle klientene som nye tråder. Dette gir noen implikasjoner:

- Alle sesjoner med strømmålere opprettes på nytt hver gang



Figur 6.10: SDL-diagram for avlesing av målerdata

Det vil si at assosiasjoner, TCP- og HDLC-tilkoblinger stenges ned etter man har fått tak i den informasjonen man etterspurte eller en slik forespørsel feilet. Det gjør også at man vil forsøke å hente data fra alle målere uavhengige av om forrige avlesing feilet eller ikke.

- Systemet håndterer mange målere parallelt

  Det er krevende for en maskin å håndtere (veldig) mange tråder samtidig og det finnes harde grenser for hvor mange som *kan* kjøres selv om tallet er flere tusen [28], men med litt avansert tidsberegning for når ulike målere avleses trenger man ikke nødvendigvis å kjøre så mange tråder samtidig selv om man skal håndtere mange tusen strømmålere. Dette er selvsagt fordi hver måler bare skal avleses hvert 15. minutt [32] og hver avlesing kun tar et par sekunder totalt.

- Ekstra funksjonalitet behøves for reell toveiskommunikasjon

  For å støtte ekte toveiskommunikasjon må både strømmåler og DCS kunne initiere tilkoblinger. For å få til det er man nødt til å ha en tjener som aksepterer innkommende tilkoblinger i DCS. Dette er ikke noe vi har implementert i systemet. Som nevnt stenges hver sesjon ned etter endt avlesning i vår løsning.

- Ikke perfekt timing

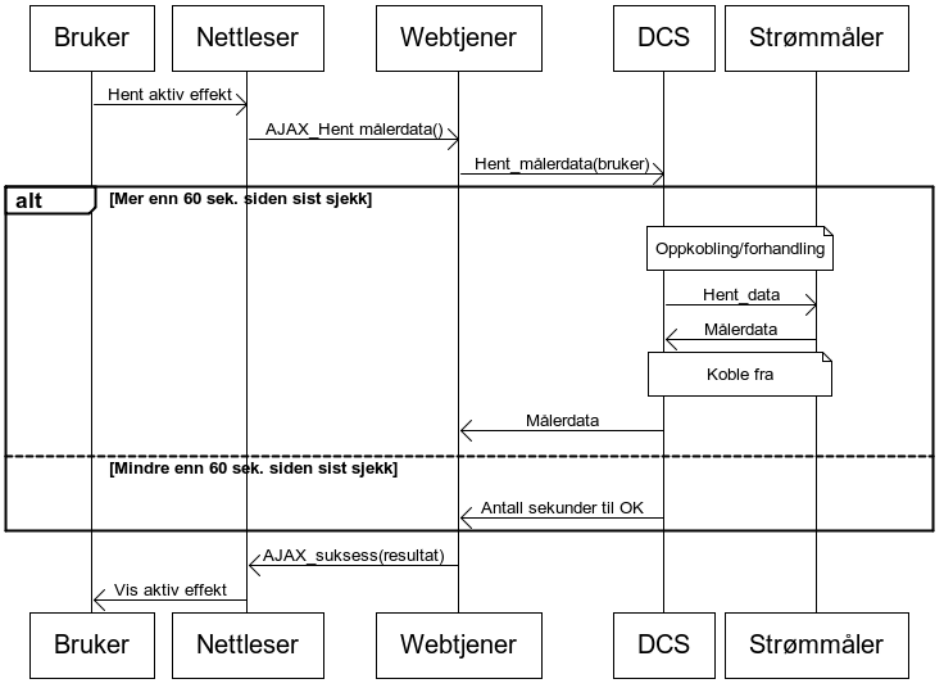
  Utførelse av mange tråder i parallell gir ingen garanti om når oppgaven vil være ferdig. Gjennomføringen av oppgavene skjer mer eller mindre i vilkårlig rekkefølge for tråder som startes samtidig. Det faktum at uthentingen av data skjer over internett, forsterker timing-usikkerheten siden man ikke kan få mer enn "så godt som mulig"-innsats fra nettverket. Likevel burde det her være snakk om noen sekunder fra eller til i forskjell på avlesingstidspunktene - og dermed neppe være et stort problem.

På grunn av et naturlig nok begrenset utvalg målere, har vi ikke fått testet i hvor stor grad løsningen vår skalerer, men vi har registrert at programmet bruker svært lite ressurser og kjører stabilt over lang tid (mange døgn). Faktisk har løse nettverkskabler vært et mye større problem for oppetiden til DCS.

6.6.2 Brukerinitiert avlesning

På nettsiden har man mulighet til å hente aktiv effekt på forespørsel. Det tar vanligvis under to sekunder før man får svar og vi mener derfor det kan anses som en sanntidstjeneste. Det er også en tjeneste man ville få problemer med å implementere hvis man benyttet noe annet enn internett som kommunikasjonskanal, både av økonomiske og tekniske årsaker, slik vi diskuterte i kapittel 4. På datainnsamlingssytemets side krever dette kommunikasjon mellom PHP og Java-programmet siden datainnsamlingen foregår

ved bruk av Java, mens kommunikasjonen med kunden gjennom nettsiden skjer via PHP. Overføringen av informasjon mellom disse to logisk sett adskilte systemene har vi implementert ved bruk av såkalte "Sockets", der Java-koden kjører en tjenerprosess og PHP-koden starter en klientprosess på forespørsel. Figur 6.11 viser et sekvensdiagram for hvordan uthentingen av data foregår når den blir startet av brukeren på nettsiden. For detaljer om kommunikasjonen mellom DCS og strømmåler se figur 3.6.



Figur 6.11: Brukerinitert innhenting av målerdata

7

Diskusjon

Som nevnt i det forrige kapittelet om resultatene, fikk vi ikke etablert noen LLS-assosiasjon med strømmåleren. Vi sendte forespørselen vår til Kamstrup og lurte på om det var noe feil med den, eller om passordet kunne være feil. Vi fikk tilbakemelding på at den ene HDLC-adressen var feil, så vi byttet den til 32 slik Kamstrup foreslo, men LLS-forepsørselen ble fortsatt avslått. Dialogen med Kamstrup har generelt gått litt sakte, fordi Kamstrup har vært trege til å svare og dialogen har gått gjennom tre ledd. Det har også vært litt frem og tilbake hvilken person vi skal snakke med fra Kamstrup og de vi har hatt kontakt med har ikke alltid hatt den tekniske innsikten vi hadde håpet på.

Trådløse Trondheim hadde utarbeidet ei liste med krav til en AMS-løsning, som står nevnt i kapittel 1. Måleren skulle ifølge denne lista ha en Wi-Fi-modul, men måleren i vår løsning bruker Ethernet som tilkoblingsmedium. Wi-Fi-måleren som vi også har jobbet litt med, bruker WPA2 som sikkerhetsprotokoll for trådløs tilkobling slik det er nevnt i kravene. Det var også et krav om at måleren skulle ha et API. Det finnes ikke noe spesifikt API for måleren vi har brukt, men DLMS/COSEM-spesifikasjonen som er benyttet utgjør et slags API for datauthenting. Vi var opptatt av sikkerhet i løsningen vår, men fordi vi kommuniserte med en bestemt måler måtte vi forholde oss til det som var implementert av leverandøren. Nesten alle kravene var direkte avhengige av måleren og dens egenskaper og Kamstrup sine målere innfrir ikke alle disse.

7.1 Mangler og svakheter

For å utvikle en komplett AMS-løsning med strømmåleren vi kjøpte inn må det mange forbedringer til. For det første må en LLS-assosiasjon opprettes, siden det kreves for å få leserettigheter til strømforbruk. Etter en LLS-assosiasjon er opprettet må verdien og skaleringen til det aktuelle objektet leses. Hadde vi fått til dette ville vi hatt en faktisk løsning på strømavlesning hvert kvarter. Men det hadde ikke vært noen god løsning, siden LLS er brukt som autentiseringsmekanisme og ikke tilbyr noen form for kryptering av informasjon. Som sagt er internett en helt åpen, usikret kommunikasjonskanal, som betyr at tyvlytting og kopiering av meldinger ikke er noen kunst å få til. En fullstendig AMS-løsning bør/må ha HLS som autentiserings- og krypteringsmekanisme eller tilsvarende, mellom klient og tjener. Vi fant dessverre ingenting om HLS i den tekniske spesifikasjonen [1] fra Kamstrup, og fikk heller ingen informasjon fra dem om HLS på direkte forespørsel. Derfor går vi ut fra at de ikke har implementert DLMS/COSEM med HLS i sine målere.

Vi har benyttet en måler med en Ethernet-modul, og den er tilkoblet internett ved hjelp av kabel. På grunn av diverse problemer vi har hatt underveis har vi fokusert på å få etablert kommunikasjon med denne før vi testet løsningen vår mot måleren med Wi-Fi-modul. Vi trodde at kommunikasjonen ville foregå på samme måte mot Wi-Fi-måleren, men det viste seg å ikke stemme.

En negativ egenskap vi oppdaget under testingen av Wi-Fi-måleren, var svært dårlig signalstyrke. Selv da vi hadde måleren helt inntil det trådløse aksesspunktet, var signalstyrken ikke bedre enn ca. 60 %, og dersom vi plasserte måleren særlig mer enn fem meter unna aksesspunktet var den ikke engang i stand til å koble til. Vi bekreftet dette ved bruk av forskjellige aksesspunkter og PC-ene og smarttelefonene våre hadde ingen signalproblemer. Dette er dårlige nyheter for en eventuell praktisk gjennomføring av et slikt prosjekt, siden de faktiske forholdene systemet skal anvendes i slett ikke vil by på mindre enn fem meter avstand eller fri sikt mellom måler og aksesspunkt. Likevel vil dette trolig kunne løses ved bytte av Wi-Fi-modul.

7.2 Erfaringer fra arbeidet

7.2.1 Anbefalte krav

På bakgrunn av dette vil vi anbefale, dersom det finnes alternativer, å bytte leverandør av strømmåler. Hvis vi skulle satt opp våre krav til egenskapene ved en strømmåler, vil de klart viktigste punktene være:

- Implementerer DLMS/COSEM
- Støtter bruk av HLS - både for assosiasjoner og sending av informasjon
- Har mulighet for kommunikasjon gjennom Wi-Fi
- At kommunikasjonen og bruken av strømmåleren, spesielt det som gjelder DLMS/COSEM, er *grundig* dokumentert

Dette er antagelig den viktigste lærdommen vi har gjort oss gjennom vårt arbeid med oppgaven, til hjelp for fremtidig arbeid. Hadde vi vært klar over dette fra starten av og kunne stilt disse kravene til eventuelle produsenter, ville vi lettere ha kunnet lage en løsning som tilfredsstilte de målene vi hadde satt oss før arbeidet startet.

HLS hadde sikret ende-til-ende-kryptering ved hjelp av AES-GCM og gitt en løsning som ville vært sikker.

Bruken av DLMS/COSEM sikrer en standardisert måte å aksessere informasjon på målere, uavhengig av hvordan resten av systemet er implementert. At det er en gjennomført og godt ansett standard, gir også trygghet ved at man i prinsippet skal kunne bytte strømmålerprodusent uten for store endringer, så lenge målerne implementerer den samme versjonen av standarden. På denne måten sikrer man seg mot stor grad av innlåsing til én produsent, noe som kan vise seg å bli en stor fordel i det lange løp.

Våre erfaringer med DLMS/COSEM er udelt positive. Når en skal sette seg inn i standarden for første gang er det en omfattende jobb og mange nye konsepter å lære seg, men etter hvert som en kommer inn i det faller ting mer naturlig og en skjønner at mulighetene er mange. Spesifikasjonene [2, 3] er gode, grundige og inneholder en del eksempler på praktisk bruk. At spesifikasjonen ser ut til å bli en standard mange av strømmålerprodusentene aksepterer og vil benytte i sine målere, er også et kvalitetsstempel.

7.2.2 Generelle erfaringer

Det tok lenger tid enn vi hadde håpet og planlagt før vi fikk strømmålerne. Vi fikk dem rett før påske, men skulle nok helst hatt dem minst en måned før, siden vi var avhengige av en strømmåler for å starte på selve AMS-løsningen. Prosessen rundt dette burde vært bedre, selv om det er vanskelig å si akkurat hvordan det skulle vært gjort. Det var vanskelig for oss å skulle finne ut hvilke strømmålere vi skulle bestille, da vi overhodet ikke hadde noe kunnskap på det området. På dette tidspunktet visste vi lite om hvordan ting skulle løses, hvilke standarder som skulle benyttes eller om vi skulle utvikle programmer som skulle kjøre på en strømmåler. Dette er et eksempel på hvordan lite kunnskap om et emne gir stor risiko for den videre prosessen fordi man er nødt til å ta beslutninger på et tidlig tidspunkt.

En altfor stor del av vår tid har gått med til å "gjette seg fram" eller gjøre antagelser på grunn av lite tilgjengelig, manglende eller dårlig dokumentasjon. Av den grunn vil vi i aller høyeste grad anbefale å spørre om det finnes dokumentasjon for bruk av og kommunikasjon mot den aktuelle strømmåleren før et innkjøp. I mange tilfeller har vi følt at vi forholdt oss til en "svart boks" som vi sendte informasjon til, og, hvis vi var heldige, fikk svar tilbake fra. Vi har i litt for stor grad vært prisgitt DLMS UA sin "green book" [2] og Icube sine nettsider og instruksjoner [27] for å skjønne hvordan vi skulle gjøre kommunikasjonen med måler og det har fått oss til å forstå viktigheten av å ha en leverandør som er åpen om egenskapene til utstyret de selger og hvordan det kan kommuniseres med. En standard beskriver ofte flere alternativer, mens en strømmåler ofte bare følger noen av disse. Et kroneksempel på en vanskelighet av denne typen som vi støtte på underveis var innkapslingen av meldinger og hvilke protokoller vi måtte benytte for å koble til strømmåleren og hente ut data. Dette står beskrevet nærmere i avsnitt 6.3, der løsningen var å ha HDLC-meldinger pakket inn i TCP-meldinger og dermed sette opp en forbindelsesorientert oppkobling *to* ganger. Dette er en type problem det tok utrolig lang tid å finne ut av, og uten dokumentasjon av særegenheter som for eksempel denne, fikk vi problemer med å komme i mål.

7.3 Bransjen og Trådløse Trondheims rolle

Slik vi ser det er det helt klart at IKT-kompetansen i bransjen er altfor lav i forhold til behovet som melder seg. Det skal utvikles store og avanserte systemer og det er spesielt mange av de mindre nettselskapene som per i dag ikke har den nødvendige kompetansen som vil kreves. Derfor ser vi det som helt nødvendig at selskapene kjøper ferdiglagde løsninger eller leier inn kompetanse for å utføre IKT-relaterte oppgaver. Dette kan gjøres i tillegg til fast ansattelse av personer med IT-kompetanse. Arbeidsoppgavene vil dreie seg om nyutvikling av datainnsamlingssytem, integrasjon mot eller innbaking av eksisterende systemer, samt utbygging av en mer generell IKT-infrastruktur. Helst burde dette skje på en måte som gjør senere utvidelser eller mindre endringer av eksisterende systemer lettere å gjennomføre.

Sentralt for dette blir spørsmålet om hvordan man skal foreta utvidelsen av IT-systemene. Skal man bygge på det eksisterende systemet, bygge om, eller rett og slett bygge opp alt fra starten? Svaret på dette spørsmålet vil variere sterkt fra aktør til aktør og blant annet være avhengig av hvor omfattende deres eksisterende systemer er, hvor egnet de er for utvidelser eller hvor lett det er å integrere dem inn i en ny og større løsning.

Det er ikke tvil om at kompetansebehovet for IKT i kraftbransjen vil øke dramatisk de neste årene. Enten nettselskapene vil eller ikke, må de gjøre store endringer og utvidelser i systemene sine. Deres arbeidsoppgaver og ansvarsområder vil både øke i omfang og endre karakter, og det største skiftet skjer på IKT-siden. På bakgrunn av dette er vi sikre på at det finnes et marked som blant andre Trådløse Trondheim kan betjene og profittere fra. Tidspresset myndighetene har lagt på gjennomføringen, og spesielt for landsdelen Midt-Norge, gjør markedet ytterligere mer attraktivt for aktører som allerede innehar kompetanse og er i stand til å tilpasse seg raskt - en beskrivelse vi vil si passer godt til Trådløse Trondheim.

8

Konklusjon

Olje- og energidepartementet har pålagt at AMS skal innføres i 80 % av alle målepunkter i Norge i løpet av 2016, og i 80 % av alle målepunkter i Midt-Norge i løpet av 2013. Selv om mye tyder på at hvert fall det siste kravet vil bli utsatt, vil AMS bli innført i Norge på et eller annet tidspunkt. Problemstillingen vår gikk ut på å kartlegge fordeler og ulemper ved å bruke WLAN som kommunikasjonskanal, samt å utvikle en fullstendig AMS-løsning for å vise at dette er et konsept som kan fungere i praksis. Vi har brukt mest tid på å utvikle løsningen.

Fordeler og ulemper ved å bruke WLAN

Løsninger som baserer seg på eksisterende infrastruktur, og som derfor ikke behøver de store investeringene for å få kommunikasjonsnettverket til å fungere, vil være mye rimeligere å benytte seg av enn andre alternativer. En annen grunn som gjør WLAN enda billigere er det faktum at bruken av nettverket er gratis, så lenge det finnes et nettverk. Siden pris alltid er viktig, er dette store fordeler for bruk av Wi-Fi. God ytelse, høye overføringshastigheter og fremtidssikkerhet er andre store fortrinn.

Den største ulempen slik vi ser det, er rekkevidden av kommunikasjonen i hvert enkelt hjem. Våre uformelle tester viser svært dårlige resultater når det gjelder signalstyrke, og for en kommersiell utrulling blir det nødvendig at målere kan koble seg til aksesspunktene uavhengig av praktiske, fysiske hindringer eller naturlige avstander. Wi-Fi vil heller ikke kunne være eneste løsning som kommunikasjonskanal på grunn av begrenset utbredelse, og fullstendige løsninger må derfor ha alternativer for kommunikasjonen. Avhengigheten

til et kablet nettverk som eies av mange forskjellige leverandører, er også en utfordring å løse for Wi-Fi som kommunikasjonsalternativ.

AMS-løsningen

Vi har laget en AMS-løsning som henter nåværende effekt fra en strømmåler, men ikke strømforbruket slik planen var. Løsningen lagrer effekt sammen med automatisk genererte strømdata hvert 15. minutt. Disse dataene samt prisdata og utetemperaturer vises på en nettside på ulike måter, enten som tall, grafer og/eller diagrammer. Nettsiden kalkulerer også forbruk i kroner og øre, og gjør sammenligninger. Vi har i tillegg gjort det klart for kryptering av meldinger, men det er ikke tatt i bruk fordi denne sikkerhetsmekanismen (HLS) ikke er støttet av strømmåleren vi har benyttet. Vi kommuniserer med måleren uten noe sikkerhet, ettersom LLS-assosiasjonen ikke blir akseptert.

Strømmåleren vi har brukt er av typen Kamstrup 162Kx3 med Ethernet-modul. Kommunikasjonskanalen vi har benyttet mellom strømmåler og DCS er internett, og kommunikasjonsstandarden som er brukt i implementeringen er DLMS/COSEM.

Løsningen vår oppfyller ikke alle kravene Trådløse Trondheim stilte til en AMS-løsning. I hovedsak skyldes dette valget av måler og dens egenskaper.

Vi har vist at det er fullt mulig å bruke LAN som kommunikasjonskanal i AMS. Dermed skal det være mulig med WLAN også, selv om Wi-Fi-modulen vi brukte hadde for svak signalstyrke og ville fungert dårlig under realistiske forhold. Vi hadde som mål å få til en fullstendig løsning med avlesing av strøm hvert 15. minutt, men riktig type assosiasjon feilet. Vi tror imidlertid at det må være små forandringer som skal til før vi hadde hatt et fullt fungerende system. Vi konkluderer også med at et bytte av leverandør vil være gunstig.

Videre arbeid

I våre øyne vil det beste for en eventuell videreføring av dette prosjektet være å velge en ny leverandør av strømmåler. Mange av grunnene til det er nevnt i kapittel 7. Spørsmålet blir om det finnes noen leverandører som kan levere til de kravene som stilles. Kravet om støtte for kommunikasjon gjennom Wi-Fi kan vise seg å være spesielt vanskelig å få innfridd. Det finnes noen leverandører vi vil anbefale å kontakte og se nærmere på, blant andre Itron, Landis+Gyr, Aidon og Echelon BV.

Det er også mye som fortsatt kan gjøres både på nettsiden og i DCS. Etter hvert kan det kanskje også bli aktuelt å lage egne løsninger for visning av forbruket på mobile enheter, enten ved bruk av applikasjoner eller nettsider tilpasset mobile enheter.

Bibliografi

[1] Kamstrup A/S. Technical description DLMS kWh meters.

[2] DLMS User Association. COSEM Architecture and Protocols (Green Book) 7^{th} ed., 2009.

[3] DLMS User Association. COSEM Identification System and Interface Classes (Blue Book), 2010.

[4] Devoteam Davinci and Thema Consulting Group. AMS - Tilleggstjenester. Tredjepartsadgang. http://www.nve.no/PageFiles/808/Thema_110202_AMS-tilleggstjenester.pdf?epslanguage=no.

[5] DLMS User Association. 10-2 DLMS/COSEM in the forefront of Smart Metering. http://www.dlms.com/news/10-2-dlms-cosem-in-the-forefront-of-smart-metering.html.

[6] DLMS User Association. Certification No. 1124 . http://dlms.com/documents/conformance/Cert_Kamstrup_K162X_091001.pdf.

[7] DLMS User Association. DLMS device language message specification. http://dlms.com/index2.php, 2011.

[8] EMC Corporation. RSA BSAFE® Share for Java . https://community.emc.com/docs/DOC-3286.

[9] Energi Norge. AMS i Norge - konferanse.

[10] Hallvard Berg og Harald Wium Lie. 100/100 Mbit/s bredbåndskapasitet til alle husstander og virksomheter. http://www.regjeringen.no/upload/FAD/Vedlegg/IKT-politikk/BB_ved15.pdf.

[11] Christian Haugen. Vurdering av kommunikasjonsalternativer for informasjonsutveksling med AMS mellom smarte hus og et smart kraftnett, 2010.

[12] Homeplug Powerline Alliance. IEEE P1901 and the HomePlug Alliance. http://www.homeplug.org/tech/ieee_1901.

[13] I. Hakki Cavdar. Performance Analysis of FSK Power Line Communications Systems Over the Time-Varying Channels: Measurements and Modeling. http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1256365&tag=1.

[14] IEEE Standards Association. IEEE Std 1901-2010, IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications. http://grouper.ieee.org/groups/1901/.

[15] John Viega og David A. McGrew. The Galois/Counter Mode of Operation (GCM), 2005.

[16] Klaas De Craemer og Geert Deconinck. Analysis of State-of-the-art Smart Metering Communication Standards. https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/265822/1/SmartMeteringCommStandards.pdf.

[17] Klaas De Craemer og Geert Deconinck. Analysis of State-of-the-art Smart Metering Communication Standards. http://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/265822/1/SmartMeteringCommStandards.pdf.

[18] Kristian Engan. Bruksområde for data registrert i MV/LV nettstasjon for bruk i distribusjonsnettet. http://www.sintef.no/project/M-AMS/Ferdige%20dokumenter/Kristian%20Engan%20-%20Masteroppgave%20A4.pdf.

[19] Leif Martin Kirknes. Alle mister jobben i Telenor Cinclus. http://www.idg.no/computerworld/article161383.ece.

[20] Lea Networks. How does it work? http://www.lea-networks.com/hwplc.htm.

[21] NVE. Med AMS fra 2011 til 2020. http://www.energinorge.no/getfile.php/FILER/KALENDER/Foredrag%202011/AMS%20i%20Norge/ons%2010%2015%20Grammeltvedt%20AMS%20temadag%2025%20mai.pdf.

[22] Oddbjørn R. Roalkvam. AMS og kunden. http://bkk-web.bkk.no/idaweb?dokid=11043756&filename...vest...ver.., 2010.

[23] Post og teletilsynet. Kabel-tv og fiber som aksess - om norske husstanders kombinasjon av internett, tv og bredbåndstelefoni? http://www.npt.no/ikbViewer/Content/126325/Fiber_Kabel_1602_2011_2.pdf.

[24] Per Erik Nordbø. Teknologi og Løsninger for AMS / SmartGrid. http://bkk-web.bkk.no/idaweb?dokid=10943603&filename=12.pdf.

[25] Per-Kristian Helland. Economic Profitability in the Norwegian Fiber-to-the-Home Market (prosjektoppgave).

[26] Statistisk sentralbyrå. Informasjonssamfunnet. http://www.ssb.no/emner/10/03/ikt/.

[27] Icube software. The DLMS communication survival kit. http://icube.ch/DLMSSurvivalKit/dsk1.html.

[28] StackOverflow. How many threads can a Java VM support? http://stackoverflow.com/questions/763579/how-many-threads-can-a-java-vm-support.

[29] Teknisk Ukeblad. AMS løser ikke energikrisen. http://www.tu.no/energi/article286469.ece.

[30] The PHP Group. What is PHP? http://www.php.net/, 2001-2011.

[31] Tore Larsen (Telenor Norge). AMS Dagene 2011. http://www.energinorge.no/getfile.php/FILER/KALENDER/Foredrag%202011/AMS%20i%20Norge/AMS%20Dagene%202011%20energinorge.pdf.

[32] Norges vassdrags-og energidirektorat. Avanserte måle- og styringssystemer Høringsdokument. http://www.nve.no/Global/Publikasjoner/Publikasjoner%202011/Dokument%202011/dokument1-11.pdf, 2011.

[33] W3schools. JavaScript Tutorial. http://www.w3schools.com/js/default.asp, 1999-2011.

[34] Øystein Bøhn Hagen. Fremtidsrettet bredbåndsscenario. http://ntnu.diva-portal.org/smash/get/diva2:350478/FULLTEXT01.

A

Instruksjoner for oppsett av systemet

Koden finnes som vedlegg til denne rapporten (DVD eller .zip-fil).

Vi vil anbefale bruk av xampp for Windows eller en Apache/PHP webtjener du foretrekker. Phpmyadmin som følger med xampp, lampp o.l. er et svært praktisk, visuelt verktøy for arbeid med databaser.

A.1 Nettsiden

Nettsiden er et symfony-prosjekt (PHP). Sjekk http://www.symfony-project.org/ for informasjon om PHP-rammeverket.

Deretter gjør følgende:

1. Sjekk ut koden fra adressen: svn://boggle.daling.net/customerweb eller hent koden fra et annet sted og putt den i en fritt valgt mappe. Av sikkerhetsårsaker helst ikke i htdocs-mappen (offentlig tilgjengelig).

2. Databasen finnes i mappen db og har filnavnet ams_web.sql.

   Opprett en database kalt ams_web

   Importer ams_web.sql til denne databasen - f.eks gjennom phpmyadmin -> import

   Opprett en bruker (f.eks. ams_web) med rettigheter til denne databasen og

velg et passord. Deretter gjør endringer i config/databases.yml-filen slik at denne brukeren benyttes og oppdater "host" til riktig maskin/IP.

3. Tilgjengeliggjør nettsiden ved å endre httpd.conf og eventuelt sett opp virtual hosting. Det finnes helt sikkert mange måter å løse dette på. Et eksempel på endringer man kan gjøre i httpd.conf:

```
#This is the configuration for the ams project customerweb
Listen 127.0.0.1:8080
<VirtualHost 127.0.0.1:8080>
  DocumentRoot "/home/ams/customerweb/web"
  DirectoryIndex index.php
  <Directory "/home/ams/customerweb/web">
    AllowOverride All
    Allow from All
  </Directory>

  Alias /sf /home/ams/customerweb/lib/vendor/symfony/data/
      web/sf
  <Directory "/home/ams/customerweb/lib/vendor/symfony/data/
      web/sf">
    AllowOverride All
    Allow from All
  </Directory>
</VirtualHost>
```

   For Windows skift ut /home/ams/customerweb/web med f.eks C:\customerweb\web.

4. Nå skal i prinsippet siden være tilgjengelig fra http://localhost:8080/content og avhengig av evt v-hosting på f.eks. http://domeneEllerIP/ams/content

A.2 Datainnsamlingssystemet

Datainnsamlingssystemet er et Java-prosjekt. For at datainnsamlingen skal fungere må:

- databasen ams_web være til stede, enten lokalt eller på annen maskin. Sjekk DB.java og gjør endringer av databasetjener/adresse/bruker/passord slik at det passer med databasen slik den er satt opp. Brukeren som står der må ha rettigheter til ams_web-databasen på den tjeneren den skal koble til (localhost/annen tjener). Følg oppskriften for nettsiden over for å sette opp databasen.
- strømmåleren(e) være koblet til internett og ha samme ip-adresse og portnummer som spesifisert i tabellen customer_meter i databasen. Standardport er 1025, så 0 = 1025.

Deretter gjør følgende:

1. Sjekk ut koden fra adressen: svn://boggle.daling.net/dcs eller hent koden fra et annet sted.

2. For å starte et Eclipse-prosjekt:

   File->Import->General->Import Existing Projects Into Workspace - finn mappen ->Finish

   Høyreklikk på prosjekt->Build Path->Configure Build Path->Libraries->Add External JARs - velg alle i dcs/lib-mappen

   Datainnsamlingen startes fra klassen DataCollector i dcs-pakken

3. Eventuelt kan datainnsamlingen startes som en jar-fil. Filen heter dcs.jar og ligger i prosjektmappen. Kjør programmet fra kommandovindu: »java -jar dcs.jar (Bør ikke startes så mange av denne samtidig). Prosessen må stoppes manuelt, f.eks med kill-kommandoen. Eventuelt i Windowas: dobbeltklikk på dcs.jar - OBS: Ingenting vil se ut til å skje (ingen UI - kun utskrift til konsoll) og prosessen må stoppes manuelt i "Task Manager".