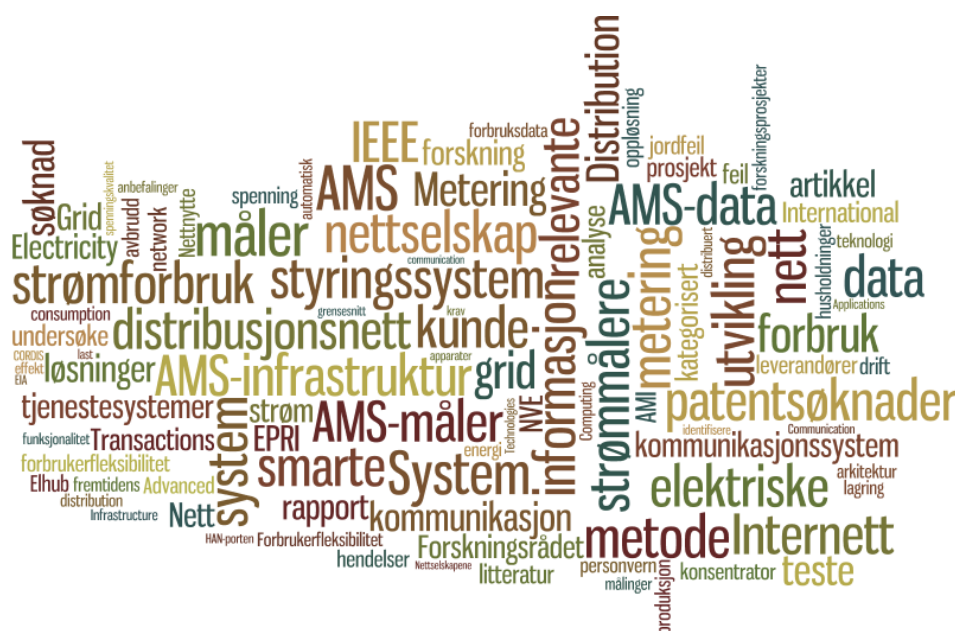


Fremtidens Avanserte Måle- og Styringssystem (AMS)

Forfatter(e)

Karoline Ingebrigtsen, Maren Istad



SINTEF Energi AS

Postadresse:
Postboks 4761 Torgarden
7465 Trondheim

Sentralbord: 45456000

energy.research@sintef.no

Foretaksregister:
NO 939 350 675 MVA

EMNEORD:
AMS
Patenter
EU-prosjekt
FoU

Rapport

Fremtidens Avanserte Måle- og Styringssystem (AMS)

Forventet utvikling 2-5 år frem i tid

VERSJON
1.0

DATO
2018-12-14

FORFATTER(E)
Hanne Sæle
Karoline Ingebrigtsen, Maren Istad

OPPDRAGSGIVER(E)
Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE)

OPPDRAGSGIVERS REF.
Guro Grøtterud

PROSJEKTNR
502002000

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
51

SAMMENDRAG

Denne rapporten er utarbeidet for NVE i forbindelse med prosjektet "Fremtidens Avanserte Måle- og Styringssystem (AMS)". Prosjektet ble etablert etter en anbudsrunde våren 2018. Rapporten dokumenterer gjennomført studie om fremtidens AMS-løsninger basert på innhentet informasjon om teknologiutvikling og innovasjon på forretningsområdet.

Oppdraget er delt inn i to deler.

- Del 1 av oppdraget skal være en gjennomgang av dagens løsninger og arkitektur. Det skal også gjøres en kartlegging av relevante patentsøknader og forskningsprosjekter, særlig forskning i Norge, EU og USA.
- I del 2 av oppdraget skal det, basert på den teoretiske utredningen, kartlegges hvordan bransjen (nettselskap, målerprodusenter, IKT-tjenestetilbydere for nettselskap og eventuelle andre relevante aktører) ser for seg at utviklingen vil bli for 2-5 år frem i tid.

UTARBEIDET AV
Hanne Sæle

KONTROLLERT AV
Gerd Kjølle

GODKJENT AV
Knut Samdal

RAPPORTNR
2018:01448

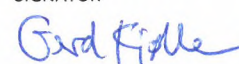
ISBN
978-82-14-06784-2

GRADERING
Åpen

SIGNATUR



SIGNATUR



SIGNATUR



GRADERING DENNE SIDE
Åpen

Innholdsfortegnelse

1	Innledning/Beskrivelse av oppdraget	5
1.1	Beskrivelse av oppdraget	5
1.2	Rapportstruktur	5
2	Gjennomgang av dagens løsninger og arkitektur	6
3	Kartlegging av relevante patentsøknader	9
3.1	Metode.....	9
3.2	Resultater	10
3.3	Oppsummering av kartlegging av relevante patenter	14
4	Kartlegging av relevante forskningsprosjekter, med særlig vekt på Norge, EU og USA.....	15
4.1	Relevante prosjekter i Norge	15
4.2	Relevante EU-prosjekter	22
4.3	Relevant forskning i USA.....	24
4.3.1	Resultater av søk hos EPRI og EIA.....	26
4.3.2	Resultat av søk blant vitenskapelige publikasjoner fra 2018	28
4.4	Oppsummering av kartlegging av relevante forskningsprosjekt	32
5	Forventet utvikling for 2-5 år frem i tid.....	34
6	Referanser.....	39
Vedlegg A	Deltakende selskaper.....	46
Vedlegg B	Oversikt patentsøknader.....	47

1 Innledning/Beskrivelse av oppdraget

Denne rapporten er utarbeidet for NVE i forbindelse med prosjektet "Fremtidens Avanserte Måle- og Styringssystem (AMS)". Prosjektet ble etablert etter en anbudsrunde våren 2018.

1.1 Beskrivelse av oppdraget

AMS er i konkurransegrunnlaget fra NVE beskrevet som et komplekst "system of systems" (SoS) som gjerne består av en blanding av:

- Kommunikasjonssystemer (radionettverk-system, telekom-system, med mer)
- Smart-måleres interne systemer (operativsystem, målesystem, med mer)
- Tjeneste-systemer (systemer for skylagring, driftstjenester, med mer)
- Innsamlings- og styringssystem (head-end system, kundesystem, med mer)

Kombinasjonen av systemer tilrettelegger for vid funksjonalitet og effektiv drift av nettet.

Prosjektet skal utarbeide en rapport som dokumenterer gjennomført studie om fremtidens AMS-løsninger basert på innhentet informasjon om teknologiutvikling og innovasjon på forretningsområdet.

Studien skal beskrive AMS systemarkitekturen i dag og skissere hvordan den kan bli videre utviklet i fremtiden. Dette skal inkludere en beskrivelse av trendene for løsningenes oppbygning og drift, samt viktige drivkrefter bak trendene.

Oppdraget er delt inn i to deler.

- Del 1 av oppdraget skal være en gjennomgang av dagens løsninger og arkitektur. Det skal også gjøres en kartlegging av relevante patentsøknader og forskningsprosjekter, særlig forskning i Norge, EU og USA.
- I del 2 av oppdraget skal det, basert på den teoretiske utredningen, kartlegges hvordan bransjen (nettselskap, målerprodusenter, IKT-tjenestetilbydere for nettselskap og eventuelle andre relevante aktører) ser for seg at utviklingen vil bli for 2-5 år frem i tid.

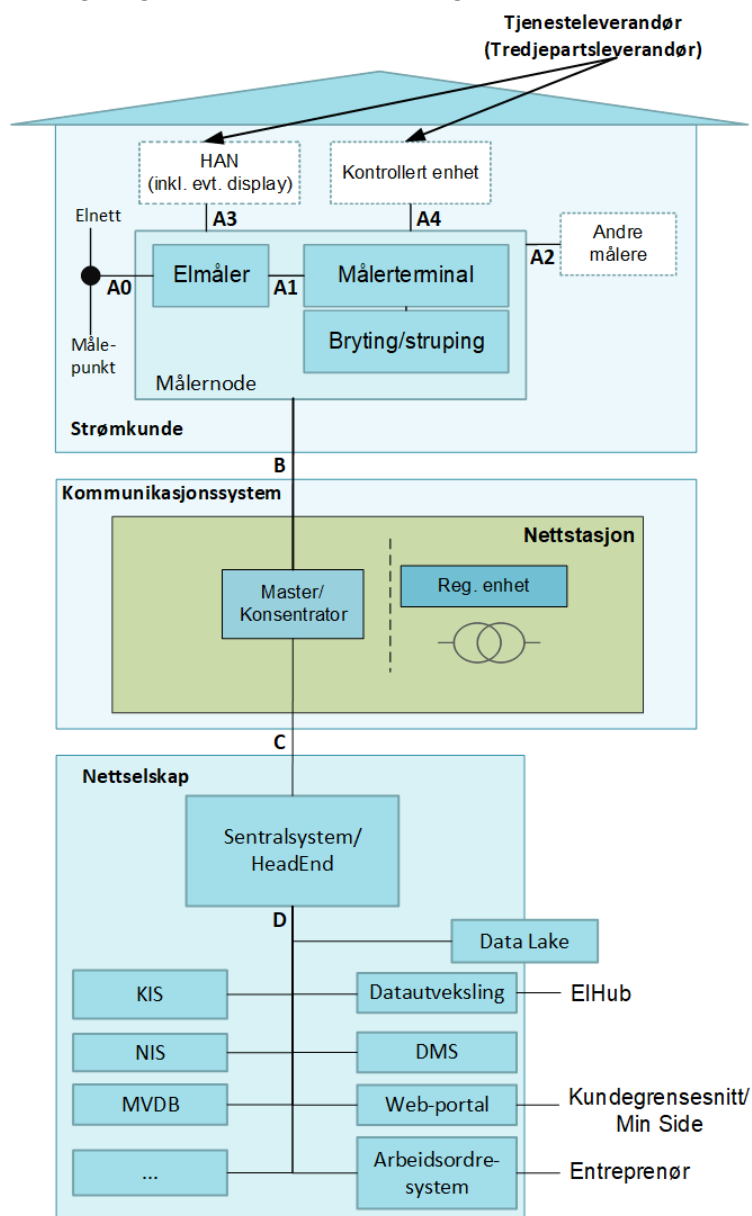
1.2 Rapportstruktur

I kapittel 1 beskrives oppdraget slik det ble spesifisert i konkurransegrunnlaget fra NVE. I kapittel 2 beskrives dagens løsninger og arkitektur, i kapittel 3 beskrives relevante patentsøknader og relevante forskningsprosjekter beskrives i kapittel 4. Forventet utvikling 2-5 år frem i tid beskrives i kapittel 5.

I Vedlegg A er det presentert en oversikt over hvilke selskaper som deltok på workshoper, og i Vedlegg B er det oversikt over patentsøknader som ble funnet etter søk i ulike databaser.

2 Gjennomgang av dagens løsninger og arkitektur

I følge NVE-rapport 79/2016 er det hovedsakelig tre leverandører av AMS-målere til norske nettselskap, nemlig Aidon, Kamstrup og Kaifa [1]. Basert på informasjon fra tidligere prosjekter som "Evaluering av veileder til sikkerhet i AMS" (2016) og DeVID (2012-2015)¹, og gjennom kontakt med nettselskap og deres AMS-leverandører (Workshoper høsten 2018 - mer om disse i kapittel 5), har prosjektet utarbeidet en beskrivelse av dagens løsninger og arkitektur for AMS, se figur 2.1.



Figur 2.1: Dagens AMS-infrastruktur

¹ "Demonstrasjon og Verifikasjon av Intelligente Distribusjonsnett – DeVID", IPN-prosjekt, <https://www.forskningsradet.no/prosjektbanken/#!/project/NFR/217528>

Tabell 2.1: Beskrivelse av grensesnitt i Figur 2.1 (hentet direkte fra [2])

Ref. i figur	Involverte systemer	Beskrivelse
A0	Målepunkt - - Elmåler	Elmåler registrerer forbruk av elektrisitet i målepunktet hos strømkunde.
A1	Elmåler - - Målerterminal	Måleverdi overføres fra Elmåler til Målerterminal. Måleverdi lagres midlertidig i Målerterminal.
A2	Målerterminal - - Andre måleinstrumenter (vann, gass, fjernvarme osv.)	Andre måleinstrumenter kan tilkobles Målerterminalen, og bruke samme kommunikasjonssystem for å samle inn verdiene til Sentralsystemet/HeadEnd.
A3	Målernode - - HAN (inkl. evt. display) (fysisk atskilt fra Elmåler og Målerterminal)	Målernode har et grensesnitt mot HAN (Home Area Network) hvor kunden f.eks. kan ha et display for presentasjon av forbruksinformasjon.
A4	Målernode - - Kontrollert enhet. Kan benyttes til lokal styring	Målernode har et grensesnitt mot en kontrollert enhet som f.eks. er teknologi for lokal styring av enkeltapparater.
B	Målernode - - Kommunikasjonssystem	Målernoden består av Elmåler og Målerterminal. Via Målernodes kommunikasjonsmodul utveksles data til Kommunikasjonssystemet.
C	Kommunikasjonssystem - - Sentralsystem/HeadEnd	Kommunikasjonssystemet overfører data videre til Sentralsystemet/HeadEnd.
D	Sentralsystem - - Tilgrensende system	Sentralsystemet fungerer som et grensesnitt mellom Tilgrensende system og resten av AMS-systemet. Dette kan være f.eks. å innhente informasjon fra Målepunktene og overføre dette for videre behandling i andre systemer, eller å videreformidle signaler og informasjon mot Målerterminaler i AMS-systemet.

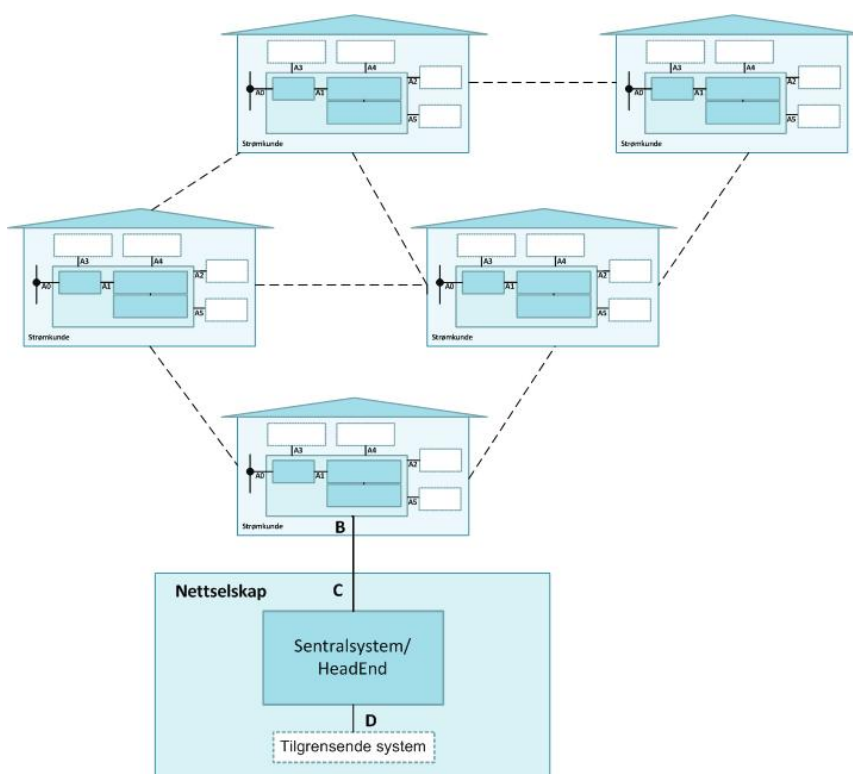
Tabell 2.2: Tilgrensende systemer i Figur 2.1 (hentet fra [2], bortsett fra beskrivelse av Data Lake)

System	Beskrivelse
KIS (KundeInformasjonsSystem)	System for avregning og fakturering av kundene. Inneholder persondata (navn, adresse, ...)
NIS (NettInformasjonsSystem)	Datasystem for å holde rede på kunder, produksjon og hvordan disse er knyttet sammen gjennom nettet.
MVDB (MåleVerdiDataBase)	Database for lagring av registrerte måleverdier fra AMS.
Datautveksling	System for utveksling av data fra nettselskap til eksternt aktør, f.eks. den planlagte datahuben til Statnett (Elhub).
DMS (Distribution Management System)	Driftskontrollsystem for distribusjonsnettet. Mulighet for visualisering av belastning, avbrudd, effektflyt, spenning m.m. i distribusjonsnettet. Viser data om strømforbruk, spenning, m.m. for enkeltkunder.
Web-portal	System for utveksling av informasjon med tredjepart og/eller strømkunde. F.eks. at måleverdi skal presenteres for strømkunde innen kl. 0900 neste dag, eller gjøres tilgjengelig for kraftleverandør med fullmakt fra strømkunde innen kl. 0900 neste dag. Ref. MAF §4-3 og §4-4 [3]
Arbeidsordresystem	System for automatisk generering og/eller registrering av arbeidsordre. (Både når arbeidsordre blir igangsatt og når den blir ferdigstilt.)
Data Lake	Database for lagring av ulike typer data.

Figur 2.1 er ment å være en generell figur for AMS-infrastrukturen, men ettersom ulike nettselskap har valgt ulike løsninger, vil det kunne finnes enkelte avvik fra figuren. Det gjelder bl.a.:

- Ikke alle nettselskap har konsentratorer som samler inn AMS-data fra flere kunder. Dette gjelder nettselskap som har valgt å bruke målere med SIM-kort, og som dermed har mulighet for punkt-til-punkt-kommunikasjon. Med direkte kommunikasjon mellom kunde og innsamlingssystemet hos nettselskap, er det ikke behov for en konsentrator som samler opp måleverdier fra flere AMS-målere.
- De fleste, men ikke alle nettselskap har plassert alle konsentratorene sine i nettstasjoner. I enkelte tilfeller kan AMS-målere hos en kunde operere som konsentrator "på vegne" av flere AMS-målere.
- Det er stort sett målere som blir brukt som konsentratorer (mastere), men det finnes også tilfeller der kun en såkalt "repeater" har blitt brukt, altså en konsentrator som ikke har målefunksjonalitet. En "repeater" opererer normalt som en forsterker, og oppgaven er å gjenta signalet som den mottar. Disse plasseres typisk i strømmaster i områder hvor det er lange avstander mellom kunder og/eller nettstasjoner.
- Noen nettselskap har eget sentralsystem, noen bruker AMS-leverandørens head-end-system, og noen bruker andre leverandører til head-end-system og datainnsamling. Store nettselskap er de som oftest velger å ha eget sentralsystem, mens mellomstore og små nettselskap ofte velger enten en kombinasjon av egne og tjenesteleverandører eller å kun benytte tjenesteleverandører.

Flere nettselskap bruker "radio mesh"-løsning i sin AMS-infrastruktur, og et eksempel på oppbyggingen av en slik kommunikasjonsinfrastruktur er visualisert i figur 2.2 [2].



Figur 2.2: Radio-mesh i kommunikasjonsystemet, [2]

3 Kartlegging av relevante patentsøknader

I prosjektet har det blitt gjennomført søk etter relevante patentsøknader i ulike databaser, for å undersøke om det er patenter som gir noen indikasjoner på hvordan utformingen av fremtidig teknologi blir i systemene som inngår i AMS-infrastrukturen.

Fra de første dokumentene til en patentsøknad blir sendt inn, til den gjøres tilgjengelig for offentligheten, tar det 18 måneder, både i det norske Patentstyret og European Patent Office [4], [5]. Godkjenning av patentsøknader kan ta 1-2 år i Norge, og en godkjent patentsøknad er gyldig i 20 år [6]. Avhengig av hvor raskt selskapene som søker om patent faktisk utvikler teknologien, kan patentsøknader gi en indikasjon på teknologiutviklingen fremover.

3.1 Metode

I Norge er det i hovedsak Patentstyret [7] som behandler patentsøknader og gir rettigheter til patenter, og dette gjør de både for norsk og utenlandsk næringsliv. Arbeidet i denne delen av prosjektet startet med å gjøre søk i Patentstyrets database [8] etter relevante patentsøknader for en definert tidsperiode. Søket ga ingen relevante resultater. En årsak til dette kan være fordi AMS leveres av leverandører med hovedkontor i andre land enn Norge, og at selve teknologiutviklingen skjer utenfor Norge. Det ble derfor utført søk etter relevante patentsøknader fra hele verden (men som er skrevet på engelsk) i en database linket fra European Patent Office sine nettsider, nemlig Espacenet-databasen [9].

Det har blitt gjort søk for perioden 01.01.2015-04.10.2018. Søkeord som har blitt brukt er vist i tabell 3.1.

Tabell 3.1: Søkeord i patentdatabaser

Norsk	Engelsk
AMS	Advanced Metering Infrastructure
Smart strømmåler	Smart electricity meter
Konsentrator strøm	Concentrator electricity
Kommunikasjon strøm	"Communication" AND "low voltage grid"
Kommunikasjon strømnnett	"Communication" AND "low voltage network"
	"Communication" AND "distribution network"
	"Communication" AND "distribution grid"
"Head-end-system"	"Head-end-system"
	"Head-end"
Datainnsamling strøm	"Data collection" AND "low voltage grid"
Datainnsamling strømnnett	"Data collection" AND "low voltage network"
	"Data collection" AND "distribution network"
	"Data collection" AND "distribution grid"

Ut fra de relevante patentsøknadene som ble funnet, har det blitt undersøkt om disse gir noen indikasjoner på hvordan utformingen av fremtidig teknologi blir i systemene som inngår i AMS-infrastrukturen. Dette har blitt gjort ved å utføre en kartlegging av de relevante patentene for å undersøke om patentene bruker ny kunnskap eller kombinerer allerede kjent kunnskap på nye måter. Det har også blitt laget statistikk over relevante parametere i søknadene; hvilket land søknadene kommer fra, når søknaden ble publisert og hvilket

system i AMS-infrastrukturen som patentsøknaden tilhører. Kategoriseringen for AMS-infrastrukturen er som beskrevet i konkurransegrunnlaget fra NVE:

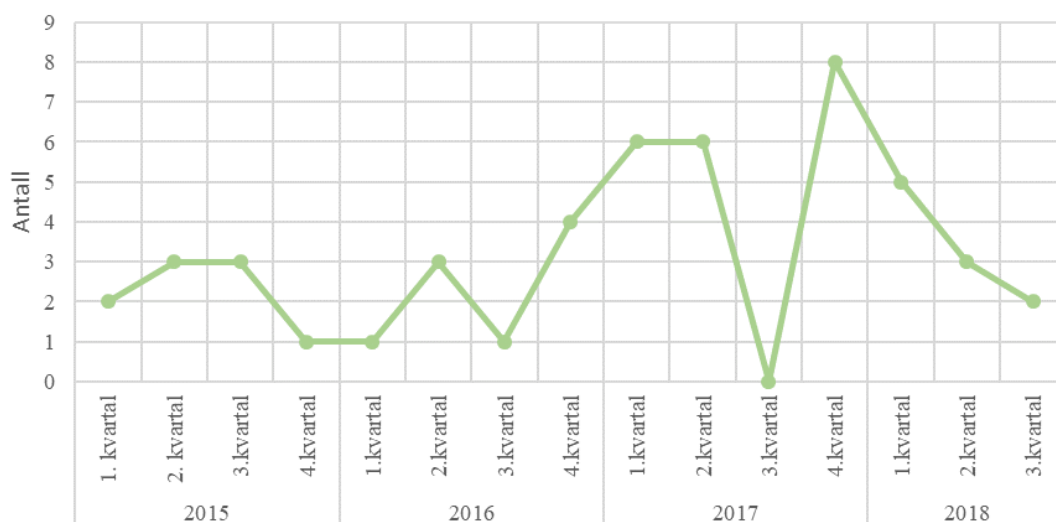
- Smart-måleres interne systemer (operativsystem, målesystem, med mer)
- Kommunikasjonssystemer (radionettverk-system, telekom-system, med mer)
- Innsamlings- og styringssystem (head-end system, kundesystem, med mer)
- Tjeneste-systemer (systemer for skylagring, driftstjenester, med mer)

3.2 Resultater

I dette kapittelet har et utvalg av patentsøknadene blitt beskrevet og oppsummert. En fullstendig oversikt med navn på patentsøknad, link til nettside i databasen, publiseringsår, opprinnelsesland og del av AMS-infrastruktur finnes i vedlegg B. Tall i parentes i dette kapitlet viser til nummeret som den nevnte patentsøknaden har i tabellen i vedlegget.

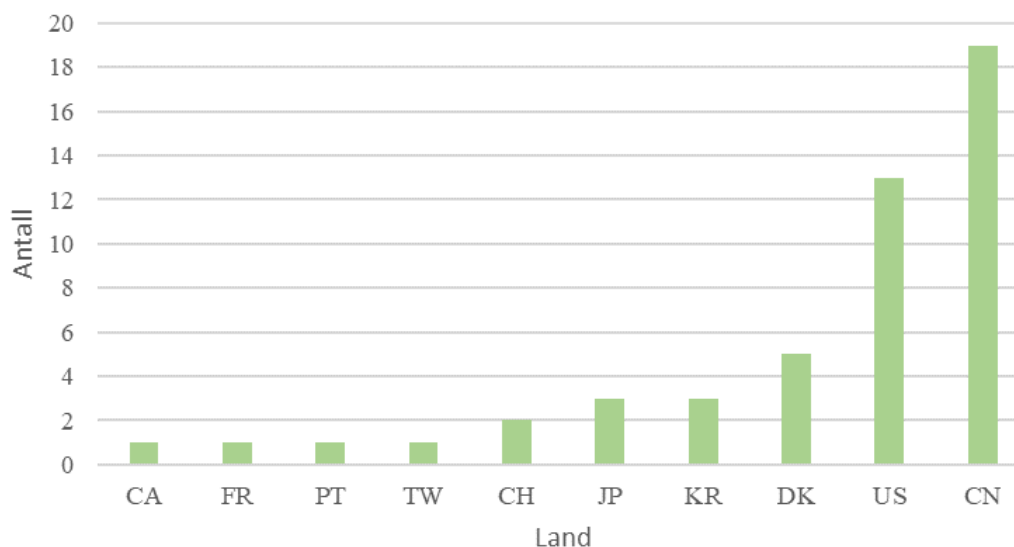
Ved å bruke søkeordene i tabell 3.1 ble det funnet 49 relevante engelskspråklige patentsøknader i verdensdatabasen Espacenet, hvorav ingen fra Norge. For å kartlegge de ulike patentsøknadene har de blitt kategorisert etter både land, dato publisert og hvilken del av infrastrukturen de omhandler.

Når det gjelder tidspunktet søknadene ble publisert, vises resultatet i figur 3.1. Antall søknader innenfor AMS-infrastrukturen økte kraftig fra 2016 til 2017. Siden søket ble gjort til 4.oktober 2018 har ikke 4.kvartal 2018 blitt tatt med, hvor det var én patentsøknad i begynnelsen av oktober. Fra denne figuren kan det se ut som at det ikke blir like mange patentsøknader i 2018 som i 2017.



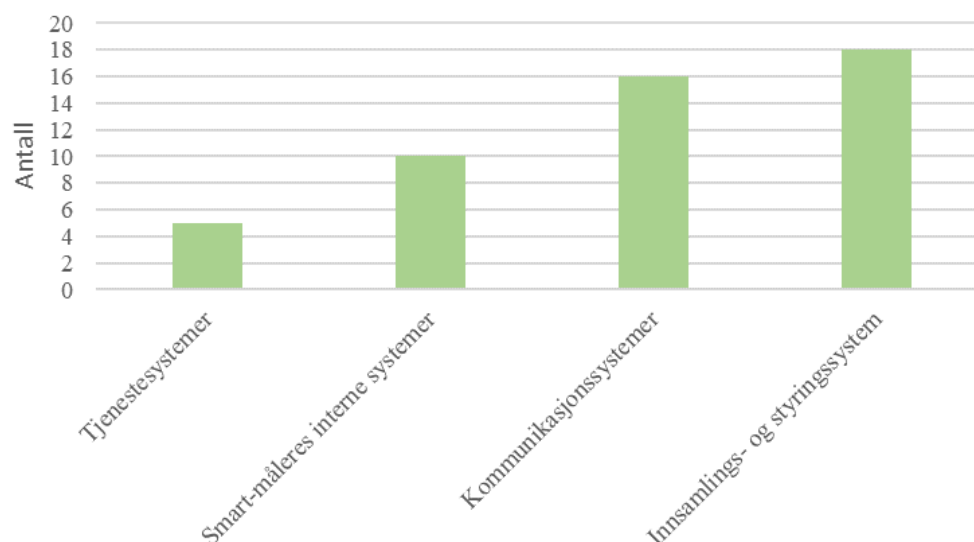
Figur 3.1: Oversikt over antall patentsøknader publisert hvert kvartal i perioden 2015-2018

Resultatet fra kartleggingen av hvilket land søknadene kommer fra er vist i Figur 3.2. Figuren viser at Kina har sendt inn flest søknader (19), og USA har sendt inn nesten like mange (13). Kina, USA og Danmark har til sammen sendt inn tre fjerdedeler av de relevante søknadene.



Figur 3.2: Oversikt over antall patentsøknader innsendt fra ulike land i perioden 2015-2018

Når det gjelder hvilken del av AMS-infrastrukturen patentsøknadene omhandler, har kategoriseringen blitt basert på søknadens sammendrag, og det er lokasjonen til patentsøknadens funksjon som har blitt kategorisert. Resultatet er vist i figur 3.3, og enkeltteksempler diskuteres under figuren.



Figur 3.3: Antall patentsøknader fordelt på hvilken del av AMS-infrastrukturen søknadene omhandler, i perioden 2015-2018

De ulike kategoriene omtales nedenfor, inkludert de patentsøknadene som oppfattes som mest relevant for AMS i Norge. Noen av patentsøknadene fra Vedlegg B som ikke er tatt med i denne diskusjonen, inneholder for eksempel teknologi eller metoder som allerede er i bruk i Norge.

Kategorien med flest søknader er innsamlings- og styringssystem, og her inkluderes head-end-system, systemer innad i nettselskapene (for eksempel kundesystem) og lignende.

Eksempel på systemer innad hos nettselskap, er systemer for visualisering av data fra strømmålerne. Et eksempel her er en søknad som omhandler visualisering av analyseresultater for data fra smarte strømmålere ved å bruke en dashboard-funksjonalitet hos nettselskapet, for å gi innsikt i drift av nettet, kunne predikere feil og for å gi anbefalinger til korrigerende tiltak om en hendelse inntreffer i strømmettet (6). Et annet eksempel er et datainnsamlingssystem basert på den satellittbaserte kommunikasjonsteknologien BeiDou, som også inneholder funksjonalitet for å analysere mottatte data og visualisere resultatene (8). En annen patentsøknad inneholder sensorer tilknyttet strømmåleren; temperatursensor, luftfuktighetssensor og en sensor for induktansen til måleren (18). Et sentralt system mottar disse dataene i sanntid og analyserer og visualiserer dem for å gi støtte til driften av målerne.

Det har blitt funnet flere patentsøknader for systemer for måling av flere energibærere enn kun strøm. Et eksempel er en patent som omhandler drift av kommunikasjonsnoder som kan tilknyttes data fra strømmålere, gassmålere, vannmålere og/eller eventuelt andre målere prosesseres, hvor filtrerte data sendes til head-end-systemet fra kommunikasjonsnoder (2). Søknaden inneholder også mulighet til å bruke en API (Application Programming Interface) i driften. En annen søknad beskriver en datainnsamlingsmetode for flere energimålere (strøm, vann, gass og varme) i en husholdning (13). Den prosesserer heterogene data fra de ulike målerne og integrerer dem i en plattform.

En søknad inneholder en metode for å prioritere meldinger sendt fra målere i et datainnsamlingssystem (4). En annen metode baserer seg på direkteavlesning av en måler der det sendes en forespørsel til måleren ved å finne den mest effektive ruten i kommunikasjonsnettet (9).

Flere patentsøknader innenfor *innsamlings- og styringssystem* inneholder systemer for å sende data til strømmåleren. En søknad beskriver et system med et sentralt datainnsamlingssystem, en konsentrator og en strømmåler, hvor konsentratoren overfører kommandoer fra innsamlingssystemet til måleren og lagrer data fra måleren, og måleren har et display som kan vise endringer i pris (5). En annen søknad inneholder en metode for å sende prisinformasjon til en strømmåler fra et datainnsamlingssystem som inkluderer en funksjon som unngår at alle parametere sendes på nytt om et første forsøk på å sende data feiler, slik at man bruker mindre ressurser (7). En søknad inneholder apparater og metoder som i tillegg til å overføre informasjon fra målere (her generelt målere, ikke nødvendigvis strømmålere) til et sentralt datainnsamlingssystem (hvor både data som er korrigert av en korrigeringsenhet og ukorrigerte data sendes for å ha en back-up) gir mulighet for toveis kommunikasjon til utvalgte målere (12). En fjerde søknad tar for seg overføring av time of use (ToU)-informasjon til strømmålere (16). ToU-data sendes først til en konsentrator (Data Concentrator Unit, DCU) som deler informasjonen opp i flere deler. Konsentratoren kommuniserer med et kommunikasjonsmodem på måleren. Kommunikasjonsmodemet forespør og mottar ToU-data fra konsentratoren for deretter å sende det til måleren. Når data er mottatt av måleren sendes det et bekreftelsessignal til konsentratoren. Metoden påstås å være robust mot avbrudd i PLC²-kommunikasjonen mellom konsentratoren og kommunikasjonsmodemet.

Det er også mange søknader innenfor *kommunikasjonssystemet*. Det kan være fordi ulike kommunikasjonsmetoder har ulike egenskaper, og at ulike områder krever ulike løsninger. Noen søknader beskriver konsentrator- og kommunikasjonsenheter. For eksempel omhandler en søknad en høyhastighets 4G-basert kommunikasjonsmodul som kan anvendes i flere ulike konsentratorer som allerede er på markedet (31). En annen søknad beskriver en trådløs kommunikasjonsenhet som kan konvertere flere ulike grensesnitt-protokoller, og dermed kan anvendes i ulike nettverk (30).

Andre patentsøknader omhandler kommunikasjon innad i hele systemer med blant annet målere, konsentratorer og innsamlingssystemer. De fleste baserer seg på radiokommunikasjon eller WiFi, men et annet eksempel er en søknad som inneholder et kommunikasjonssystem basert på et kringkastings- og fjernsyns-

² PLC = Power Line Communication

nettverk, hvor en datainnsamlingsenhet er koblet til en strømmåler, varmemåler og gassmåler (21). Systemet påstås å ha lave kostnader, rask dataoverføring og god rekkevidde. Det har også blitt funnet to patentsøknader som baserer seg på BeiDou satellittkommunikasjon (24), (27) og en som kommuniserer via LoRa (Long Range), (29).

En annen tilnærming er å ha et kommunikasjonssystem som raskt kan finne ut om noder er utkoblet. I en patentsøknad gjøres dette ved at nærliggende noder kommuniserer med hverandre i stedet for at kun et sentralt system kan oppdage at noen noder er ute (28). Det er også noen patenter som omhandler metoder for kryptering av data som overføres (19), (23), (26).

Innenfor *smart-måleres interne systemer* finner vi for eksempel en søknad om en måler som ved mottagelse av oppdatering av firmware fra et sentralt system, beregner det beste tidspunktet oppdateringen bør skje på, basert på historisk forbruk og prisinformasjon (36). En måler har en funksjon hvor timingen av oppstart av kommunikasjon etter et strømbrydd kan justeres (39). En annen søknad beskriver en måler som kan lagre en hendelsesrapport som kan sendes til head-end-systemet (40), og det finnes en patentsøknad hvor måleren har flere reléer som er koblet til ulike elektriske kurser i hjemmet slik at ulike kurser måles individuelt (41). Et siste eksempel innenfor interne systemer i måleren er en søknad som inneholder metoder for å øke batterilevetiden til målere og metoder som gir måleren grensesnitt til andre sensorer, da værsensorer (44). Den samme søknaden inneholder også metoder for reduksjon av størrelsen til konsentratorer og en radiokommunikasjonsarkitektur, så kategoriseringen av søknaden kunne også vært innenfor kommunikasjonssystemer.

For kategorien *tjenestesystemer* har det blant annet blitt funnet en patentsøknad som beskriver metoder og systemer som kan annotere data i en datastrøm, enten automatisk eller som respons til en forespørsel fra en enhet (45). En annen søknad i denne kategorien omhandler teknikker for å detektere høy impedans i strømnettet ved å bruke data fra f.eks. strømmålere (46). Et annet tjenestesystem som er beskrevet i en patent, er utstyr i form av en liten boks lokalisert inni en smart strømmåler og koblet til måleren via kabel (47). Utstyret kan lese data og sende dem i sanntid til et styringssystem i husholdningen eller evt. andre tjenester kunden ønsker å benytte seg av. En søknad omhandler metode for å beregne kundens forbruksmønster (48). Basert på data mining finnes strømforbruket til ulike apparater i husholdningen ved å bruke data fra den smarte strømmåleren, og ved å bruke annen informasjon om kunden i tillegg kan forbruksmønsteret finnes. Det står derimot ikke noe om hvilken oppløsning dataene fra strømmåleren må ha for at metoden skal fungere. En siste søknad innenfor tjenestesystemer er en skytjeneste for innsamling og lagring av data fra smarte strømmålere (49).

Noe som kan være viktig for utviklingen av AMS-infrastrukturen i Norge, er patentsøknader fra en av de tre AMS-leverandørene her. I databasen ble det funnet fire søknader fra Kamstrup (som utgjør fire av de fem søknadene fra Danmark i figur 3.2), og disse omhandler:

- Oppdatering av programvare i måleren ved å opprette en dedikert sesjon til hver måler. Alle målere innenfor kommunikasjonsrekkevidde med måleren i sesjonen vil også motta oppdateringene og lagre dem. Når de da skal oppdateres, er det kun nødvendig å sende de delene av oppdateringene som ikke er lagret allerede (kategorisert innenfor datainnsamling og styringssystem), (3).
- Trådløs overføring av data med autentisering basert på data lagret i måleren (kategorisert innenfor kommunikasjonssystem), (34).
- Hver node i et nettverk etablerer en lokal tabell med målt inngående og beregnet utgående signalstyrke for hver direkte kommunikasjonsvei mellom noder. Dette gjør at signalstyrke kan beregnes uten å opprette en dedikert kommunikasjonsvei mellom nodene (kategorisert innenfor smart-måleres interne systemer), (35).
- En måler sender data basert på visse parametere til en innsamlingsenhet, og mottar deretter en bekreftelse som inneholder koblingsdata som indikerer at enheten har mottatt dataene. Deretter kan måleren endre overføringsparametere sine basert på koblingsdataene (kategorisert som smart-måleres interne systemer), (43).

3.3 Oppsummering av kartlegging av relevante patenter

Flesteparten av de kartlagte patentsøknadene fokuserer på innsamlings- og styringssystemer, for eksempel på toveiskommunikasjon og hvordan data kan sendes til strømmåleren, da gjerne prisdata og spesielt prisendringer. Integrering av ulike målesystemer for strøm, gass, varme og vann går igjen i flere patentsøknader og noen inkluderer andre sensorer også, for eksempel temperatursensor. Det er noen patenter som analyserer data fra smarte strømmålere til nytte for nettselskapet, men få patenter som tar for seg hele programsystemer hos nettselskap. Mange av patentene beskriver systemer og metoder som gjør kommunikasjonen i AMS-infrastrukturen raskere, sikrere eller til en lavere kostnad. Når det gjelder målerens interne systemer, er det systemer som muliggjør beregninger og lagring av data innad i måleren. En del av patentene innenfor tjenestesystemer omhandler systemer som er til nytte for kunden, men også metoder for å bruke data fra strømmålerne til å beregne ulike nyttige parametere.

Med utgangspunkt i en tidsperiode 2-5 år frem i tid, er selve AMS-måleren installert i Norge. Ut fra patentsøknadene kan det se ut som at videre utvikling kan bidra til økt funksjonalitet i systemene tilknyttet AMS-infrastrukturen og mer kostnadseffektive løsninger, hovedsakelig knyttet til selve måleren og kommunikasjonen med denne. Til tross for økt funksjonalitet, tyder ikke dette på ytterligere koblinger på tvers av flere systemer, og dermed ikke flere avhengigheter mellom systemer.

4 Kartlegging av relevante forskningsprosjekter, med særlig vekt på Norge, EU og USA

I prosjektet har relevante forskningsprosjekter blitt kartlagt og blitt beskrevet i denne rapporten. Det har blitt lagt særlig vekt på forskning i Norge, EU og USA. For forskning i Norge har det blitt tatt utgangspunkt i prosjektbanken til Forskningsrådet, men gjennomførte og planlagte aktiviteter i FME CINELDI³ – og forskning som FME CINELDI bygger på, er inkludert. SINTEF Energi og SINTEF Digital (begge deltar i FME CINELDI) har allerede en bred erfaring knyttet til forskning på AMS, og dette er benyttet som underlag for kartleggingen.

For å kartlegge relevant forskning i EU har det blitt lagt vekt på søk bl.a. knyttet til prosjekter i H2020-programmet, og for USA har det blitt fokusert på informasjon fra US Department of Energy and US Energy Information Administration [10].

4.1 Relevante prosjekter i Norge

Pilotprosjekter Enova

Enova har lansert flere pilotprosjekter under tittelen "Smartere målere – smartere forbrukere", som varer ut 2021 [11]. Enova støtter til sammen sju pilotprosjekter i Norge med 59,7 millioner kroner. Nærmere 25 000 norske hjem blir involvert gjennom pilotene som tester ut ulike teknologier, tjenester og forretningsmodeller for smarte løsninger som kan motivere forbrukerne til å spare strøm. Resultatene vil bli analysert for, blant annet å finne ut hvilke systemer for sanntidskommunikasjon og tilhørende løsninger for strømsparing som gir best resultat for ulike kundegrupper. Enova skal samle inn forbruksdata fra pilotene og utføre analyser på anonymiserte data. Disse dataene vil etter hvert bli offentlig tilgjengelig for analyse. De som fikk pilotprosjektene var Glitre Energi, Eidsiva Marked, Fjordkraft, Fredrikstad Energi, Lyse Energisalg, NTE Marked og RingeriksKraft Strøm med samarbeidspartnere.

SINTEF Energi har kontaktet alle sju pilotene for å få informasjon om status. Data fra både HAN-porten og pulsdioden blir testet. Under er et kort sammendrag av status gjengitt:

- *Glitre Energi gjennom datterselskapet Oss Norge AS* [11]: Prosjektet ønsker å bruke de mulighetene AMS representerer til også å teste hva folk ønsker seg og hvilke behov leverandører kan dekke. AMS-måleren har en egen utgang (kalt HAN-porten). Den er kundens egen port, og datastrømmen som kommer fra den har hver kunde fullt eierskap til selv. Tanken bak prosjektet er at kunden skal få best mulig utbytte av den, ved å tilby tjenester som de selv er med og forme og som de mener de har bruk for. Det er 2000 husholdninger som skal være med i dette prosjektet.
- *Eidsiva Marked* [12]: Eidsiva Marked AS, Gudbrandsdal Energi AS, Eidsiva Nett AS og Eliq AB er selskapene bak Prosjekt EnergiQ. Dette pilotprosjektet skal teste ut teknologi for energioppfølging og styring i praksis i Norge med etablert teknologi fra Sverige. 600 av pilotene har en løsning som gir sanntids innsyn i energiforbruket. Pilotene får oppdaterte verdier hver 15. sekund. Fra april 2016 ble Eliqs programvare integrert mot Smarte Hjem-leverandøren LifeSmarts system, og 900 av prosjektets pilotkunder har fått utplassert denne typen utstyr for både sanntids-energiinformasjon og energistyring. Ved start fikk de to styringselementer, én multisensor og én transmitter for måleravlesing, i Q2 2018 fikk 600 av disse tilgang til varmpumpestyring og smarte styringsalgoritmer. I Q4 2018 vil prisoptimalisering av varmpumpestyring basert på Nord Pool spotpris bli implementert. Det som skal testes, er bruk av sanntidsinformasjon om forbruk til å redusere forbruket, både gjennom automatikk og endring av vaner. Det innhentes informasjon i prosjektet om potensialet for å

³ CINELDI - Centre for intelligent electricity distribution – to empower the future smart grid. www.cineldi.no

spare strøm og hva slags støtte kundene trenger for å kunne bruke utstyret riktig. Prosjektet er uavhengig av HAN-porten og benytter pulsdioden på målerne for å hente ut energiforbruk. (informasjon innhentet fra Eidsiva.)

- *Fjordkraft* [13]: På grunn av forsinkelse i utrulling av AMS-målere er prosjektet forsinket i rekrutteringen av kunder til testing. Så langt er det rekruttert 100 kunder i BKK sitt nettområde, men 970 kunder får i disse dager Fjordkraft Puls tilsendt. Fjordkraft Puls gjør det mulig å følge strømforbruket i sanntid. Resultatene fra prosjektet vil bli analysert for å finne ut blant annet hvilke systemer for sanntidskommunikasjon og tilhørende løsninger som gir best resultat for ulike kunde-grupper. Maskinlæring kombinerer statistisk etterspørselsanalyse, miljødata og data som kunden selv legger inn for å gi det høyeste nivået av nøyaktighet som er mulig med tilgjengelige data. Algoritmer sammenligner husholdningens daglige strømforbruk. En teknikk som kalles for NILM (Non Intrusive Load Monitoring) brukes deretter til å personliggjøre dette ved å avdekke mer detaljert bruk som oppvarming, kjøling, matlaging, vask, og apparater som alltid er på. Resultatet blir en oversikt over energiforbruket til ulike apparater i hjemmet, noe som vil være unikt for hvert hjem.
- *Fredrikstad Energi* [11]: Målet med dette prosjektet er å teste ut markedspotensialet for nye produkter og tjenester rundt de nye AMS-målerne, og bidra med reell verdi for kundene i form av nye produkter og tjenester. Prosjektet vil tilby oversikt over sanntidsforbruk av kjøpt og produsert strøm og enkel sensorering med mulighet for styring gjennom responsivt webgrensesnitt og mobil-applikasjon til 6750 husholdninger.
- *Lyse Energisalg* [11]: Lyse Energisalg ønsker å være energirådgiver for sine privatkunder, og ser muligheten for å utvikle nye tjenester for kunden, basert på forbruksdata fra strømmåleren. Gjennom prosjektet, vil Lyse Energisalg kunne videreutvikle og teste ulike tjenester som skal skape engasjement og har verdi for kundene. 10 000 husholdninger skal rekrutteres.
- *NTE Marked* [11]: NTE Marked ønsker med denne piloten å tilby kunder nye tjenester og informasjon via en ny digital kundefront – appen Mitt Energihjem. Appen kombinerer data fra ulike energikilder og har et digitalt wattmeter. Målet er å redusere energibruk gjennom å visualisere strømforbruket i sanntid. 1200 husholdninger skal være med i prosjektet.
- *Kraftriket*: Prosjektet Energipilot, som er et samarbeidsprosjekt mellom Kraftriket og Ringeriks-Kraft Nett, skal finne ut om og hvordan sanntidsvisning av forbruk påvirker måten kundene bruker strøm på. AMS-målere gir tilgang på mer detaljert informasjon om hvordan vi bruker strøm. Vil det at denne informasjonen blir tilgjengelig for forbrukeren endre forbruket? Og vil sanntidsvisning av forbruket og styring av enkeltkomponenter i hjemmet føre til ytterligere endring? Det er nå rekruttert nesten 2000 husholdninger til å delta i prosjektet. Appen Smartliv gir sanntidsvisning (minutts-verdier) av energiforbruket AMS-måleren (HAN eller pulsdioden). Wattmeter skal i neste versjon gi varsel når energiforbruket overstiger en viss grense. Neste steg er implementering av smarthus-funksjonalitet for å styre energibruket i 100 av husholdningene. (Informasjon innhentet fra Ringerikskraft og <https://www.energipilot.no/om-prosjektet>.)

NVE-godkjente prosjekter

Nettselskapene og andre aktører kan ha interne prosjekter knyttet til AMS som ikke mottar støtte fra Forskningsrådet og dermed ikke er å finne i Forskningsrådets prosjektbank. Noen av disse prosjektene er godkjent av NVE [14] og har blitt presentert offentlig, eksempelvis på Smartgridkonferansen.

Prosjektene under er godkjent av NVE, og en del av informasjonen er hentet fra NVE sin nettside [14]:

- AMALGO (Advanced MACHineLearning for Grid Operations) (2017) ble ledet av Hafslund Nett. Prosjektet skulle se på jordfeildeteksjon ved automatisert analyse av AMS-data. Data fra 200 000 AMS-målere ble analysert og 200 feilkoblinger, 70 potensielle jordfeil og 2 potensielle dobbelt-jordfeil ble funnet. Presentert på Smartgridkonferansen i 2017 [15].
- FoU-prosjekt for Smart Nett, Smart Hus og AMS-tariffer (2012-2013) var ledet av Ringerikskraft Nett AS. Prosjektet utviklet og testet ut løsninger og konsepter innenfor områdene smart nett og smarthus, samt testet ut muligheter for AMS-tariffering. Resultatene ble evaluert og dokumentert, slik at nye løsninger og konsepter kan være klare for kommersialisering/realisering når AMS-løsningen er ferdig utrullet [14].
- Nettnytte (2017-2018) er ledet av Eidsiva Nett. Prosjektet baserer seg på de nye mulighetene som AMS-målerne gir til avanserte nettfunksjoner. AMS-data skal effektivisere driften til nettselskapet. Funksjoner som sees på i prosjektet er; spenningskvalitet i nettet, avbrudd (alarmer og logger), jordfeil hos kunde, leveringskvalitet (FoL), AMS-data til nettanalyser, eksempelvis lastflyt og bryterfunksjonalitet (bryte strøm etter måler ved ubetalt faktura, boliger uten kunder og hyttekunder med langvarig fravær fra bolig). Informasjon fra Eidsiva Nett.
- Effektiv utnyttelse av sanntidsdata i nettdrift (2018-2019) ledes av Valider AS. Prosjektet skal utforske utviklingspotensial for automatisering og forenklet arbeidsmetodikk, og teste og verifisere nytteverdier av å benytte data fra AMS kombinert med historiske data fra nettselskapene, værdata og andre tilgjengelige datakilder i planlegging, drift og vedlikehold av distribusjonsnettet [14]. Delaktiviteter er knyttet til spenningskvalitet (kartlegge og analysere årsak til spenningsavvik), jordfeilovervåkning (Identifisere omfanget av jordfeil og avdekke og kategorisere feilkildene) og utvikle/teste prototyper av det som er mest lovende og teste nytteverdi i reelle driftssystemer. Resultater vil være tilgjengelig i Valider dashboard.
- Analyse av sensordata i strømmettet (2018-2019) ledes av Sensero AS [16]. Trønderenergi Nett er med i prosjektet. Prosjektet skal utvikle en programvare som identifiserer og visualiserer nettapet i distribusjonsnettet blant annet basert på AMS-data [14].

FME CINELDI

FME CINELDI (2016-2024) er ett av åtte tekniske senter for miljøvennlig energi (FME) som ble startet opp i 2016. CINELDI har som målsetting å utvikle løsninger for fremtidens fleksible, robuste og intelligente elektriske distribusjonssystem (smart grid). Forskningen i senteret fokuserer på det fremtidige kraftnettet i 2030-2040 og tar utgangspunkt i at alle norske strømbrukere har fått installert smarte strømmålere i 2019. Et viktig spørsmål er hva som er de optimale løsningene for det kombinerte kraft- og IKT-systemet. For å finne svar på dette, skal det utvikles nye metoder for planlegging, drift og vedlikehold av kraftnettet. Det fokuseres spesielt på nye områder som utnyttelse av fleksible ressurser (kraftproduksjon, forbruk, energilager), mikro-nett og informasjonssikkerhet. Oppgavene skal løses i et samarbeid mellom fire teknologiområder: elkraft-teknikk, reguleringsteknikk, informasjons- og kommunikasjonsteknologi, i tillegg til samfunnsvitenskap.

CINELDI er bygd opp med seks faglige arbeidspakker med ulik vinkling på smartgrids-tematikken:

- Smart grid development and asset management (WP1)
- Smart grid operation (WP2)
- Interaction DSO/TSO (WP3)
- Microgrids (WP4)
- Flexible resources in the power system (WP5)
- Smart grid scenarios and transition strategies (WP6)

Flere av arbeidspakkene vil ta i bruk ulike typer AMS-data i forskningen. WP2 fokuserer bl.a. på å bruke AMS-data til ulike oppgaver i distribusjonsnettet, f.eks. use case om fremtidens avbruddshåndtering og spenningsregulering. Innen begge temaene er AMS-målinger fra kunder og nettstasjoner viktig informasjon. Ved avbrudd vil AMS-målerne sende "et siste sukk"-signal før de kobler ut. Dette signalet kan brukes til å få oversikt over hvilke kunder som er berørt av avbruddet og dermed til å lokalisere feilen. Informasjon om spenningsforhold ute i nettet er viktig for å f.eks. identifisere områder med lav spenning og iverksette riktig tiltak.

I tillegg fokuserer WP5 på fleksible ressurser i distribusjonsnettet (typisk forbruk, distribuert produksjon og energilager), og WP3 fokuserer på interaksjon DSO/TSO⁴ og hvordan fleksible ressurser kan brukes til nytte for hele kraftsystemet.

Forskningsrådsfinansierte prosjekter

Følgende søkeord er brukt i Forskningsrådets prosjektbank⁵: *strømmåler*, *energimåler* og *AMS*. FME CINELDI omfatter mange ulike aktiviteter relatert til AMS og er presentert over. De øvrige prosjektene er gruppert i følgende kategorier:

1. Produktutvikling tilknyttet AMS-måler – 2 prosjekter
2. Bruk av AMS-data a) Forbrukerfleksibilitet – 6 prosjekter
3. Bruk av AMS-data b) Nettnytte – 3 prosjekter
4. Bruk av AMS-data a) Forbrukerfleksibilitet og b) Nettnytte – 2 prosjekter

Kategori 1 er knyttet til produktutvikling for AMS-målere. I denne kategorien er begge prosjektene relatert til strømsparing hos kunder.

Kategori 2 omhandler prosjekter om forbrukerfleksibilitet som AMS åpner for, både samfunnsforskning som reaksjonsmønstre og utforming av tariff. AMS muliggjør effekttariffer⁶ og kraftkontrakter med time-avregning. Kunder kan få kraftkontrakter med priser som endrer seg etter prisene i kraftmarkedet, og får dermed insentiv til å redusere forbruket i timer med høye kraftpriser.

Kategori 3 er bruk av AMS til å gjøre drift av strømmettet mer effektivt, ofte kalt nettnytte, men også forskning knyttet til cybersikkerhet og personvernproblematikk som er aktuelle temaer ved innsamling og bruk av AMS-data.

Kategori 4 er prosjekter som omhandler både 2 og 3, altså både forbrukerfleksibilitet og nettnytte. Totalt er 13 prosjekter funnet for tidsrommet 2008 til 2020. Det er ikke funnet prosjekter spesielt knyttet til kommunikasjonsløsninger for AMS i Forskningsrådets prosjektbank, men dette kan inngå som en del av de nevnte prosjektene uten at vi har lyktes i å identifisere dette.

⁴ DSO = Distribution System Operator (nettselskap), TSO = Transmission System Operator (Systemoperatør/Statnett)

⁵ <https://www.forskningsradet.no/prosjektbanken/#/>

⁶ Det pågår for tiden en diskusjon om tariffmodell som gir kundene riktige insentiver for bruk av strøm, for å bedre utnytte eksisterende nettkapasitet og for at nettselskap skal unngå å investere i mer nettkapasitet enn nødvendig. En ny tariffmodell skal innføres fra 2021 i Norge. Uansett hvilken tariffmodell som velges, vil sannsynligvis timesverdiene (timeeffekt) benyttes til å prissette netttjenesten, selv om faktisk effekt er dimensjonerende for nettet. Strømforbruket kan endres automatisk ved installasjon av styring av laster, som varmtvannsberedere, varmepumpe, lading av elbil, som reagerer på prissignaler eller ved endringa av kunders vaner for forbruk. Sistnevnte kan eksempelvis gjøres ved å tilby apper med oversikt over energiforbruk og tilhørende alarmer ved høyt pris/forbruk.

Produktutvikling tilknyttet AMS-måler

I Hark Technologies "EcoControl - Automatisk lastfordeling og strømsparing" (2017-2018) [17] ble EcoControl utviklet. Dette er et kontrollsystem for overvåking og optimal styring av strømforbruk i privathus og næringsbygg. Systemet er satt sammen av flere systemer som til sammen overvåker, predikerer, optimaliserer og automatisk styrer energiforbruket. Utrekninger samt undersøkelser på sammenlignbare systemer, viser at besparelser i strømutfgifter kan komme opp i 60% av strømforbruket [18]. Gjennom prosjektperioden ble spesiallaget hardware for innhenting av data fra de smarte strømmålerne utviklet, og demoer på effektstyring ble laget. Hark Technologies vil fortsette med utviklingen av applikasjoner, samt utviklingen av styringssystemet etter endt prosjektperiode.

Utvikling av metoder og system for automatisk effektkontroll i bolig (2016-2019) [19], ledet av elektronikkprodusenten Sikom AS, utvikler et totalkonsept med gode metoder og systemer for effektkontroll i norske/nordiske boliger og hytter, hvor systemet til enhver tid sørger for at makseffekten (kW) holdes under en definert grense. I prosjektets første del er det gjennomført en brukerundersøkelse med 303 respondenter, og anonymiserte rådata fra undersøkelsen ble brukt til å starte analyser for 4-steps segmentering av referansebygg. Utvikling av nytt utstyr ble igangsatt og rekrutteringen av pilotbrukere ble påbegynt. Prosjektet fokuserer nå på å ferdigutvikle første versjon av utstyrløsning, installasjon av utstyr i lab og hos pilotkunder, samt utvikling av og løpende tilpasning av første versjon av algoritmen, basert på fortløpende data.

Bruk av AMS-data a) Forbrukerfleksibilitet

I prosjektet "PARTicipatory platform for sustainable ENergy and Transport Systems" (PARENT) (2016-2019) [20], ledet av Universitet i Bergen, skal det undersøkes om og hvordan smarte målere og tilhørende mulighet for forbrukerfleksibilitet aksepteres av forbrukerne. Prosjektet skal utvikle en plattform for å øke deltagelse i strømsparingstiltak og skape debatt om fordeler og ulemper med smarte strømmålere. Prosjektet foregår i Bergen i parallell med lignende prosjekter i Amsterdam og Brussel. Nå er 50 energiovervåkningsenheter levert ut og to av tre fokusgrupper er gjennomført. Det gjenstår også å analysere data fra forsøkene.

I ERA-NET Smartgrid - "Markets - Actors - Technologies: A comparative study of smart grid solutions (MATCH)" (2016-2018) [21], ledet av NTNU, studeres små og mellomstore forbrukeres rolle i ulike smarte strømnetsløsninger. Det gjennomføres case studier i tre ulike land, Norge, Danmark og Østerrike. Det skal undersøkes hva som er suksesskriterier for å få til strømsparing i de tre landene. Ved hjelp av enkle teknologiske grep har bedriftene redusert og endret sin energiprofil tydelig. På den andre siden mobiliseres et stort og ressurskrevende sosialt apparat, som ikke nødvendigvis alltid vil være der.

ERA-NET "Integrating households in the smart grid" (IHSMAG) (2012-2016) [22], ledet av NTNU, undersøker spriket mellom retorikk og forståelse når det gjelder hva slags rolle smarte nett vil spille i årene fremover. I prosjektet har brukernes holdninger til Smartgrid-utrustingen blitt studert gjennom to ulike studier i Norge. I Danmark ble det undersøkt 1) kombinasjoner av dynamisk prising og elbiler og 2) elbiler mer generelt. Ett av målsetningene med IHSMAG-prosjektet var å utvikle kunnskapsbaserte råd for hvordan man kan utvikle smarte energiteknologier, samt hvordan slike løsninger best kan integreres i eksisterende energisystemer på en måte som gagnar og tar hensyn til husholdningene. På et overordnet nivå understreker resultatene som har fremkommet i prosjektet, viktigheten av å lage teknologier som tar hensyn til hverdagspraksis, og som synliggjør de mange relasjonene energiforbruket inngår i. For eksempel bør man visualisere energiforbruk per apparat, i relasjon til andre meningsfulle og sammenlignbare aktiviteter (for eksempel fly, bilkjøring, «gjennomsnittshusholdningen» osv). Videre er det viktig å forsøke å formidle informasjon i andre termer enn de rent tekniske og økonomiske, for å stimulere til respons hos kundene. I en rapport utviklet av hele konsortiet er femten råd til teknologi- og policyutviklere presentert.

"Miljøgevinst ved Avanserte Måle- og Styringssystemer (AMS)" (2008-2013) [23], ledet av Energi Norge, så på hvilke virkemidler som kan benyttes overfor kunder og hvordan ulik informasjon kan bidra til å realisere miljøgevinster ved AMS. Første del av prosjektet fokuserte på hvordan fullskala innføring av AMS kan legge til rette for miljøtiltak, og oppgaver som har nytte av fullskala AMS og deres potensiale for positiv miljøgevinst, ble beskrevet. Aktiviteten ble basert på ekspertgrupper og case-studier. Andre del av prosjektet omhandlet hvordan AMS kan benyttes for å bidra til miljøgevinst i form av økt forbrukerrespons og reduksjon i energi- og effektforbruk for husholdningskunder. Fokus var uttesting av teknologi, informasjon og prissignaler. Det ble identifisert hvilke miljøsignaler som får kunder til å redusere og effektivisere eget forbruk.

Prosjektet "Smart tariffing av kraft og nettleie i fremtidens aktive distribusjonsnett" (2013-2018) [24], ledet av Energi Norge, undersøkte bruk av AMS og tilhørende datatilgang til å utvikle og evaluere ulike modeller for utforming av nettleietariffer og kraftprodukter, som vil kunne utnytte ny tilgjengelig teknologi og bidra positivt til utvikling og drift av fremtidens smarte distribusjonsnett. Det er utarbeidet en rapport som presenterer teknologier for styring av effektutveksling mellom kraftnettet og kunder, inkl. lagring. I rapporten gis en oversikt over de aktuelle reguleringsobjektene, aktiveringskriterier for styring, kunde-preferanser, aktuell styringsteknologi og utfordringer. Høsten 2015 ble det innført en effekttariff blant timemålte husholdning- og hyttekunder på Hvaler, Kråkerøy og i Fredrikstad. Blant disse kundene ble det i mai 2016 sendt ut en spørreundersøkelse for å kartlegge kundenes holdning til effekttariffen. Resultatet fra spørreundersøkelsen tyder på at det er en stor overgang å gå fra energi- til effekttariff, noe som krever tydelig informasjon til kundene i forkant av innføring.

Det er funnet en nærings-PhD som er tematisk interessant "Hvordan virker sanntidsdata inn på forbruker-atferd?" (2016-2019), initiert av strømleverandøren Krafttriket AS. PhDen skal undersøke forbrukeradferd i kraftmarkedet. NVE innfører en ny prismodell for nettleie, der forbruker betaler for effektbruk i stedet for totalt energiforbruk. For at kundene skal kunne tilpasse seg disse svingningene og effektprisingen, kreves det at de får bedre innsikt i eget forbruk gjennom AMS og muligheten til å regulere dette. PhDen undersøker hvordan forbrukeren reagerer på disse endringene. Ved å ta i bruk kunnskap fra sosialpsykologien vil det letes etter nye måter å motivere til reduksjon og flytting av last. Ringeriks-Kraft har en app der kundene kan lese av forbruket sitt. Våren 2018 er det planlagt å teste effektpriser og undersøke i hvilken grad det er en forskjell på hvordan forbrukerne reagerer på bakgrunn av om de har sanntidsinformasjon eller ikke. Det vil også bli undersøkt hvordan kundene tilpasser seg det nye prissystemet. En tilsvarende studie fra Berkeley viser en reduksjon under topplast på mellom 11 og 13 %. Det skal undersøkes om dette også er gyldig for Norge.

Bruk av AMS-data b) Nettnytte

"Spenningskvalitet i smarte nett" (SpesNett) (2012-2017) [25], ledet av Energi Norge, har utviklet en programvare for Automatisk Hendelses Analyse (AHA). Programmet foretar automatisk diagnostisering av hendelser i kraftnettet på grunnlag av kontinuerlige spenningsmålinger. Programmet vil bidra til å effektivisere årsaksanalyser/feilanalyser ved observasjon av spenningsforstyrrelser som skaper problemer for driften av nettet og for kunder. Programmet vil i tillegg gi data for statistiske analyser over ulike typer hendelser i kraftnettet. Det er i prosjektet utviklet omfattende beskrivelser av hvordan Smart Strøm (AMS) kan benyttes til å overvåke tilstanden i lavspenningsnettet og effektivisere driften og forbedre nettplanleggingen og kundeservicen. Beskrivelsene er også presentert for norske teknologileverandører for å bidra til nødvendig teknologiutvikling for å kunne operasjonalisere nyttepotensialet. Så godt som samtlige 2,9 millioner nye målere er nå kontrahert med spenningsmåling. Det er gjennomført flere felttester av utfordrende elektriske apparater deriblant trefase jordvarmepumper, trefase kloakkpumper og enfase hurtiglading (7 kW) av Tesla model S. Testene viser at flere enkeltprodukter vil skape forstyrrelser i mange norske lavspenningsnett der forstyrrelsene er større enn det som kan anses å være akseptabelt. Det er sluttført en rapport på utfordrende elektriske apparater (UEA) som har bidratt vesentlig til bevisstgjøring om sammenhengen mellom nett- og

apparat egenskaper, samt gitt anbefalinger til nettstyrke for både IT- og TN nett. Det er laget en veileder på utfordrende elektriske apparater for elektroinstallatører.

ENERGYTICS (ENERGY analyTICS) (2017-2020) [26], ledet av nettselskapet Hafslund AS, skal demonstrere hvordan maskinlæring og data science kan øke nytteverdien av de nye smarte strømmålerne (AMS). Målerne i seg selv representerer en stor og krevende investering for både nettselskap og samfunnet. Først og fremst er målerne sett på som et verktøy for automatisk avregning og avlesning av strømforbruk med timesverdier. De kan imidlertid levere et stort antall tilleggsfunksjoner. Dette legger til rette for andre nytteverdier gjennom utnyttelse av analyse av AMS-data, nettdata og sammenkobling av ulike datakilder, og muligheten til å bygge opp gode databaser for historiske nøkkeldata fra distribusjonsnettet. Slike data vil kunne gi et bedre beslutningsgrunnlag for drift og investeringer. Data fra AMS-målere analyseres i utvalgte demonstratorer, som deteksjon av elbiler, plusskunder og andre fleksible ressurser, identifikasjon/prediksjon av feil (probability of failure), analyse av spenningskvalitet og optimalt dele og gjeninnkobling etter hendelser i nettet.

"Continued Annual Workshop on Cyber Safety, Security and Resilience of Critical Energy Infrastructures" (CSSR-CEI) (2017) [27], ledet av NTNU, er en serie av workshops som blir holdt for å diskutere relevante problemstillinger til kritisk energi infrastruktur. Workshopen i 2017 fokuserte på SCADA mht. "smart metering" (AMS) og vindparker, men vil også fokusere på cyberøvelser i nasjonal skala.

Bruk av AMS-data a) Forbrukerfleksibilitet og b) Nettnytte

"Demonstrasjon og Verifikasjon av Intelligente Distribusjonsnett" (DeVID) (2011-2015) [28], ledet av NTE, ville fremskaffe et nytt og bedre kunnskapsgrunnlag for beslutningstakere som skal anskaffe, anvende eller utvikle Smartgrid-teknologier. Det ble i prosjektet gjennomført flere pilottester i Steinkjer og på Hvaler. Det ble utviklet 28 use case som beskriver ulike funksjoner som kan fås ut fra AMS-måleren, eksempelvis balansemåling, identifikasjon av dårlig spenningskvalitet og identifikasjon av jordfeil. Tester av use case ble utført på data og med infrastruktur på Demo Steinkjer og Smart Energi Hvaler. Utførelse av tester inkluderte labtester, analyse av AMS-data, analyse av data fra nettstasjon og testing av alarmer. Use casene og testene av disse har gitt innspill til nettselskap og leverandører om hvilke funksjoner som kan være nyttige og krav som må oppfylles for å få frem funksjonene. En arbeidspakke i prosjektet fokuserte på informasjonssikkerhet og personvern og ga ut rapporten "Informasjonssikkerhet og personvern: Støtte til risikoanalyse av AMS og tilgrensende systemer". Rapporten støtter gjennomføringen av en risikoanalyse av AMS og tilgrensende IT-systemer hos et nettselskap hvor analysen fokuserer på informasjonssikkerhet og personvern. Forbrukerfleksibilitet ble også testet ut og kunder ble rekruttert til å delta i ulike praktiske forsøk, hovedsakelig husholdninger og hytter. Utpøring av en ny effekttariff hvor over 50 brukerne på Steinkjer og Hvaler har blitt utstyrt med tekniske løsninger som har gjort det mulig for dem å følge eget forbruk kontinuerlig, ble gjennomført i perioden januar-juni. I samme periode ble det gjennomført et såkalt «demand-response» program hvor eiere av hytter og ubebodde boliger deltok. Hensikten var å koble ut strømmen til varmtvannsberedere og oppvarmingsenheter for å bedømme effektreduksjoner i perioder med høy belastning i distribusjonsnettet. Dette skulle skje uten å forårsake frostskafer, redusert komfort eller andre negative konsekvenser.

Prosjektet "Electricity Usage in Smart Village Skarpnes" (2012-2017) [29], ledet av Agder Energi Nett, har samlet inn data fra fem "nesten null energi" hus bygget på Skarpnes, sør for Arendal. Dataene er unike fordi dette er det første null-energi boligfeltet i Norden. Boligene var utstyrt med instrumentering som målte virkelige forbruksdata. Strømproduksjonen fra PV-systemet ble overvåket sammen med innstråling og temperatur for å beregne systemets ytelse. Netto elektrisk forbruk og produksjon fra hvert hus ble kontinuerlig registrert av en AMS-type elektrisitetsmåler og en Elspec effektkvalitetsmåler med høy tidsoppløsning. Slike omfattende data er ikke tilgjengelig fra noen annen kjent kilde i Norge. Målet med prosjektet var å undersøke hvordan det elektriske distribusjonsnettet kan utformes og styres på en optimal måte i

fremtiden. Prosjektet har undersøkt individuelle og aggregerte effektbehov for å avgjøre hvordan distribusjonsnett vil bli påvirket av null-energi i fremtiden. Distribusjonsnettets kapasitet er basert på det kombinerte effektforbruket fra grupper av boliger. Maksimalt strømforbruk per hus er 8 kW uten elbillading. Med elbil er maksimalt strømforbruk estimert til 18 kW. Fordi maksimalt strømforbruk ikke oppstår samtidig, er det erfart i dette prosjektet at det er tilstrekkelig å dimensjonere transformatoren til 25 kW, noe som gir en sammenlagring tilsvarende som tidligere verdier for normale hus. Dette er viktig informasjon for Agder Energi Nett for å planlegge fremtidig nettdrift.

4.2 Relevante EU-prosjekter

I Forskningsrådets prosjektbank finnes det oversikt over EU-prosjekter som er støttet av Forskningsrådet. Her oppsummeres prosjekter som er funnet under kategorien "Energi" og søkeord "metering" og "smart meter". Det ble også gjort søk i to relevante databaser^{7,8} med følgende søkeord for kategorien "results in brief"; smart electricity meter. EU-prosjektene er delt i samme kategorier som de norske prosjektene.

Det ble ikke funnet noen prosjekter, i utvalget som er vist her, som inneholdt produktutvikling relatert til AMS-målere.

Bruk av AMS-data a) Forbrukerfleksibilitet

"Smart Consumer - Smart Customer – Smart Citizen (3S)" [30] er et prosjekt som skal gi støtte til forbrukerne slik at de skal forstå smartgrids. Utnyttelse av mulighetene som smart grid gir, eksempelvis forbrukerfleksibilitet, er avhengig av riktig teknologi, insentiver og aksept fra brukerne. Prosjektet jobbet tverrfaglig for å finne gode måter for å informere og motivere forbrukere til å endre sitt energiforbruk. Prosjektet har laget retningslinjer og verktøy for å engasjere forbrukere. Det er også gitt 24 anbefalinger til hvordan reguleringen kan fremme forbrukerfleksibilitet.

Prosjektet "Active Demand Value ANd Consumers Experiences Discovery" (ADVANCED) (2012-2014) [31] undersøkte hvordan forbrukerfleksibilitet kan aktiveres gjennom AMS-målere på europeisk nivå. Et mål i prosjektet er å identifisere og overvinne barrierer som hindrer massiv bruk av fleksibiliteten til forbrukere av energi. Basert på undersøkelse av piloter på forbrukerfleksibilitet i Europa ble det laget to spørreundersøkelser for å identifisere barrierer og holdninger knyttet til forbrukerfleksibilitet. I tillegg ble betydningen av forbrukerfleksibilitet for kraftsystemet kvantifisert i prosjektet.

Prosjektet "Public extended network metering" (OPEN METER) (2009-2011) [32] spesifiserte åpne standarder for utbygging av AMS infrastruktur. Dette prosjektet tok ikke kun for seg måling av energi, men også måling av vann, varme og gass. Dette for at kundene lett skal få oversikt over forbruket sitt og eventuelt endre vaner for å spare penger. Prosjektet ga anbefalinger til standardiseringsorganer om videre arbeid for å sikre interoperabilitet mellom ulike systemer.

"Local Electricity retail Markets for Prosumer smart grid pOWER services" (EMPOWER) (2014-2018)⁹ er et prosjekt som skal undersøke og utvikle IKT-løsninger som skal støtte utviklingen av lokale energimarkeder og forretningsmodeller, inkludert driftsmodeller for å støtte mikroproduksjon med fornybare energiresurser og deltagelse av kunder og prosumere. Aktiviteter i prosjektet var blant annet å designe en

⁷ https://cordis.europa.eu/projects/home_en.html

⁸ <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/>

⁹ <http://empowerh2020.eu/>

IKT-plattform for å drive lokale energimarkeder og teste denne i tre piloter på Hvaler, i Wolpertshausen (Tyskland) og Malta. For den norske piloten konkluderes det med at kjøp av fleksibilitet kan være et alternativ til nettinvesteringer.

Bruk av AMS-data b) Nettnytte

Prosjektet "Cyber-secure Data and Control Cloud for Power Grids" (C-DAX) (2012-2016) [33] laget en plattform for sikker kommunikasjon mellom eksempelvis elbilladere, AMS-målere og andre måleenheter i nettet. Sikker **kommunikasjon** er en forutsetning for mange av gevinstene som er forespeilet av AMS-målere spesielt og smart grid generelt.

Prosjektet "Secure Personal Data Services for Efficient Home Energy Management" (PDS4NRJ) (2013-2014) [34] tar for seg utfordringer knyttet til personvern og datasikkerhet knyttet til AMS-målere. Prosjektet har som mål å sikre at forbrukerne har en viss kontroll på hvem som har tilgang på deres data og hva dataene brukes til. Det er utviklet en plattform som sikrer at energiselskapene får tilgang til og benytter dataene på korrekt måte.

Prosjektet "Supporting the development and deployment of advanced metering infrastructures in Europe" (Meter-ON) (2012-2014) [35] hadde som mål å kartlegge og overvinne tekniske og regulatoriske hindringer som står i veien for å utnytte AMS-målere. Erfaringer fra 27 nettselskap ble innhentet og analysert, i tillegg til 23 forskningsprosjekter knyttet til AMS. Resultater fra prosjekter og erfaringer ble sammenfattet for å identifisere hva som førte til suksess og hvordan ulike faktorer påvirker hvordan målinger fra AMS blir utnyttet. Prosjektet har laget anbefalinger om hva som er beste praksis for å optimalisere bruk av AMS-data. Sluttrapporten inneholder blant annet en oversikt over kommunikasjonsteknologier som er valgt i de 23 prosjektene som ble analysert og anbefalinger [36].

Prosjektet "Smart ICT-enabled Rural Grid innovating resilient electricity distribution infrastructures, services and business models" (Smart_Rural_Grid) (2014-2017)¹⁰ hadde som mål og utvikle innovative smart grid tilnærming for det rurale distribusjonsnettet med lange radialer, lite redundans og høye vedlikeholdskostnader. Dette prosjektet var forgjengeren til EMPOWER og INVADE, som også er EU-prosjekter nevnt i dette kapitlet. Prosjektet tok for seg blant annet økende kontroll over nettet ved hjelp av IDPR (intelligent distribution power router) installert i nettstasjoner, for å muliggjøre frakobling til microgrid. Energilager ble også testet ut i prosjektet for å øke forsyningssikkerheten.

Prosjektet "Civil Cyber Range Platform for a novel approach to cybersecurity threats simulation and professional training" (CYBERWISER.eu) (2018-2021)¹¹ er nyoppstartet, og skal lage en testplattform for å simulere cybertrusler og som personell kan bruke til trening. Energisektoren er en av tre fullskalapiloter i prosjektet. Hvilke datakilder som skal benyttes for testing er ikke spesifisert.

"Renewable penetration levered by Efficient Low Voltage Distribution grids" (RESOLVD) (2017-2020)¹² er et pågående prosjekt med mål om å øke effektiviteten og "hosting capacity" til distribusjonsnettet, med mye distribuert produksjon, ved hjelp av fleksibilitet og kontroll. PMU (phasor measurement units) og algoritmer for å forutsi last og produksjon vil redusere usikkerheten i nettdrift. AMS-målere er en av datakildene for prediksjon av last.

¹⁰ <http://smartruralgrid.eu/>

¹¹ <https://www.cyberwiser.eu/>

¹² <https://resolvd.eu/>

Bruk av AMS-data a) Forbrukerfleksibilitet og b) Nettnytte

Prosjektet "Real proven solutions to enable active demand and distributed generation flexible integration, through a fully controllable low voltage and medium voltage distribution grid" (UPGRID) (2014-2017) [37] var ledet av Iberdrola. Målet for prosjektet var å øke overvåkningsgraden og kontrollerbarheten til lavspenning distribusjonsnett både mht integrasjon av distribuert produksjon og å binde kundene nærmere drift og planlegging av nettet. AMI (advanced monitoring infrastructure) ble i prosjektet brukt til å knytte hendelser i måleren til avbruddshåndteringssystem hos nettselskap og å teste fjernstyring i nettet. Det ble også forsket på forbrukerfleksibilitet ved å kartlegge kapasitet hos kunder og teste kommunikasjonsløsninger knyttet til kunder. 4 piloter i Spania, Portugal, Sverige og Polen ble brukt for uttesting.

"Smart system of renewable energy storage based on INtegrated EVs and bAtteries to empower mobile, Distributed and centralised Energy storage in the distribution grid" (INVADE) (2016-2019)¹³ er et pågående EU-prosjekt. Det er en pilot i Norge i dette prosjektet, i Stavanger. I denne piloten skal det testes ut løsninger for toveisstyring av kundenes last. Det fokuseres på batteri (stasjonært eller elbil) og termiske laster som varmtvannsberedere/elkjeler. Gitt at disse lastene kan styres kan reinvesteringer i nettet utsettes og kundene kan spare penger ved å flytte forbruk fra høylastperioder med høy pris. Målinger fra AMS skal benyttes for uttesting av slik laststyring i piloten. I tillegg er det piloter i Tyskland, Spania, Nederland og Bulgaria.

4.3 Relevant forskning i USA

Det har ikke blitt funnet en prosjektdatabase for forskningsprosjekter i USA, og derfor har forskning fra sentrale forskningsinstitutt blitt undersøkt, i tillegg til et litteratursøk blant vitenskapelige publikasjoner med forfattere som har tilhørighet til universiteter, institutter og selskaper i USA.

En stor del av midler til forskning på energiområdet gis av U.S. Department of Energy (DoE)¹⁴. Energy Information Administration (EIA) er DOEs statistiske og analytiske byrå, og de innhenter, analyserer, og formidler uavhengig og upartisk informasjon. Søk på "smart meter" og "AMI" på EIA sine nettsider¹⁵ ga én relevant rapport.

Electric Power Research Institute (EPRI) er et uavhengig forskningsinstitutt i USA som har flere forskningsprogrammer innenfor feltet "Power Delivery and Utilization" hvor AMS inngår. De har dessverre en del publikasjoner som ikke er offentlig tilgjengelige, og som man må betale for å få tilgang til. Det meste som er tilgjengelig er såkalte "Technical updates", altså ikke ferdige tekniske rapporter, men forskning som pågår. De fleste av disse ble utgitt i 2015 eller tidligere. Et søk på "smart meter" og "AMI" innenfor emnet "AMI" på EPRI sine nettsider¹⁶ ga seks relevante rapporter og tekniske oppdateringer, og en oppsummering av disse har blitt gjort.

For å finne nyere forskning i USA, har det blitt utført et litteratursøk i databasen EI Compindex på engelsk litteratur der minst en av forfatterne har tilknytning til USA. Siden det er mye litteratur på dette feltet fra USA, ble det søkt kun i tittel, abstract og emne etter søkeordene i tabell 4.1. I tillegg ble det kun søkt i litteratur i 2018, og litteratur med temaer som ikke er relevant for AMS-infrastrukturen ble lukket ut i søket (se tabell 4.1). Dette ga 118 treff, hvorav 54 ble funnet relevante for denne rapporten, og disse har blitt oppsummert. I litteratursøket ble det notert hvilke aktører som har utgitt størst del av litteraturen, og dette

¹³ <https://h2020invade.eu/the-project/norway/>

¹⁴ <https://www.energy.gov/science-innovation>

¹⁵ <https://www.eia.gov/>

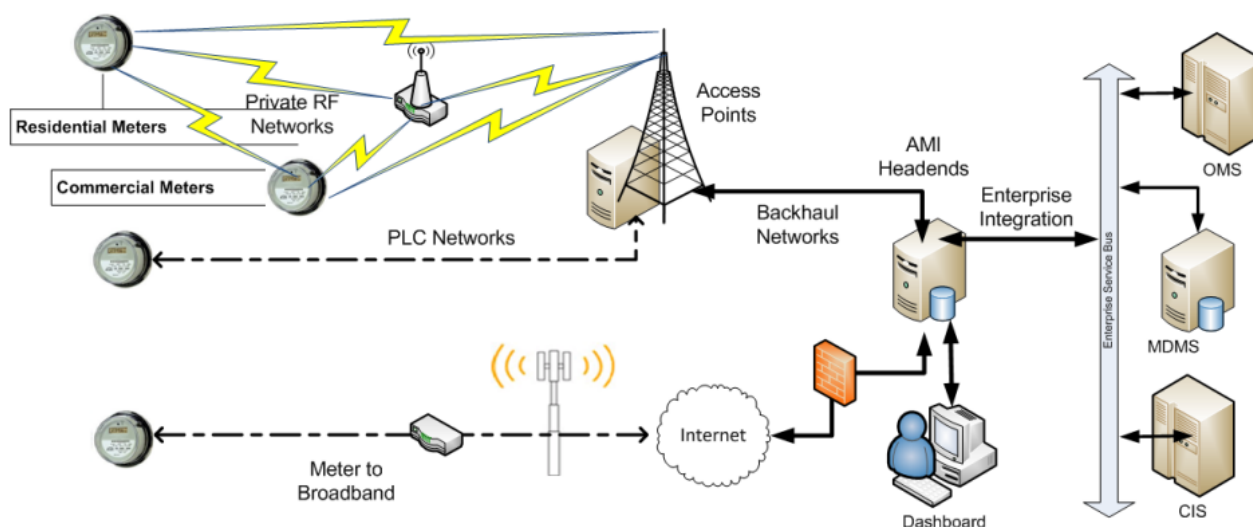
¹⁶ <https://www.epri.com/#/?lang=en-US>

viste seg å være universiteter. Etter universiteter er det nasjonale laboratorier som har utgitt mest litteratur, men søk på deres nettsider ga ikke flere treff enn litteratursøket i seg selv gjorde. Også finansieringskildene i den relevante litteraturen ble notert. Her er, i tillegg til DoE, National Science Foundation (NSF) en stor aktør, men det ble ikke funnet noen database på nettsidene deres med hvilke prosjekter de støtter.

Tabell 4.1: Søkeord brukt i litteratursøk og utelatte temaer brukt for å luke ut ikke relevant litteratur

Søkeord	Utelatte temaer
"smart electricity meter"	Costs
"smart electricity meters"	Crime
"smart electricity metering"	Sales
"smart meter"	Health
"smart meters"	Heart
"smart metering"	Speech
AMI	Speech communication
	Speech recognition

EIA skrev i 2016 at nesten halvparten av alle strømkunder i USA har fått smarte strømmålere installert, og at målere med toveiskommunikasjon har blitt vanligere enn målere med enveiskommunikasjon [38]. En generell figur over toveis kommunikasjon i AMS-infrastrukturen i USA er vist i figur 4.1.



Figur 4.1: Forenklet skisse av typisk AMS-infrastruktur i USA [39]

4.3.1 Resultater av søk hos EPRI og EIA

Funn hos EPRI og EIA er delt i samme kategorier som de norske og europeiske prosjektene.

Produktutvikling tilknyttet AMS-måler

EPRI har gitt ut en rapport hvor muligheter og barrierer for en AMS-infrastruktur hvor alle deler er interoperable har blitt undersøkt [39]. Positive effekter er mange, blant annet at det blir enklere for tredjeparter å levere systemer og andre sensorer, at man kan knytte ulike kommunikasjonssystemer (ulike typer kommunikasjon egner seg til ulike geografiske områder) til head-end systemet, og at det blir enklere å knytte AMS-infrastrukturen til systemer internt i nettselskapene. De konkluderer likevel med at det kreves mer forskning på hvem som skal være ansvarlig for å integrere de ulike systemene, om det vil redusere farten til den teknologiske utviklingen på området, om det vil gjøre at ytelsen til systemene blir dårligere og hvordan økonomien vil påvirkes.

I 2012 ga EPRI ut en "technical update" [40] i forbindelse med prosjektet "AMI Incident Response Project", som har som mål å utvikle en standard for alarmer og hendelser hos ulike leverandører av AMS-målere, hvordan designe et system for å oppdage inntrengninger i systemet, og lage retningslinjer for hvordan respondere på sikkerhetshendelser. I rapporten beskrives arbeid gjort for å oppnå det første av de tre målene. Rapporten starter med å vise hvordan AMS-infrastrukturen typisk er bygd opp, vist i figur 4.1. Systemet ligner på det norske, hvor radio-nettverk brukes for å overføre data fra kunder til konsentratorer, og deretter sendes de til head-end systemet til den enkelte AMS-leverandør. Det er også mulig med kommunikasjon via PLC eller bredbånd. Hendelser kan klassifiseres som skadelige og ikke-skadelige. Skadelige kan være brudd på personsikkerhet, hacking, virus og tyveri av enheter eller strøm, mens ikke-skadelige kan være driftsuhell, systemfeil, feil på utstyr eller naturkatastrofer. Mål for system som håndterer hendelser i AMS-måler er å oppdage skadelige handlinger, evaluering av hendelser, opplyse relevante personer, og muliggjøre passende respons til hendelser. Rapporten inneholder en oversikt over alarmer og hendelser som er felles for ulike leverandører, og som skal videreutvikles videre til en standard.

I en annen EPRI "Technical update" [41] undersøkes det hvordan spesifikasjoner av AMS-infrastrukturen burde være for å være "future-proof" – altså at de designes for å beskyttes mot rask foreldelse. To ting som påvirkes av endringer over tid er hvor mye minne som kreves og hvor mye gjennomstrømning av data som kreves. For å kunne si noe om hvor mye minne og gjennomstrømning som kreves, er det flere mulige endringer man burde ta i betraktning:

- Fremskritt innenfor distribuert intelligens i distribusjonsnettet
- Mulighet for å utvide med ny logikk eller intelligens i måleren
- Fleksibilitet i kommunikasjonsløsningen til å oppgradere til nye protokoller eller støtte flere protokoller samtidig
- Flere målinger eller målinger med høyere kvalitet
- Cyber-sikkerhetsoppdateringer

For å skrive "future-proof" spesifikasjoner til AMS-infrastrukturen må man ta hensyn til mulige fremtidige scenarier, og veie kostnader mot nytteverdien til mulige spesifikasjoner.

Bruk av AMS-data a) Forbrukerfleksibilitet

EIA har hatt et prosjekt hvor de har sett på hvordan nettselskap utnytter smarte strømmålere til energi-effektivisering og andre formål, i tillegg til å anbefale standarder for data fra smarte strømmålere. De har spesielt sett på det såkalte "Green Button Initiative", som er en standard for tilgjengeliggjøring av data til

kunden selv. De fleste nettselskapene som bruker dette tilbyr timesverdier. Til slutt så de på det langsiktige potensialet til å bruke dataene i modellering av strømforbruk til husholdninger [42].

Bruk av AMS-data b) Nettnytte

EPRI har også sett på nytteverdien ved å bruke AMS-data i 13 avanserte metoder for automatisering av distribusjon [43], inkludert sanntids driftsmodell og analyse, beredskapsanalyse, kontroll av spenning og effekt, FLISR (Fault Localisation, Isolation and Service Restoration), rekonfigurering av avganger, sanntids omkoordinering av vern, koordinering av nødssituasjoner, koordinering av gjenoppretting, optimal allokering av brytere, optimal allokering av kontrollenheter for reaktiv effekt og spenning, AMS-allokering og allokering av lastrespons. AMS kan gi store fordeler til automatisering av distribusjon, men avhenger av hvilke data AMS-måleren gir og hvordan automatiseringsprosessene er designet. Mesteparten av bruksområdene krever ikke direkte sanntids informasjonsutveksling mellom automatiseringsprosessene og AMS-infrastrukturen, men avanserte metoder burde utvikles her. En eldre rapport tar for seg en lik problemstilling [44], og ser da i tillegg på predikering av last, monitorering av feilindikatorer, prediktiv feillokasjon, integrasjon av distribuert produksjon, mikronett-kontroll, topologi-analyse og håndtering og kontroll av elektriske biler.

I en "Technical update" fra 2015 har EPRI utført et case-studie på nettselskapet Pacific Gas and Electric Company (PG&E) som har kommet langt i utrulling av smarte strømmålere og å selv utføre analyse av måledata [45]. Utfordringer i prosessen til PG&E har vært at det er et stort selskap hvor ulike avdelinger ofte har egne databaser og analyseprosesser, og at datasett kommer i mange ulike formater som må bearbeides før de kan brukes i analyse. Hva de har lært av prosessen er at en viktig del er å sentralisere dataanalyse i én gruppe, at analyse-prosjektene har klare nytteverdier for selskapet og at ansatte med ulike analysekunnskaper burde ansettes.

En evaluering av Power Quality (PQ) data fra smarte strømmålere ble gjort i 2011 [46], både med tanke på hvilke muligheter strømmålerne har til å måle PQ-data og potensiale og utfordringer ved å implementere disse målingene distribusjonsnett. Ulike strømmålere med mulighet for å måle PQ-data har blitt undersøkt, og 20 nettselskap har blitt spurt om hvordan de bruker PQ-data i dag og utfordringer med å ta i bruk PQ-data fra strømmålere. Identifiserte utfordringer er blant annet høye kostnader ved å ta i bruk PQ-funksjoner i eksisterende målere, for liten båndbredde i eksisterende kommunikasjonsnettverk for å overføre PQ-data og ingen mulighet for langtidslagring av data. Det har også blitt sett på hvilke PQ-data som trengs for ulike bruksområder.

Bruk av AMS-data a) Forbrukerfleksibilitet og b) Nettnytte

I en "Technical Update" om kunde-orientert dataanalyse, så EPRI på bruk av Big Data hos nettselskap [47]. De foreslo syv ulike typer kundeanalyse: markedsføring, gruppering av kundetyper, laster, energi-effektivitet og forbrukerrespons, kundebehandling, finansiell analyse og operasjonell analyse. I rapporten så de på 150 ulike analyseprodukter som allerede var tilgjengelige, og flesteparten av dem var innenfor energieffektivisering, engasjering av kunder og håndtering av forbruk. Barrierer for bruk av slike produkter hos nettselskap er blant annet at slik analyse ikke nødvendigvis gir fordeler som kan måles i penger, det er vanskelig å velge mellom produkter og det kommer nye produkter hele tiden, kunnskap om bruk av produktene kan være manglende, type AMS-data hvert nettselskap har kan variere, usikkerhet rundt risiko knyttet til nye tjenester som bruker kundedata, eksterne produkter kan overlappe med tjenester nettselskapene tilbyr fra før og kunder kan endre strømforbruk på ulike måter avhengig av valgt produkt. For å realisere bruk av Big Data er videre forskning identifisert i rapporten blant annet: case-studier på produkter som allerede er tatt i bruk, utvikle analysemetoder for å vaske data fra AMS-systemet, muliggjøre utvikling av åpne standarder og utvikle et rammeverk for kost-nytte analyse ved å ta i bruk slike analyseprodukter.

4.3.2 Resultat av søk blant vitenskapelige publikasjoner fra 2018

Produktutvikling tilknyttet AMS-måler

Det er en del litteratur på alternativer til kommunikasjonsteknologi i AMS-infrastrukturen. En artikkel har blitt utgitt der det blir sett på bruk av millimeter-bølgeteknologi til bruk i kommunikasjonen mellom smarte strømmålere og en gateway, [48]. Det skrives at ulemper med denne type teknologi er at det kan skje interferens mellom målere i tilgrensende nettverk og at menneskekroppen kan blokkere signalene. En annen artikkel tar for seg økt bruk av kommunikasjon via mobilnett (og da spesielt LTE) i AMI, og hvordan denne teknologien skal kunne fungere sammen med eksisterende WiFi-system [49]. En analyse av ytelsen og muligheten for å bruke LTE 4G-kommunikasjon til å støtte Internet of Things-systemer har også blitt funnet, og konklusjonen var at den ikke tilfredsstiller kravene for dataforsinkelse per i dag, [50]. Kommunikasjon i AMI har ofte en hierarkisk tre-struktur, og kan derfor være sårbar for feil. To alternative løsninger har derfor blitt foreslått i en artikkel, der det er flere kommunikasjonsmuligheter mellom de ulike delene av kommunikasjonsnettverket, [51].

Et annet tema er systemer hos kunden. Det har blitt funnet en artikkel hvor det har blitt utviklet et juridisk rammeverk for undersøkelse av smarte hjem, inkludert sensorer, smarte strømmålere og styringssystem. De tar blant annet for seg behovene for standardisering av systemer og sikkerhet, [52].

Et alternativ til skybaserte analyseplattformer som kan håndtere større mengder data kalles "edge computing". I en artikkel har det blitt sett på løsninger for å unngå kapasitetsproblemer i kommunikasjonen mellom sky-servere og edge-enheter, [53].

Bruk av AMS-data a) Forbrukerfleksibilitet/"Forbrukernytte"

Når det gjelder forbrukerfleksibilitet, har det for eksempel blitt skrevet om en tjeneste som analyserer data fra smarte strømmålere med minuttsopløsning og beregner en optimal termostatplan basert på når beboerne i husholdningen er hjemme, [54]. I en annen artikkel optimaliseres strømforbruket av ulike apparater for en 24-timers periode i husholdninger ved å bruke en enhet i smarte strømmålere til å beregne og koordinere optimalt strømforbruk til de ulike apparatene, gitt en Time of Use-tariff, [55]. Optimaliseringen gjennomføres etter at kundenes strømforbruk har blitt kategorisert i ulike grupper etter hvor like de er, og modellen har blitt simulert på 15-minutters data fra 247 plusskunder med solcelleanlegg.

Ved å bruke et datasett fra smarte strømmålere har strømforbruk for ulike apparater blitt karakterisert og fleksibilitetspotensiale i apparatene har blitt kvantifisert, hvor resultatet er at potensialet viser seg å være betydelig, [56]. Disaggregering av strømforbruket til varme og ventilasjon har også blitt brukt til å kvantifisere potensialet for forbrukerrespons fra termiske laster hos ulike kunder, [57].

En metode for å finne varmelekkasjer i hus har blitt utviklet i [58]. Den tar inn totalt strømforbruk fra smarte strømmålere og disaggregerer forbruket til varme og ventilasjon. Metoden fungerer for data med 1 minuttsopløsning.

Et auksjonssystem hvor smarte strømmålere brukes til å by på strøm i høylasttimer har blitt foreslått og simulert for ulike antall målere, [59]. Auksjonen styres av kraftprodusentene og inneholder et krypterings-system for å gjøre prosessen sikker.

Det ser altså ut som at innenfor forbrukerfleksibilitet/forbrukernytte er det fokus på analyse av data fra smarte målere, både for å optimalisere styring av laster og for å kvantifisere fleksibilitetspotensiale, men også en markedsløsning har blitt diskutert.

Bruk av AMS-data b) Nettnytte

Flere artikler innenfor nettnytte tar for seg lastflytanalyse og estimering av tilstand i nettet. I den første artikkelen måles strømforbruket i avganger (fra trafo) som har variabel last ved bruk av smarte strømmålere, mens avganger som har relativt konstant last ikke er målt, noe som krever færre målte avganger enn for andre lastflytanalyser. For at dette skal fungere i radielle nett, må lokaliseringen til de ikke-målte avgangene være kjent, [60]. En annen artikkel beskriver en metode for en tidsvariabel lastflytmodell for distribusjonsnettet, basert på AMS-data med 5-minutters oppløsning som inneholder målt aktiv effekt og beregnet reaktiv effekt, hvor kalkuleringen av reaktiv effekt kan være feil i enkelte tidspunkt. En tredje artikkel ser på hvordan ulike antagelser påvirker modellering av lavspennings distribusjonsnett, [61]. Å anta konstant "power factor" eller målinger av aktiv effekt med 15-minutters oppløsning eller lavere, kan gi store feil i simuleringene. En siste artikkel presenterer Big Data-metoder for å estimere parametere i distribusjonsnettet, (f.eks. impedans i kabler og transformatorer) ved bruk av AMS-data. Metodene har blitt validert i et simuleringsverktøy, [62].

Planlegging av nettet har det også blitt gjort forskning på. En metode har blitt utviklet der data fra smarte strømmålere i høyspent distribusjonsnett brukes til optimal planlegging av distribuerte energilagringssystemer for størst mulig økonomisk besparelse grunnet redusert makslast i nettet og utsatte investeringer, [63]. En algoritme basert på dyp læring har blitt utviklet, for å kunne skille hendelser forårsaket av solceller fra andre hendelser i nettet, for å muliggjøre bedre kontroll av solcellesystemene, [64].

I litteraturen har det blitt presentert flere metoder for å detektere og håndtere feil og avbrudd. En metode for å detektere avbrudd i distribusjonsnettet basert på maskinlæring, har blitt utviklet i [65]. Den tar som input status til kundenes smarte strømmålere og topologien i nettet for så å identifisere statusen til ulike linjer i distribusjonsnettet. For å lokalisere feil i distribusjonsnett med distribuert produksjon, har det blitt utviklet en maskinlæringsmetode med følgende tre steg [66]: 1) klassifisering av fase med feil, 2) finne impedansnivå (høyt eller lavt) og 3) identifisere linjesegment med feil. Input er målt spenning og strøm, hvor noen målepunkter har trådløse sensorer og andre har smarte strømmålere. Det har blitt simulert på et IEEE testnett for å lokalisere jordfeil. En impedans-basert metode som kan benyttes når kun spenningsmålinger fra smarte strømmålere er tilgjengelig for å lokalisere feil i distribusjonsnettet, har blitt utviklet og testet i et ekte strømmett i [67]. Et rammeverk som er utviklet for å oppdage anomalier i sanntid, og som baserer seg på data fra smarte strømmålere hos kunder og topologien til nettet, er presentert i [68].

For å undersøke hvordan husholdninger med ulik karakteristikk påvirker strømforbruksmønsteret, har en metode blitt utviklet som først grupperer hver kundes strømforbruk i typiske mønster og støy slik at støy kan fjernes, [69]. Gjennomsnittet av de typiske mønstrene beregnes for hver kunde og dette er profilene som benyttes videre i algoritmen. Deretter grupperes alle kundenes profiler inn i ulike grupper basert på hvor like de er. Til slutt gjøres en analyse for å finne såkalte regler som knytter husholdningskarakteristikker til de ulike gruppene av kunder. Algoritmen bruker forbruksdata fra smarte strømmålere med 30-minutters oppløsning. I [70] undersøkes det hvordan klima påvirker strømforbruket til husholdninger. De bruker forbruksdata fra smarte strømmålere og temperaturdata og ser på hvordan ulike aggregeringer av data og ulike tidsoppløsninger påvirker beregnet temperatursensitivitet. De ser også på hvordan ulike temperaturindikatorer (gjennomsnitt, maks, min, osv) påvirker resultatet. De får som resultat en temperatursensitivitet som er høyere enn de som er funnet i litteraturen tidligere. I [71] har det blitt utviklet en metode for å modellere "baseline" strømforbruk til en kommersiell bygning basert på "gradient boosting" og høyoppløst forbruksdata fra smarte målere. Metoden har blitt testet på data fra 410 bygg.

To artikler omhandlet prediksjon av strømforbruk. Den første har utført Big Data-analyse av forbruksdata fra smarte strømmålere i 100 ulike kommersielle bygninger med 5-minutters oppløsning for å utføre prediksjon av fremtidig forbruk gitt historiske verdier, [72]. Ulike modeller for prediksjon ble testet og sammenlignet

for å gi et bedre resultat. Den andre artikkelen fokuserte på å predikere strømforbruket til bygg uten å behøve mye informasjon om bygningene eller mye historisk data å trene modellene på, og derfor ble en modell som bruker regresjon (Gaussian Process Regression) presentert, [73].

I litteraturen er det flere forsøk på å kategorisere kunder inn i ulike grupperinger basert på deres forbruk. I en artikkel presenteres en metode som gir et mindre antall grupper enn tidligere, [74]. Metoden bruker Dynamic Time Warping (DTW) som tar inn gjemte mønstre i typisk strømforbruk, og testes på 24-timers lastkurver fra et amerikansk nettselskap. En metode som kan gruppere daglige lastkurver fra smarte strømmålere selv når data mangler eller datakvaliteten er dårlig, eller data fra ulike målere har ulik oppløsning, har blitt presentert og testet på data fra smarte strømmålere i [75].

Det har også blitt sett på å lage ladeprofiler for elbiler fra AMS-data, [76]. En slik ladeprofil vil inneholde start-tiden, batterinivå ved start og total ladetid. Metoden bruker totalt strømforbruk fra smarte strømmålere (Pecan Street datasett) hos kunder, og bruker maskinlæring til å detektere elbiler. Deteksjon av strømforbruket til klimaanlegg ut fra totalmålinger fra smarte strømmålere hos kunder, har også blitt demonstrert ved bruk av maskinlæring, [77]. Til slutt har ulike metoder for å detektere elbillading hos husholdninger blitt utviklet og testet ved å bruke forbruksdata med timesoppløsning fra smarte strømmålere hos et amerikansk nettselskap, [78].

I kommunikasjonen til AMI er det ofte smarte målere og aggregeringspunkter, hvor det i sistnevnte aggregeres data fra de smarte målerne for deretter å sende dataene videre. En artikkel presenterer en metode for å finne optimal plassering av disse punktene for å minimere gjennomsnittlig og maksimal avstand mellom målerne og aggregeringspunktene, [79]. Metoden simuleres i topologien til et eksisterende amerikansk nett. Optimal plassering av dataaggregeringspunkter i kommunikasjonsnettverket er også temaet for [80], hvor også optimal gruppering av kunder under disse punktene beregnes ved ulike metoder, og ytelsen til de ulike metodene har blitt simulert.

Ofte aggregeres data fra smarte strømmålere for å unngå kapasitetsproblemer i kommunikasjonssystemet. En strategi for å aggregere effektmålinger fra smarte strømmålere i et ubalansert trefase-nett og likevel kunne benytte dem til spenningsestimering i nettet, har blitt presentert og testet på et IEEE-testnett i [81]. I [82] blir det også presentert en metode for å sørge for at nettselskapene får data i rimelig tid, men med lavere oppløsning, og løsningen har blitt testet i en simulator. I [83] har det blitt presentert en plan for å redusere datamengden til nettselskapene og dermed unngå kapasitetsproblemer i kommunikasjonsnettet ved interpolering av data fra smarte strømmålere. Å overvåke innmating til nettet ved å bruke data fra alle noder, kan også gi kapasitetsproblemer i kommunikasjon og lagringsmuligheter, og det har derfor blitt sett på å redusere innmating av data til et utvalg av noder i [84].

For at nettselskapene skal få informasjon om strømforbruket til kunden i sanntid til en lavest mulig pris, har det blitt utviklet en modell som tar i bruk ledige bånd av TV-kommunikasjonen (TV White Space) for å sende forbruksdata, [85]. En protokoll for å finne passende ruter for data som sendes fra målerne til datainnsamlingssystemet i et radio mesh-system har blitt forbedret i [86]. En mye brukt protokoll for trådløst mesh-nettverk har blitt funnet å egne seg dårlig til veldig store nettverk av målere, og det har derfor i [87] blitt foreslått endringer for å forbedre dette.

Innenfor nettnytte er også sikkerhet og personvern i datainnsamlingen fra smarte målere et viktig tema. En artikkel presenterer en algoritme som samler inn data fra distribuerte målere der dataene beholdes på målerne, og kun aggregerte data sendes til sentraliserte operatører, [88]. Det er to konfigurasjoner av løsningen, hvor den ene er begrenset til å takle tilfeller hvor hele systemet krasjer, mens den andre kan takle at en enkelt node er angrepet. En annen artikkel foreslår en metode for datainnsamling for avanserte AMI-systemer der en gruppe strømmålere består av medlemmer og overordnede, [89]. Medlemsmålerne sender krypterte data til de overordnede målerne, som aggregerer dataene og sender dem til en aggregator som

videre aggregerer dataene til hele gruppen før de sendes til nettselskapet. Dataene som sendes til de overordnede målerne har en viss levetid, og så lenge måleverdien til medlemsmålerne ikke endrer seg og levetiden til den forrige oversendelsen ikke har gått ut, trenger de ikke sende data. Om måleverdien endrer seg eller levetiden går ut, trenger medlemsmåleren bare sende en oppdatering til de overordnede målerne. Denne metoden påstås å være sikrere mot angrep og reduserer nødvendig båndbredde i kommunikasjonen.

Ettersom strømmålere i et mesh-nettverk sender datapakker blindt videre, kan de utsettes for såkalte "flooding"-angrep, hvor en inntrenger oversvømmer systemet med trafikk og forespørsler. I en artikkel foreslås det derfor en forbedret protokoll som beskytter mot slike angrep, [90]. Det har også blitt gjort en studie på cyber-fysiske angrep og forsvarsmekanismer i AMI i [91]. To angrepslokasjoner har blitt undersøkt; kommunikasjonssystemet og selve målerne. Forsvarsmekanismer som nevnes spesielt for målerne er maskinlæring eller spillteori for å oppdage angrep, og for kommunikasjonsnett er det spillteori for å beskytte mot angrep på kommunikasjonsnoder for å få tak i eller endre AMS-dataene eller "Denial of Service"-angrep (som blokkerer kommunikasjonen mellom datainnsamlingen og målerne).

En ende-til-ende meldingsbeskyttelse hvor krypteringsnøkler for meldinger utledes fra en langtidsnøkkel, presenteres for kommunikasjon i cyber-fysiske systemer i [92]. En annen artikkel presenterer en ny autentiseringsplan for kommunikasjon mellom nettselskap og smart måler-nettverket, [93]. To maskinlæringsmodeller brukes til å vise at den ikke kan modelleres av uvedkommende. I [94] foreslås en protokoll for bruk i mesh-nettverk hvor dataene enten krypteres eller så beregnes andelen forbruk til ulike formål på et tilfeldig generert polynom. Krypterte data og/eller beregnede andeler aggregeres før de sendes videre.

En artikkel ble funnet om bruk av blockchain i energisystemet ved å bruke blockchain-plattformen Ethereum til å inngå en smart kontrakt for et system for distribuert energihåndtering, [95]. De har simulert et mikronett med ti bygninger med solceller i det nordøstlige USA, og har demonstrert at systemet forstyrres om en eller flere av målerne har blitt infiltrert av inntrengere og sender falske forespørsler til mikronettet. De simulerer deretter et system med forbedret autentiseringssystem og identitetshåndtering, og finner at de kan unngå angrep uten at det går utover ytelsen til mikronettet.

Ved Washington State University finnes det et cyber-fysisk teststed for et DMS (Distribution Management System) integrert med RTU-er (Remote Terminal Unit), smarte strømmålere og solcellepaneler, og nett-topologien til et eksisterende distribusjonsnett i Washington er modellert i DMS-en, [96].

En case-studie på nettselskapet Eastern Maine Electric Cooperative tar for seg hva selskapet har lært etter utrulling av smarte strømmålere, [97]. De bruker nå AMS-data sammen med andre sensordata til å lokalisere avbrudd, fasetilknytning på trafo, og å detektere uregistrert strømforbruk (dvs. strømtveri).

Nettnytte er den største kategorien i resultatene fra litteratursøket, og fokusområdene innenfor denne kategorien kan i hovedsak grupperes inn i åtte temaer:

1. Lastflytanalyse og estimering av tilstand i nettet
2. Planlegging av nettet
3. Deteksjon og håndtering av feil og avbrudd
4. Typiske lastprofiler og prediksjon av strømforbruk
5. Gruppering av kunder basert på strømforbruk
6. Deteksjon av ulike laster gitt totalt strømforbruk
7. Forbedring av kommunikasjonssystemet i AMS-infrastrukturen
8. Cyber-sikkerhet og personvern

Bruk av AMS-data a) Forbrukerfleksibilitet og b) Nettnytte

En artikkel ser på strømforbruket med 15-minutters oppløsning fra smarte strømmålere i seks ulike næringsbygg (én måler per bygning) sammen med utetemperatur og solinnstråling, [98]. Det brukes statistisk dekomponering for å finne trender og periodiske mønstre i strømforbruket, for deretter å kunne gi anbefalinger til strømsparende tiltak.

Det har også blitt utviklet protokoller for strømforbruk og kontroll av forsyning som ivaretar personvern når nettselskapene samler inn forbruksdata fra kunder, [99]. Kontroll av forsyning defineres her som når totalt strømforbruk overstiger en satt grense slik at noen kunder må redusere sitt strømforbruk eller nettselskapet må forsyne mer strøm.

En artikkel ser på hvordan personvernet forbedres ved å ta i bruk fornybar energi og batterilagring for å delvis "gjemme" kundens faktiske strømforbruk, [100].

I litteraturen som omhandler både forbrukernytte og nettnytte finnes det altså forskning på hvordan forbruk påvirkes av klima, og anbefalinger til strømsparende tiltak, i tillegg til kontroll av reduksjon av makslast enten fra kundens side eller nettselskapets side. Det er også en artikkel som diskuterer hvordan energiproduksjon og -lagring hos kunden selv kan sikre personvern.

4.4 Oppsummering av kartlegging av relevante forskningsprosjekt

I dette kapitlet gis en kort oppsummering av resultatene fra kartleggingen av relevante forskningsprosjekt i Norge, EU og USA.

Kartleggingen av forskningsprosjekt i Norge omhandler både prosjekter som finansieres av Enova, prosjekter som er godkjent av NVE¹⁷, men ikke støttet av Forskningsrådet og prosjekter med finansiering fra Forskningsrådet (søk i prosjektbanken). Enova støtter sju pilotprosjekter hvor smarte løsninger som kan motivere forbrukerne til å spare strøm, skal testes ut blant ca. 25.000 norske husholdningskunder. Hovedvekt er på formidlingsløsninger og ulike styringsløsninger hos kunder, for å kunne utnytte AMS-målerne til mer enn kun måling av strømforbruk. I tillegg er det flere nettselskap som gjennomfører egne prosjekter hvor de ser på nettnytte knyttet til bruk av AMS-data og andre sensordata fra strømmettet, noe som vil gi økt digitalisering av drift og økt nettnytte av AMS-målerne, f.eks. knyttet til jordfeildeteksjon, avbruddshåndtering, fleksibilitet, lastflyt.

Blant forskningsprosjektene som støttes av Forskningsrådet, er det presentert prosjekter knyttet til utvikling av ny teknologi som kan tilkobles HAN-porten, økt kompetanse om kunden og kundeatferd (både relatert til smarte nett og kraftmarkedet), økt utnyttelse av AMS-data for nettselskap (bl.a. relatert til maskinlæring og sikkerhet), og økt kompetanse om fleksibelt forbruk og fleksibelt distribusjonsnett.

Blant EU-prosjektene som inngår i kartleggingen, fokuseres det mye på kundeatferd og IKT-løsninger for realisering av fleksibilitet, nettnytte i form av økt sikkerhet, økt nytte og smarte løsninger for mer effektiv drift av distribusjonsnettet, og løsninger for å øke integrasjon av fleksible ressurser i distribusjonsnettet. Kort sagt er det som vektlegges i EU, ganske likt som for prosjektene i Norge.

¹⁷ <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten-for-energi-rme-marked-og-monopol/okonomisk-regulering-av-nettselskap/finansieringsordning-for-fou/>

For USA handler de resultatene som er funnet hos forskningsinstitutter (mesteparten fra før 2015) stort sett om utforming av AMS-målere og tilhørende infrastruktur, og hvordan AMS-data kan brukes til nettnytte, for eksempel i automatisering av distribusjon og ved bruk av Big Data.

For USA ga litteratursøket for 2018 også størst andel resultater innenfor nettnytte, da for det meste innen drift og planlegging av nettet, forbedret kommunikasjon i AMS-infrastrukturen (for eksempel billigere og mer effektive løsninger) og personvern og cyber-sikkerhet. Innenfor forbrukerfleksibilitet fokuseres det på hvordan kunders strømforbruk påvirkes av ulike faktorer og hvordan det kan optimaliseres og utløse fleksibilitetspotensiale ved bruk av AMS-data. Innenfor produktutvikling tilknyttet AMS-måler er alternative kommunikasjonsteknologier i sentrum.

5 Forventet utvikling for 2-5 år frem i tid

I investeringsplanene for AMS er det forventet en levetid på 15-20 år på teknologien. I et tidsperspektiv på 2-5 år frem i tid, som var utgangspunktet for dette prosjektet, vil selve AMS-måleren allerede være installert. Det forventes derfor at utvikling fremover/trender hovedsakelig vil være knyttet til muligheter/begrensninger knyttet til oppdatering av de interne systemene i selve måleren og tilgrensede systemer som bl.a. programvaresystemer hos nettselskap, driftssystemer og kommunikasjonssystemer.

Den teoretiske utredningen om dagens AMS-løsning, relevante patentsøknader og forskningsprosjekter (kap. 2 - 4) gir et bilde av hvordan dagens AMS er bygd opp og hvilke områder teknologiutviklingen fokuserer på (Figur 3.3). I tillegg har det blitt kartlagt hva som er i fokus i forskningsprosjekter i Norge, EU og USA.

I prosjektet har det også blitt gjennomført en kartlegging av hvordan bransjen (nettselskap og leverandører) ser for seg at utviklingen vil bli 2-5 år frem i tid. Denne kartleggingen ble gjennomført gjennom to workshoper med representanter for relevante aktører, for å kvalitetssikre beskrivelsen av dagens AMS-løsninger og -arkitektur, og for å få innspill til hva som er forventet utvikling av AMS-infrastruktur for 2-5 år frem i tid. Det inkluderer også innspill til hvilke trender ulike aktører ser, knyttet til hvordan ulike løsninger for AMS-infrastruktur er bygd opp og driftes, og hva som er drivkrefter for at dette skjer.

Denne rapporten er utarbeidet av SINTEF Energi, og det vil derfor være SINTEF sin tolkning av innspill gitt på de gjennomførte workshopene, som gjengis i denne rapporten. Innspill fra selskapene gjengis ikke direkte.

Workshopene ble gjennomført hos SINTEF Energi (31.okt. og 1.nov. 2018). Det ble invitert bredt i bransjen og samtidig oppfordret til å tipse SINTEF Energi om aktuelle møtedeltagere. Workshopene hadde hhv. 11 og 10 deltagere. To selskaper ble kontaktet i etterkant av workshopen. Deltagende selskaper finnes i vedlegg A.

I begge workshopene ble det fremhevet at etter fristen for installasjon av AMS-målere 1.1.2019 vil nettselskapene ha fokus på å bli kjent med og bli "trygg på" målerne og IKT-infrastrukturen som de har investert i. Det er da AMS-prosjektet går over i driftsfasen. Ser man på figur 2.1 er det forventet at det skjer mest endring innad hos nettselskapene, og ikke i kommunikasjon eller hos kunde (AMS-måler).

Første prioritet er selvsagt å oppfylle ulike myndighetskrav til avregning/fakturering og nettstasjons-overvåkning¹⁸ (jordfeil, nullpunktssikring og avbrudd) og Elhub. Elhub er spesifisert i Forskrift om måling og avregning [3]. Elhub eies av Statnett og er et sentralt IT-system som skal understøtte og effektivisere markedsprosesser som strømsalg, innflytting/utflytting, opphør og lignende i det norske kraftmarkedet samt understøtte distribusjon og aggregering av måleverdier for all forbruk og produksjon i Norge [101]. Elhub skal etter planen idriftsettes i februar 2019. Nettselskapene skal overføre kvalitetssikrede måleverdier til Elhub hver dag og datautvekslingen med Elhub er testet (Slutten av 2018). Nettselskapene har ansvar for å rapportere måleverdier for alle timeavregnede målepunkt for foregående døgn, bruksdøgnet D, mellom kl. 00:00 og kl. 07:00 D+1. Elhub regner ut nettap per nettavregningsområde. For at Elhub skal kunne gjøre dette må nettselskapet definere beregningsmetode, tapskonstant og tomgangstap for hvert enkelt nettavregningsområde [102].

¹⁸ DSB (Elsikkerhet nr.70) krever kontinuerlig overvåkning og registrering av jordfeil. Forskrifter for Elektriske Forsyningsanlegg (FEF: 2006), §5-2 Isolasjon krever at "Ved jordfeil i anlegget eller tilknyttede installasjoner må jordfeilen utbedres eller utkoples snarest mulig og senest innen 4 uker". I REN-blad 6025 er dette spesifisert som et krav til overvåking av nullpunktssvern og spenningsskjevheter (jordfeil i et 230 V IT nett når spenningen fase jord er mindre en 90 V eller større en 170 V (130 V +/- 40V).

Når dette er gjennomført vil noen nettselskap ha begrensede ressurser til å utvikle egne funksjonaliteter, mens mange andre har ambisjoner om å få ut mest mulig nyttig informasjon fra AMS-målerne til drift, planlegging og vedlikehold. Her går utviklingen i mange retninger og mange velger en kombinasjon av å utvikle funksjoner selv, samarbeid med andre nettselskap og konsulenter og å delta i forskningsprosjekter.

Eksempler på funksjoner som ble nevnt i møtene er (ikke i prioritert rekkefølge):

- *Kvalitetssikring av informasjon:* Avvik i eksempelvis målt og beregnet spenning i nettinformasjons-systemet (NIS) kan avdekke feil i NIS, for eksempel kunder knyttet til feil nettstasjon.
- *Kvalitetssikring av målerinstallasjon:* Målinger av spenning, strøm og jordfeil sjekkes før installasjon av måler godkjennes, for å kvalitetssikre installasjonen av selve måleren.
- *Utvikling/forbedring av kundeforhold:* Gi informasjon ved avbrudd, behandle kundehenvendelser om eksempelvis spenningskvalitet raskere og gi mer informasjon på "Min side" (eksempelvis om spenningskvalitet, ut- og innkobling av egen måler og åpning/lukking av HAN-port).
- *Spenningsforhold:* Spenningsdata fra AMS-målinger gjør det mulig å følge med på maks og min spenning i nettet. Høy/lav spennening kan håndteres ved eksempelvis trinning av transformatorer.
- *Nettstasjonsovervåkning:* En viktig del av nytten fra AMS ligger i at AMS-infrastrukturen utnyttes til nettstasjonsovervåkning. Kan kombineres med andre målinger, for eksempel multiinstrument.
- *Jordfeil:* Det er pålagt å overvåke jordfeil i nettstasjon, men AMS-målerne gir mulighet til å identifisere jordfeil hos kunder. Det foregår en del demoprojekter på dette i nettselskapene.
- *Balansemålinger:* Målinger i både nettstasjon og hos alle kunder muliggjør bedre oversikt over tap i nettet. Enkelte nettselskap planlegger testing på dette området. Installasjon av balansemaalere i nettstasjoner er et kost-nytte-spørsmål
- *Alarmer:* Det kan komme en rekke alarmer fra AMS-målere om eksempelvis avbrudd, lav spenning og jordfeil, men mange nettselskap mangler et mottaksapparat for dette ennå. Det må blant annet lages systemer for sortering av hvilke alarmer (og informasjon om andre hendelser) som skal på driftssentralen eller andre steder. Det må også lages kartfunksjonalitet for å vise hvor problemene er, som enten integreres i nettselskapenes systemer eller brukes som supplement. En del nettselskap har allerede utsending av beskjed til kunde ved avbrudd (sms-varslings), men i fremtiden kan dette gjøres basert på data fra AMS. Ved identifikasjon av jordfeil i nettet kan det automatisk genereres arbeidsordre. Innen 5 år vil alarmer fra nettstasjon også være på plass.
- *Oppfyllelse av krav til spenningskvalitet (FoL¹⁹):* Det ønskes å kunne måle spenning opp mot FoL-kravene på en rask måte, men det er ikke alle FoL-krav som kan undersøkes med maks/min og gjennomsnittlig spenning per time som samles inn som "standardinnstilling" hos mange nettselskap, men på litt sikt vil det bli aktuelt. AMS-målinger gir mulighet for bedre måling av leveringskvalitet.
- *Forbruksprofiler:* Frem til nå har standardprofiler for årlig energibruk blitt brukt til planlegging av nett. Disse profilene kan nå erstattes med AMS-data fra kundene. Nettselskapene arbeider i første omgang med å kunne bruke AMS-data direkte i NIS for lastflytanalyser, men på sikt kan det bli aktuelt å lage profiler for grupper av kunder eller aggregerte profiler for nettstasjoner. Begrensinger i antall år AMS-data kan lagres vil ha stor betydning for utviklingen på dette området. Timesdata for enkeltkunder bør lagres tilstrekkelig lenge for å få med korrelasjoner til vær og endringer i forbruksmønstre, da dette er viktig for å planlegge eventuelle kapasitetsutvidelser. Det gjelder både målinger som representerer maksimalbelastningen i kalde vintre, men også målinger som viser maksimal

¹⁹ FoL = Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet, FOR-2004-11-30-1557, [103]

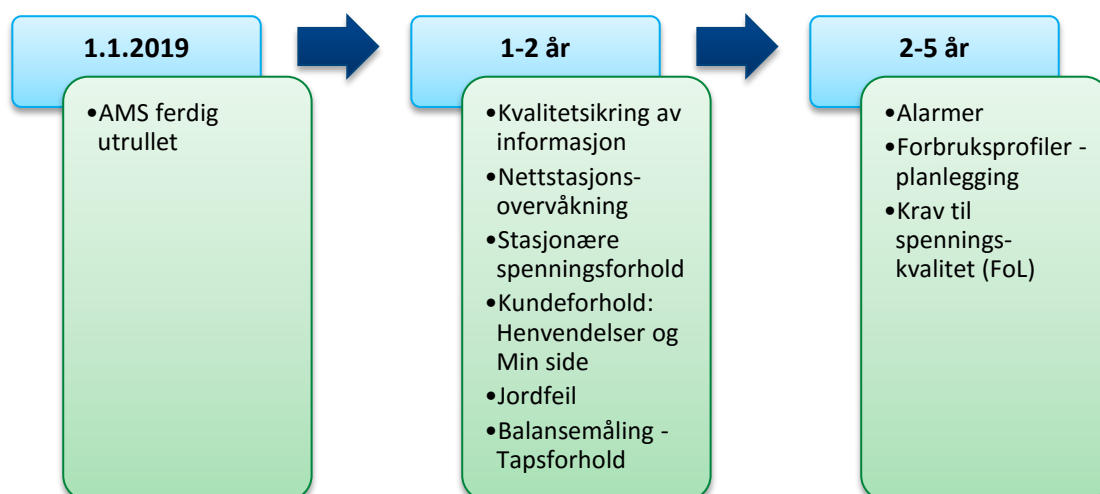
produksjon fra plusskunder på solrike dager. Det er også forventet større endringer i forbruksmønstre på kundesiden enn hva man har sett tidligere, bl.a. på grunn av elektrifisering av transport, elektriske batterier, distribuert produksjon (solcellepanel) og forbrukerfleksibilitet. Innføring av effekttariffer (planlagt i 2021) vil sannsynligvis påvirke strømforbruket til ulike typer kunder. Ved å benytte AMS-målinger i lastflytanalyser kan nå-situasjonen kartlegges med en helt annen nøyaktighet enn tidligere, mens fremtiden kan spås ved å benytte seg av profiler for de nyeste hustypene i prognoser.

Tidsoppløsning på data, lagring av data og personvern er tre elementer som kan sette begrensinger på nettselskapenes nytte fra AMS-målinger. I følge forskrift om måling og avregning [3] er det aktiv og reaktiv effekt i begge retninger som skal registreres, med en registreringsfrekvens på maks. 60-minutter (skal kunne endres til 15-minutter). Nettselskap skal samle inn disse dataene og gjøre dem tilgjengelige for Elhub innen gitte tidsfrister. I selve måleren gjennomføres målingene med en høyere tidsoppløsning.

Analyser av data kan gjøres på verdier som hentes ut med høyere oppløsning gjennom nettselskapets innsamlingsystem (eksempelvis 15 minutter, 5 minutt, 1 minutt), eller verdier kan hentes ut fra S0-puls (aktiv energi) og HAN-grensesnittet. Måling av strøm og spenning på alle faser med 5 minutters tidsoppløsning vil gi en unik mulighet til å få kontinuerlig informasjon om hva som er status i distribusjonsnettet. Denne type data kan tas i bruk både i drift og planlegging av nettet, men også for å yte god service ved evt. kundesøknader/-klager.

Ved kapasitetsproblemer i kommunikasjonen kan økt oppløsning aktiveres kun for et begrenset antall AMS-målere. Det er også mulig å legge analyser inn i AMS-måleren og sende kun resultat fra analyser inn til nettselskapet. GDPR²⁰ setter begrensinger på innhenting og lagring av data om enkeltpersoner. Det blir dermed viktig å ha gode rutiner for innhenting av tillatelser og anonymisering av data, spesielt ved involvering av tredjepart. Men, som nevnt tidligere, nettselskapet kan også måtte håndtere begrensinger i lagring av informasjon om enkeltkunder.

En oppsummering av bruksområder for ulike typer AMS-data sortert ut fra forventet tidsaspekt er presentert i figur 5.1.



Figur 5.1: Forventet bruksområde for AMS-data 2-5 år frem i tid

²⁰ GDPR = General Data Protection Regulation. GDPR er en forordning som skal styrke og harmonisere personvernet ved behandling av personopplysninger i EU.

Data fra HAN-porten eies av kunden, men kan potensielt være en datakilde for nettselskapene, etter avtale med kunden. Men primært ønsker nettselskapene selvsagt å bruke egne data fra AMS-måleren. Det finnes nettselskap som har satt krav om at dataene de får gjennom AMS-infrastrukturen skal være de samme som man kan få fra HAN-porten, dvs. en høyere oppløsning på data som samles inn via AMS-infrastrukturen enn det som er spesifisert i forskrift [3].

Eksempler på at nettselskapene benytter data fra HAN-porten kan være:

- Sende HAN-portavleser til kunde ved klage for å undersøke eksempelvis spenningsforhold i mer detalj før montør sendes ut med Medcal eller tilsvarende måleinstrumenter. Det kan også være aktuelt å stille AMS-målerne inn på finere oppløselige data enn timesmålinger. Hyppigere AMS-data bør benyttes først siden denne infrastrukturen allerede er tilgjengelig og ikke krever at det sendes ut en montør med eget måleapparat.
- Muligheter for å ta inn data fra HAN-porten over GPRS til nettselskapet i tilfeller hvor det er nødvendig med høyoppløselige data. Fra nettselskapene sin side kan det være uheldig at kunden sitter på mer høyoppløselige data enn nettselskapet, bl.a. fordi dette skaper uklarheter i hva som faktisk er korrekte målinger og kan vanskeliggjøre god kundeservice gitt av nettselskapene.
- Ved at tredjepart tilbyr apper og lignende basert på data fra HAN-porten som gjør at kundene reduserer energi/effektforbruket i høylastperioder kan dette bidra til å redusere eller utsette behovet for reinvesteringer.

Et annet element som er viktig for fremtidens AMS er retningen på utvikling i IT-infrastrukturen og arkitektur, se figur 2.1 for AMS-infrastrukturen. IT-infrastrukturen til et nettselskap inneholder mer enn AMS-infrastrukturen og vil legge viktige rammer for bruk av AMS-data.

IT-infrastrukturen er et viktig område for nettselskapene fremover og riktig kompetanse må innhentes for å ta riktige valg, f.eks. å kombinere både domenekunnskap (elkraft) og IT-kunnskap. Det kan også være et valg å drifte IT-løsninger selv eller ha leverandører som står for driften. Det er flere nettselskap som velger å lagre alle data i et datalager (lake), i tillegg til at dataene går i spesialsystemer som KIS, NIS osv. En viktig debatt som pågår er om dette datalageret skal være i skyen og om skyen i så fall skal være internt i selskapet eller eksternt (Lagring internt i selskapet krever at man innehar egen kompetanse på f.eks. sikkerhet og personvern.).

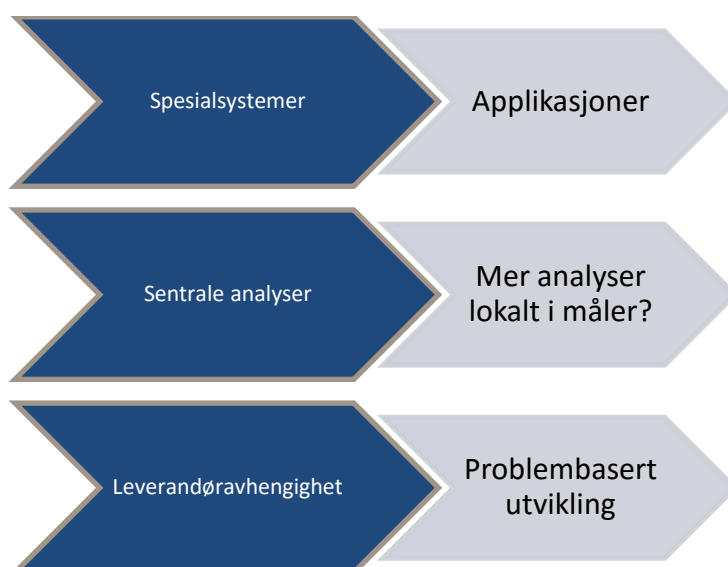
Utviklingen kan også medføre at man må tenke annerledes på IT-sikkerhet. Tradisjonelt har sikkerhet vært realisert ved å lukke systemene inne, mens det i dag er diskusjoner om skyløsninger driftet av selskaper som har sikkerhet som sitt hovedområde. Ingen nettselskap ønsker spesialsystemer som låser data til et gitt format eller har utfordringer med å kommunisere/utveksle data med andre systemer. Her står bransjen overfor et paradigmeskifte fra ferdig leverte spesialsystemer til å leie inn leverandører for å løse spesifikke problemer/funksjoner. Det bør legges til rette for at slike applikasjoner lett kan tas i bruk uten ressurskrevende endringer i spesialsystemer.

Det blir viktig for nettselskap å ha link mellom de ulike systemene, og forutsetninger for god integrering av systemer er god datakvalitet og gode rutiner. På workshopen var det tydelig at fremover vil nettselskapene ta eierskap til egne data og stille krav til eksempelvis lagringsformat fra leverandører. Dette utfordrer eksempelvis NIS-systemene og her vil det skje videreutvikling eller skifte av leverandør for noen nettselskap. KIS kan bli utfordret av Elhub, siden oppdatert kundeinformasjon og forbruk skal lagres i Elhub.

Et annet punkt som ble nevnt i workshopene var muligheten for å benytte AMS-infrastrukturen til innsending av flere typer data, som vannmåling, men det er en utfordring er at ulike målinger har ulike regler.

Eksempelvis har vannmåling i dag ikke et krav²¹ tilsvarende elektrisitet (AMS). Et annet viktig spørsmål er hvilken rolle nettselskapene skal ha i en slik situasjon. Dette er også et tema som er behandlet i patentsøknader, EU-prosjekter og litteratur fra USA, såkalt multi-utility funksjonalitet.

Basert på kartlegging av hvordan bransjen (nettselskap og leverandører) ser for seg at utviklingen vil bli for AMS 2-5 år frem i tid, har det i figur 5.4 blitt gjort en oppsummering av mulige trender innen systemutvikling. Det er sannsynlig at IT-løsninger vil endre seg fra spesialsystemer/fagsystemer til enkeltapplikasjoner for å løse en funksjonalitet, det forventes at flere analyser/beregninger vil gjennomføres lokalt i AMS-måler, og at utviklingen i ny funksjonalitet fokuserer mer på å løse oppgaver etter behov i stedet for å følge den enkeltes leverandør sin utvikling av fagsystemer.



Figur 5.2: Trender i systemutvikling

²¹ Alle eiendommer tilknyttet offentlig vann og avløpsnett etter 1.1.98, skal ha installert vannmåler. Det er huseier som selv sørger for installasjon av måleren.

6 Referanser

- [1] NVE, «Smarte målere (AMS). Status og planer for installasjon per 1. halvår 2016,» NVE-rapport 79/2016, <https://www.nymaler.no/contentassets/66c7c7cc0af442f0beb5ca3c2d5967b0/status-smart-strom-nve-oktober-2016.pdf>.
- [2] M. B. Line, I. A. Tøndel, G. Johansen og H. Sæle, «Informasjonssikkerhet og personvern. Støtte til risikoanalyse av AMS og tilgrensende systemer,» SINTEF A24258 - Åpen, 2014, <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2432279/SINTEF%2bA24258.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, 2014.
- [3] Lovdata, «FOR-1999-03-11-301, Forskrift om måling, avregning, fakturering av netjtjenester og elektrisk energi, nettselskapets nøytralitet mv.,» 14 12 2017. [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1999-03-11-301/>. [Funnet 01 11 2018].
- [4] Patentstyret, «Søknadsprosess patent,» [Internett]. Available: <https://www.patentstyret.no/tjenester/patent/soknadsprosess-patent/>. [Funnet 15 11 2018].
- [5] European Patent Office, «The patenting process,» [Internett]. Available: <https://www.epo.org/learning-events/materials/inventors-handbook/protection/patents.html>. [Funnet 15 11 2018].
- [6] European Patent Office, «FAQ - Procedure & law,» [Internett]. Available: <https://www.epo.org/service-support/faq/procedure-law.html#faq-201>. [Funnet 15 11 2018].
- [7] Patentstyret, «Patentstyret,» [Internett]. Available: <https://www.patentstyret.no/>. [Funnet 01 11 2018].
- [8] Patentstyret, «Søk Patentstyret,» [Internett]. Available: <https://search.patentstyret.no/>. [Funnet 04 10 2018].
- [9] European Patent Office, «Espacenet - Home page,» [Internett]. Available: <https://worldwide.espacenet.com>. [Funnet 04 10 2018].
- [10] Administration, U.S: Energy Information, «How many smart meters are installed in the United States, and who has them?,» [Internett]. Available: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=108&t=3>. [Funnet 01 11 2018].
- [11] Enova, «Smarte strømmålere (AMS),» [Internett]. Available: <https://www.enova.no/privat/smartestrommalere-ams/>. [Funnet 01 11 2018].
- [12] Eidsiva Energi, «Enova-pilot,» [Internett]. Available: <https://www.eidsivaenergi.no/lev-energismart/eidsiva-flyt/enova-pilot/>. [Funnet 01 11 2018].
- [13] Fjordkraft, «Fjordkraft-app viser strømforbruket live,» [Internett]. Available: <https://www.fjordkraft.no/privat/pressemeldinger/fjordkraft-appviser-stromforbruketlive/>. [Funnet 01 11 2018].
- [14] NVE, «Godkjente prosjekter,» [Internett]. Available: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten-for-energi-rme-marked-og-monopol/okonomisk-regulering-av-nettselskap/finansieringsordning-for-fou/godkjente-prosjekter/>. [Funnet 01 11 2018].
- [15] EnergiNorge, «Smartgridkonferansen 2017,» [Internett]. Available: <https://www.energinorge.no/kurs-og-konferanser/2017/konferanser/smartgridkonferansen-2017/>. [Funnet 01 11 2018].
- [16] Sensero, «Sensero works with TrønderEnergi through R&D project,» [Internett]. Available: <https://www.sensero.no/news/2018/9/12/sensero-works-with-lead-customer-through-rd-project>. [Funnet 01 11 2018].
- [17] Forskningsrådet, «Hark Technologies EcoControl - Automatisk lastfordeling og strømsparing,» [Internett]. Available: <https://www.forskningsradet.no/prosjektbanken/#/project/NFR/272864/Sprak=null>. [Funnet 01 11 2018].
- [18] Evry, «Årets digitale talent 2017,» [Internett]. Available: <https://www.evry.com/no/karriere/arets-digitale->

talent-2017/. [Funnet 01 11 2018].

- [19] Forskningsrådet, «Utvikling av metoder og system for automatisk effektkontroll i bolig,» [Internett]. Available: <https://www.forskningsradet.no/prosjektbanken/#/project/NFR/269650/Sprak=null>. [Funnet 01 11 2018].
- [20] Forskningsrådet, «PARTicipatory platform for sustainable ENergy and Transport Systems,» [Internett]. Available: <https://www.forskningsradet.no/prosjektbanken/#/project/NFR/259799/Sprak=null>. [Funnet 01 11 2018].
- [21] Forskningsrådet, «ERA-NET Smartgrid - "Markets - Actors - Technologies: A comparative study of smart grid solutions",» [Internett]. Available: <https://www.forskningsradet.no/prosjektbanken/#/project/NFR/259822/Sprak=null>. [Funnet 01 11 2018].
- [22] Forskningsrådet, «ERA-NET Integreting households in the smart grid,» [Internett]. Available: <https://www.forskningsradet.no/prosjektbanken/#/project/NFR/220500/Sprak=null>. [Funnet 01 11 2018].
- [23] Forskningsrådet, «Miljøgevinst ved Avanserte Måle- og Styringssystemer (AMS),» [Internett]. Available: <https://www.forskningsradet.no/prosjektbanken/#/project/NFR/192966/Sprak=null>. [Funnet 01 11 2018].
- [24] Forskningsrådet, «Smart tariffing av kraft og nettleie i fremtidens aktive distribusjonsnett,» [Internett]. Available: <https://www.forskningsradet.no/prosjektbanken/#/project/NFR/235341/Sprak=null>. [Funnet 01 11 2018].
- [25] Forskningsrådet, «Spenningskvalitet i smarte nett,» [Internett]. Available: <https://www.forskningsradet.no/prosjektbanken/#/project/NFR/226234/Sprak=null>. [Funnet 01 11 2018].
- [26] Forskningsrådet, «ENERGYTICS: Demonstrasjon av Big Data Analytics i distribusjonssystemet,» [Internett]. Available: <https://www.forskningsradet.no/prosjektbanken/#/project/NFR/269377/Sprak=null>. [Funnet 01 11 2018].
- [27] Forskningsrådet, «Continued Annual Workshop on Cyber Safety, Security and Resilience of Critical Energy Infrastructures (CSSR-CEI),» [Internett]. Available: <https://www.forskningsradet.no/prosjektbanken/#/project/NFR/275578/Sprak=null>. [Funnet 01 11 2018].
- [28] Forskningsrådet, «Demonstrasjon og Verifikasjon av Intelligente Distribusjonsnett,» [Internett]. Available: <https://www.forskningsradet.no/prosjektbanken/#/project/NFR/217528/Sprak=null>. [Funnet 01 11 2018].
- [29] Forskningsrådet, «Electricity Usage in Smart Village Skarpnes,» [Internett]. Available: <https://www.forskningsradet.no/prosjektbanken/#/project/NFR/226139/Sprak=null>. [Funnet 01 11 2018].
- [30] CORDIS, EU, «Smart Consumer - Smart Customer – Smart Citizen,» [Internett]. Available: https://cordis.europa.eu/project/rcn/105831_en.html. [Funnet 01 11 2018].
- [31] CORDIS, EU, «Active Demand Value AND Consumers Experiences Discovery,» [Internett]. Available: https://cordis.europa.eu/project/rcn/106263_en.html. [Funnet 01 11 2018].
- [32] CORDIS, EU, «OPEN METER — Result In Brief,» [Internett]. Available: https://cordis.europa.eu/result/rcn/90264_en.html. [Funnet 01 11 2018].
- [33] CORDIS, EU, «C-DAX: Cyber-secure Data and Control Cloud for Power Grids,» [Internett]. Available: https://cordis.europa.eu/project/rcn/106390_en.html. [Funnet 01 11 2018].
- [34] CORDIS, EU, «Secure Personal Data Services for Efficient Home Energy Management,» [Internett]. Available: https://cordis.europa.eu/project/rcn/109640_en.html. [Funnet 01 11 2018].
- [35] CORDIS, EU, «Supporting the development and deployment of advanced metering infrastructures in Europe,» [Internett]. Available: https://cordis.europa.eu/project/rcn/104056_en.html. [Funnet 01 11 2018].
- [36] CORDIS, EU, «Final Report Summary - METER-ON (Supporting the development and deployment of advanced metering infrastructures in Europe),» [Internett]. Available: https://cordis.europa.eu/result/rcn/157094_en.html. [Funnet 01 11 2018].
- [37] Forskningsrådet, «Real proven solutions to enable active demand and distributed generation flexible

- integration, through a fully controllable LOW Voltage and medium voltage distribution grid,» [Internett]. Available: <https://www.forskningsradet.no/prosjektbanken/#/project/EU/646531> . [Funnet 01 11 2018].
- [38] Administration, U.S. Energy information, «Nearly half of all U.S. electricity customers have smart meters,» 06 12 2017. [Internett]. Available: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=34012#>. [Funnet 01 11 2018].
- [39] EPRI, «Opportunities and Hesitations Associated with Open Advanced Metering Infrastructure,» 21 12 2015. [Internett]. Available: <https://www.epri.com/#/pages/product/3002006917/?lang=en-US> . [Funnet 01 11 2018].
- [40] EPRI, «Advanced Metering Infrastructure Common Alarms and Events,» 20 12 2012. [Internett]. Available: <https://www.epri.com/#/pages/product/000000000001026552/?lang=en-US> . [Funnet 01 11 2018].
- [41] EPRI, «Advanced Metering Infrastructure Requirements for Future-Proof Deployments,» 19 10 2015. [Internett]. Available: <https://www.epri.com/#/pages/product/000000003002006738/?lang=en-US> . [Funnet 01 11 2018].
- [42] Administration, U.S. Energy Information, «An Assessment of Interval Data and Their Potential Application to Residential Electricity End-Use Modeling,» <https://www.eia.gov/consumption/residential/reports/smartmetering/pdf/assessment.pdf>, February 2015.
- [43] EPRI, «Benefits of Utilizing Advanced Metering Provided Information Support and Control Capabilities in Distribution Automation Applications,» 22 12 2009. [Internett]. Available: <https://www.epri.com/#/pages/product/000000000001018984/?lang=en-US> . [Funnet 01 11 2018].
- [44] EPRI, «Guidelines for Distribution Operations Applications Using Advanced Metering Infrastructure Investments,» 14 12 2009. [Internett]. Available: <https://www.epri.com/#/pages/product/000000000001017835/?lang=en-US> . [Funnet 01 11 2018].
- [45] EPRI, «Innovative Applications of Customer Data Analytics: A Case Study,» 22 12 2015. [Internett]. Available: <https://www.epri.com/#/pages/product/000000003002005720/?lang=en-US> . [Funnet 01 11 2018].
- [46] EPRI, «Assessment of Power Quality Data in Smart Meters,» 15 11 2011. [Internett]. Available: <https://www.epri.com/#/pages/product/000000000001021692/?lang=en-US> . [Funnet 01 11 2018].
- [47] EPRI, «Program on Technology Innovation: Data Analytics and Customer Insights,» 22 12 2014. [Internett]. Available: <https://www.epri.com/#/pages/product/000000003002003545/?lang=en-US> . [Funnet 01 11 2018].
- [48] W. Fatnassi og Z. Rezki, «Reliability Enhancement of Smart Metering System Using Millimeter Wave Technology,» *IEEE Transactions on Communications*, DOI: 10.1109/TCOMM.2018.2835453 , vol. 66, pp. 4877-4892, 2018.
- [49] Y. Mekonnen, M. Haque, I. Parvez, A. Moghadasi og A. Sarwat, «LTE and Wi-Fi Coexistence in Unlicensed Spectrum with Application to Smart Grid: A Review,» i *2018 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D)*, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8440431> , Denver, CO, USA, 2018.
- [50] A. Hassebo, M. Obaidat og M. A. Ali, «Commercial 4G LTE cellular networks for supporting emerging IoT applications,» i *2018 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, Abu Dhabi, 2018.
- [51] S. Xu, Y. Qian og R. Q. Hu, «A Study on Communication Network Reliability for Advanced Metering Infrastructure in Smart Grid,» i *2017 IEEE 15th Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, 15th Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, 3rd Intl Conf on Big Data Intelligence and Computing and Cyber Science and Technology Congress(DASC/PiCom/DataCom/CyberSciTech)*, Orlando, 2017.

- [52] A. Goudbeek, K. R. Choo og N. Le-Khac, «A Forensic Investigation Framework for Smart Home Environment,» i *2018 17th IEEE International Conference On Trust, Security And Privacy In Computing And Communications/ 12th IEEE International Conference On Big Data Science And Engineering (TrustCom/BigDataSE)*, New York, 2018.
- [53] K. Kaur, S. Garg, G. S. Aulja, N. Kumar, J. J. P. C. Rodrigues og M. Guizani, «Edge Computing in the Industrial Internet of Things Environment: Software-Defined-Networks-Based Edge-Cloud Interplay,» *IEEE Communications Magazine*, vol. 56, nr. 2, pp. 44-51, 2018.
- [54] S. Iyengar, S. Kalra, A. Ghosh, D. Irwin, P. Shenoy og B. Marlin, «Inferring Smart Schedules for Dumb Thermostats,» *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*, vol. 3, nr. 2, October 2018.
- [55] M. Martinez-Pabon, T. Eveleigh og B. Tanju, «Optimizing residential energy management using an autonomous scheduler system,» *Expert Systems with Applications*, vol. 96, pp. 373-387, April 2018.
- [56] Y. Ji og R. Rajagopal, «Demand and flexibility of residential appliances: An empirical analysis,» i *2017 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)*, Montreal, 2017.
- [57] A. Albert og R. Rajagopal, «Finding the Right Consumers for Thermal Demand-Response: An Experimental Evaluation,» *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, nr. 2, pp. 564-572, March 2018.
- [58] N. Pathak, D. Lachut, N. Roy, N. Banerjee og R. Robucce, «Non-Intrusive Air Leakage Detection in Residential Homes,» i *Proceedings of the 19th International Conference on Distributed Computing and Networking (ICDCN '18)*, New York, 2018.
- [59] H. Shajaiah, A. Abdelhadi og C. Clancy, «Secure power scheduling auction for smart grids using homomorphic encryption,» i *2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, Boston, 2017.
- [60] S. Bhela, V. Kekatos og S. Veeramachaneni, «Enhancing Observability in Distribution Grids Using Smart Meter Data,» *IEEE Transactions on Smart Grid*, <https://ieeexplore.ieee.org/document/7914787/authors#authors>, vol. 9, nr. 6, pp. 5953-5961, 2018.
- [61] J. Peppanen, C. Rocha, J. A. Taylor og R. C. Dugan, «Secondary Low-Voltage Circuit Models—How Good is Good Enough?,» *IEEE Transactions on Industry Applications*, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8070370>, vol. 54, pp. 150-159, 2018.
- [62] K. Ashok, D. Divan og F. Lambert, «Grid edge analytics platform with AMI data,» i *2018 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8403364>, Washington, DC, USA, 2018.
- [63] M. G. Damavandi, J. R. Martí og V. Krishnamurthy, «A Methodology for Optimal Distributed Storage Planning in Smart Distribution Grids,» *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 9, nr. 2, pp. 729-740, April 2018.
- [64] Y. Tao, M. Zhang og M. Parsons, «Deep learning in photovoltaic penetration classification,» i *2017 IEEE Power & Energy Society General Meeting*, Chicago, 2017.
- [65] Z. S. Hosseini, M. Mahoor og A. Khodaei, «AMI-Enabled Distribution Network Line Outage Identification via Multi-Label SVM,» *IEEE Transactions on Smart Grid*, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8392738>, vol. 9, pp. 5470-5472, 2018.
- [66] H. M. M. Maruf, F. Müller og B. Chowdhury, «Locating Faults in Distribution Systems in the Presence of Distributed Generation using Machine Learning Techniques,» i *2018 9th IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)*, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8447728>, Charlotte, NC, USA, 2018.
- [67] M. Majidi og M. Etezadi-Amoli, «A New Fault Location Technique in Smart Distribution Networks Using Synchronized/Nonsynchronized Measurements,» *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 33, nr. 3, pp. 1358-1368, June 2018.
- [68] R. Moghaddass og J. Wang, «Hierarchical Framework for Smart Grid Anomaly Detection Using Large-

- Scale Smart Meter Data,» *IEEE Transactions on Smart Grids*,
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7908945/authors#authors> , vol. 9, nr. 6, pp. 5820-5830, 2018.
- [69] F. Wang, K. Li, N. Duić, Z. Mi, B.-M. Hodge, M. Shafie-khah og J. P. Catalão, «Association rule mining based quantitative analysis approach of household characteristics impacts on residential electricity consumption patterns,» *Energy Conversion and Management*;
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.017>, vol. 171, pp. 839-854, 2018.
- [70] M. Chen, G. A. Ban-Weiss og K. T. Sanders, «The role of household level electricity data in improving estimates of the impacts of climate on building electricity use,» *Energy and Buildings*,
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.012>, vol. 180, pp. 146-158, 2018.
- [71] S. Touzani, J. Granderson og S. Fernandes, «Gradient boosting machine for modeling the energy consumption of commercial buildings,» *Energy and Buildings*, vol. 158, pp. 1533-1543, 2018.
- [72] R. Mohammad, «AMI Smart Meter Big Data Analytics for Time Series of Electricity Consumption,» i *2018 17th IEEE International Conference On Trust, Security And Privacy In Computing And Communications/ 12th IEEE International Conference On Big Data Science And Engineering (TrustCom/BigDa)*<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8456135> , New York, NY, USA, 2018.
- [73] A. K. Prakash, S. Xu, R. Rajagopal og H. Y. Noh, «Robust Building Energy Load Forecasting Using Physically-Based Kernel Models,» *Energies*, vol. 11, nr. 4, 2018.
- [74] T. Teeraratkul, D. O'Neill og S. Lall, «Shape-Based Approach to Household Electric Load Curve Clustering and Prediction,» *IEEE Transactions on Smart Grid* ,
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7880560/authors#authors> , vol. 9, nr. 5, pp. 5196-5206, 2017.
- [75] Z. Jiang, D. Shi, X. Guo, G. Xu, L. Yu og C. Jing, «Robust Smart Meter Data Analytics Using Smoothed ALS and Dynamic Time Warping,» *Energies*, vol. 11, nr. 6, 2018.
- [76] S. Wang, L. Du, J. Ye og D. Zhao, «Robust Identification of EV Charging Profiles,» i *2018 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*,
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8450086> , Long Beach, CA, USA , 2018.
- [77] J. Cho, Z. Hu og M. Sartipi, «Non-Intrusive A/C Load Disaggregation Using Deep Learning,» i *2018 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D)* , Denver, CO, USA , 2018.
- [78] A. Verma, A. Asadi, K. Yang, A. Maitra og H. Asgeirsson, «Analyzing household charging patterns of Plug-in electric vehicles (PEVs): A data mining approach,» *Computers & Industrial Engineering*,
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.07.043>, 2018.
- [79] G. Wang, Y. Zhao, Y. Ying, J. Huang og R. M. Winter, «Data Aggregation Point Placement Problem in Neighborhood Area Networks of Smart Grid,» *Mobile Networks and Applications*,
<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11036-018-1002-6>, vol. 23, pp. 696-708, 2018.
- [80] A. Hassan, Y. Zhao, L. Pu, G. Wang, H. Sun og R. M. Winter, «Evaluation of clustering algorithms for DAP placement in wireless smart meter network,» i *2017 9th International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC)*, Kunming, 2017.
- [81] H. S. Karimi og B. Natarajan, «Compressive Sensing Based State Estimation for Three Phase Unbalanced Distribution Grid,» i *GLOBECOM 2017 - 2017 IEEE Global Communications Conference*, Singapore, 2017.
- [82] U. Das, V. C. Dev og V. Namboodiri, «On the effectiveness of data aggregation to manage network congestion in smart grid AMI,» i *2018 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, DOI: 10.1109/ISGT.2018.8403329 , Washington, DC, USA , 2018.
- [83] A. Boustani, N. Alamatsaz, N. Alamatsaz og A. Boustani, «Traffic volume reduction in smart grid networks by a cooperative intelligent interpolation technique,» i *2018 15th IEEE Annual Consumer*

Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, 2018.

- [84] S. Bhela, V. Kekatos og S. Veeramachaneni, «Power distribution system observability with smart meter data,» i *2017 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)*, Montreal, 2017.
- [85] A. Deshpande, M. Sarkar, H. Adigal, R. Sabzehgar og M. Rasouli, «A Real Time Power Update Scheme for the Smart Grid Using TVWS,» i *SmartCitiesSecurity'18 Proceedings of the 1st ACM MobiHoc Workshop on Networking and Cybersecurity for Smart Cities*, Los Angeles, 2018.
- [86] S. Singh, Y. Zhao, G. Wang, R. Wang og H. Sun, «Improved hybrid wireless mesh protocol with modified routing metric in smart meter networks,» i *2017 9th International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC)*, Kunming, 2017.
- [87] S. Tonyali og K. Akkaya, «A scalable protocol stack for IEEE 802.11s-based advanced metering infrastructure networks,» i *2018 15th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, Las Vegas, 2018.
- [88] E. Tremel, K. Birman, R. Kleinberg og M. Jelasity, «Anonymous, Fault-Tolerant Distributed Queries for Smart Devices,» *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*, vol. 3, nr. 2, October 2018.
- [89] A. Alsharif, M. Nabil, M. Mahmoud og M. Abdallah, «Privacy-Preserving Collection of Power Consumption Data for Enhanced AMI Networks,» i *2018 25th International Conference on Telecommunications (ICT)*, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8464835>, 2018.
- [90] M. R. Hasan, Y. Zhao, Y. Luo, G. Wang og R. M. Winter, «An Effective AODV-based Flooding Detection and Prevention for Smart Meter Network,» *Procedia Computer Science*, vol. 129, pp. 454-460, 2018.
- [91] L. Wei, L. P. Rondon, A. Moghadasi og A. I. Sarwat, «Review of Cyber-Physical Attacks and Counter Defense Mechanisms for Advanced Metering Infrastructure in Smart Grid,» i *2018 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D)*, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8440552>, Denver, CO, USA, 2018.
- [92] Y. Kim, V. Kolesnikov og M. Thottan, «Resilient End-to-End Message Protection for Cyber-Physical System Communications,» *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, nr. 4, pp. 2478-2487, July 2018.
- [93] M. Mustapa, M. Y. Niamat, A. P. D. Nath og a. Alam, «Hardware-Oriented Authentication for Advanced Metering Infrastructure,» *IEEE Transactions on Smart Grid*, <https://ieeexplore.ieee.org/document/7494646>, vol. 9, pp. 1261-1270, 2018.
- [94] S. Tonyali, K. Akkaya, N. Saputro, A. S. Uluagac og M. Nojournian, «Privacy-preserving protocols for secure and reliable data aggregation in IoT-enabled Smart Metering systems,» *Future Generation Computer Systems*, <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.04.031>, vol. 78, pp. 547-557, 2018.
- [95] C. DeCusatis og K. Lotay, «Secure, Decentralized Energy Resource Management Using the Ethereum Blockchain,» i *2018 17th IEEE International Conference On Trust, Security And Privacy In Computing And Communications/ 12th IEEE International Conference On Big Data Science And Engineering (TrustCom/BigDataSE)*, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8456158>, 2018.
- [96] J. Xie, J. C. Bedoya, C.-C. Liu, A. Hahn, K. J. Kaur og R. Singh, «New Educational Modules Using a Cyber-Distribution System Testbed,» *IEEE Transactions on Power Systems*, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8328843>, nr. DOI: 10.1109/TPWRS.2018.2821178, pp. 5750-5769, 2018.
- [97] A. Tickle, «So You Bought Smart Meters - Now What? How to Manage the Data from and Maintenance of Smart Meters after an AMI deployment,» i *2018 IEEE Rural Electric Power Conference (REPC)*, DOI: 10.1109/REPC.2018.00010, Memphis, TN, USA, 2018.
- [98] E. M. Pickering, M. A. Hossain, R. H. French og A. R. Abramson, «Building electricity consumption: Data analytics of building operations with classical time series decomposition and case based subsetting,» *Energy*

and Buildings, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.056>, vol. 177, pp. 184-196, 2018.

- [99] H. Chun, K. Ren og W. Jiang, «Privacy-preserving power usage and supply control in smart grid,» *Elsevier*, <https://doi.org/10.1016/j.cose.2018.01.021>, vol. 77, pp. 709-719, 2018.
- [100] G. Giaconi, D. Gündüz og H. Vincent Poor, «Smart Meter Privacy With Renewable Energy and Energy Storage Device,» *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 13, nr. 1, pp. 129-142, Jan. 2018.
- [101] Elhub, «Om Elhub,» [Internett]. Available: <https://elhub.no/om-elhub/>. [Funnet 01 11 2018].
- [102] Elhub, «Nyttige funksjoner for nettselskapet,» [Internett]. Available: <https://elhub.no/oppgaver-i-elhub/veiledere/nyttige-funksjoner-for-nettselskapet/#nettap>. [Funnet 01 11 2018].
- [103] Lovdata, «Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet,» 01 01 2018. [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-11-30-1557>. [Funnet 01 11 2018].

Vedlegg A Deltakende selskaper

Workshop 1, 31.oktober 2018:

1. Aidon
2. Istad Energi Nett
3. Nordlandsnett
4. NTE Nett
5. Skagerak Nett
6. Trønderenergi Nett

Workshop 2, 1.november 2018:

1. Eidsiva Nett
2. Haugaland Nett
3. Helgeland Kraft Nett
4. Kamstrup
5. Lyse Elnett
6. Mørenett

Selskaper som ble kontaktet i etterkant av workshopene:

1. Agder Energi Nett
2. Embriq

Vedlegg B Oversikt patentsøknader

Tabell B.0.1: Oversikt over patentsøknadenes tittel, link til nettside i databasen publiseringsår, opprinnelsesland og hvilket system i AMS-infrastrukturen de har blitt kategorisert under

Nr	Patenttittel og referanse	År	Land	System
1.	Advanced metering infrastructure and method for processing meter reading data	2015	KR	innsamlings- og styringssystem
2.	Methods of processing data corresponding to a device that corresponds to a gas, water, or electric grid, and related devices and computer program products	2015	US	innsamlings- og styringssystem
3.	CONSUMPTION METER WITH REMOTE PROGRAM UPDATE	2015	DK	innsamlings- og styringssystem
4.	Apparatus And Method For Priority Addressing And Message Handling In A Fixed Meter Reading Network	2015	US	innsamlings- og styringssystem
5.	Device and method for remotely issuing electric energy meter parameters and control commands based on transparent collection tasks	2016	CN	innsamlings- og styringssystem
6.	System and method for analyzing and monitoring smart meter network communications	2016	US	innsamlings- og styringssystem
7.	Method for issuing electricity price parameter to electric energy meter by electricity consumption information acquisition system	2016	CN	innsamlings- og styringssystem
8.	BeiDou short message communication-based electric power data acquisition transmission processing system and method	2016	CN	innsamlings- og styringssystem
9.	Electricity usage information centralized reading method and system	2017	CN	innsamlings- og styringssystem
10.	Homomorphic Based Method For Distributing Data From One or More Metering Devices To Two or More Third Parties	2017	JP	innsamlings- og styringssystem
11.	Transmission method and transmission device for transparent tasks of electricity consumption information acquisition service	2017	CN	innsamlings- og styringssystem
12.	Collection of Telemetry Data Through A Meter Reading System	2017	US	innsamlings- og styringssystem
13.	Urban multi-energy combined acquisition method	2017	CN	innsamlings- og styringssystem
14.	Method for transferring a new software version to at least one electricity meter via a communication network	2017	FR	innsamlings- og styringssystem
15.	Network self-organizing type electricity consumption information centralized system and method	2017	CN	innsamlings- og styringssystem

Nr	Patenttittel og referanse	År	Land	System
16.	TOU DATA RECEPTION METHOD OF ELECTRONIC METER	2018	KR	innsamlings- og styringssystem
17.	System, method, and data packets for messaging for electric power grid elements over a secure internet protocol network	2018	US	innsamlings- og styringssystem
18.	Remote monitoring method for electricity meter based on image recognition	2018	CN	innsamlings- og styringssystem
19.	Concentrator, electricity meter and message processing method of concentrator and electricity meter	2015	CN	kommunikasjonssystem
20.	High traffic data transmission	2015	US	kommunikasjonssystem
21.	Meter reading system based on broadcasting and television network	2016	CN	kommunikasjonssystem
22.	Integrated head-end utility metering system	2016	US	kommunikasjonssystem
23.	Advanced metering infrastructure network system and message broadcasting method	2017	TW	kommunikasjonssystem
24.	Electric power data acquisition system based on Beidou communication technology	2017	CN	kommunikasjonssystem
25.	A METHOD FOR REGISTERING AND OPERATING A CONSUMPTION METER AND A WIRELESS RADIO COMMUNICATION SYSTEM FOR CONSUMPTION METERS	2017	DK	kommunikasjonssystem
26.	UTILITY METER FOR METERING A UTILITY CONSUMPTION AND OPTIMIZING UPSTREAM COMMUNICATIONS AND METHOD FOR MANAGING THESE COMMUNICATIONS	2017	CH	kommunikasjonssystem
27.	Beidou satellite communication-based distribution network automation system	2017	CN	kommunikasjonssystem
28.	Communication method based on whole-network perception mechanism and used for electricity information acquisition system	2017	CN	kommunikasjonssystem
29.	METER READING METHOD, APPARATUS AND SYSTEM, AND COMMUNICATION GATEWAY	2017	CN	kommunikasjonssystem
30.	Power distribution network wireless communication device capable of adaptively converting multiple interface protocols	2017	CN	kommunikasjonssystem
31.	High-speed 4G concentrator communication module, and electricity consumption information collecting system and method	2018	CN	kommunikasjonssystem
32.	Data concentration unit and method for operating the same	2018	KR	kommunikasjonssystem
33.	Electricity consumption information collection communication system	2018	CN	kommunikasjonssystem
34.	RADIO FREQUENCY COMMUNICATION SYSTEM AND METHOD	2018	DK	kommunikasjonssystem
35.1	Meter network nodes with beacon signal comprising signal data	2015	DK	smart-måleres interne systemer

Nr	Patenttitel og referanse	År	Land	System
36.	Utility meter intelligent firmware update system and method	2015	US	smart-måleres interne systemer
37.	System and method for controlling a connection of a meter to a power line	2015	CA	smart-måleres interne systemer
38.	Metering device and method for remote meter reading	2016	JP	smart-måleres interne systemer
39.	Metering device and communication control method	2017	JP	smart-måleres interne systemer
40.	METHOD AND APPARATUS FOR SECURE AGGREGATED EVENT REPORTING	2017	US	smart-måleres interne systemer
41.	Electricity Smart Meters And Electricity Distribution Systems	2017	US	smart-måleres interne systemer
42.	An electricity meter and an adaptor module therefor	2017	CH	smart-måleres interne systemer
43.	Consumption meter and remote reading method in a utility network with link management	2018	DK	smart-måleres interne systemer
44.	Low Power, High Resolution Automated Meter Reading and Analytics	2018	US	smart-måleres interne systemer
45.	Data annotation as a service for iot systems	2016	US	tjenestesystemer
46.	Electric grid high impedance condition detection	2016	US	tjenestesystemer
47.	Electricity meter reading equipment	2017	PT	tjenestesystemer
48.	User electricity consumption structure analyzing method	2018	CN	tjenestesystemer
49.	System for acquiring electricity consumption information of electricity users based on cloud services	2018	CN	tjenestesystemer



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no