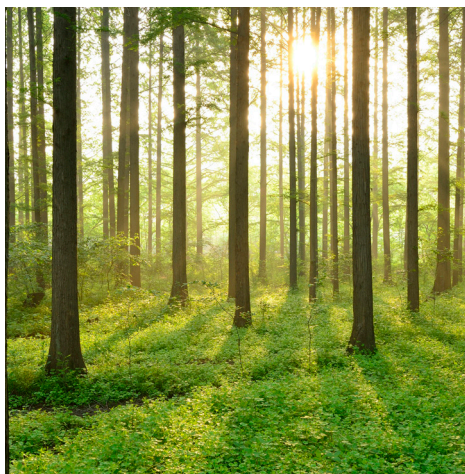


KARTLÄGGNING AV TRÅDLÖS TEKNIK I VATTENKRAFTEN

RAPPORT 2021:792



VATTENKRAFTENS
DIGITALISERING



Kartläggning av trådlös teknik i vattenkraften

NICLAS SELBERG
MANSOUR AKBARI
ANDREAS WANZELIUS
CHARLOTTA GLANTZBERG
ESKIL BENDZ

Förord

Utvecklingen av olika typer av trådlös teknik för dataöverföring går snabbt, både vad gäller prestanda och kostnadssänkningar. Lösningar för olika industriella applikationer implementeras i allt fler branscher. Så här långt så har användningen av trådlös teknik i vattenkrafttillämpningar varit blygsam, men det finns exempel på pilottester som genomförts i både Sverige och Norge samt internationella installationer. Det finns många olika tillämpningar inom vattenkraften där det skulle vara mycket fördelaktigt att kunna använda trådlös teknik, för att sänka kostnaderna eller för att det är komplicerat/ekonomiskt icke försvarbart att samla in informationen med trådad teknik.

I detta projekt har information om olika typer av trådlös överföringsteknik och tillhörande insamlingssystem/sensorer kartlagts. Trådlösa lösningar som skulle kunna användas har identifierats inom tre tillämpningskategorier - några kilometers avstånd, på dammar samt inne i kraftstationen. Projektet har utförts av AFRY under ledning av seniorkonsult Niclas Selberg.

Arbetet har finansierats av Fortum Generation AB, Holmen Energi AB, Jämtkraft AB, Jönköping Energi AB, Karlstads Energi AB, Skellefteå Kraft AB, Statkraft Sverige AB, Tekniska Verken i Linköping AB, Uniper/Sydkraft Hydropower AB, Vattenfall, Andritz, GE Renewable, Norconsult, Rainpower, Sweco Energiguide, SveMin, Voith och WSP. En referensgrupp med representanter från finansierarna har följt projektet, som har genomförts i samarbete med det norsk/svenska Forum för digitalisering i vattenkraften.

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sammanfattning

Fler och fler sektorer inom industrin digitaliseras. När företag introducerar IoT-lösningar är val av konnektivitet en av de viktiga aspekter som måste beaktas. Ett felaktigt val riskerar inte bara att få kortsiktiga konsekvenser som dålig prestanda samt förseningar och fördröjningar av det aktuella projektet, utan även långsiktiga effekter som i värsta fall kan innebära att man får byta konnektivitetslösning.

Denna studie har genomförts för att undersöka hur digital kommunikationsteknik kan vara användbar inom vattenkraften. Fokus har varit att utreda hur olika trådlösa tekniker kan användas för insamling av olika typer av mätdata i tre olika användarscenarier, korta avstånd inne i kraftstationer, på dammar och i vattendrag på längre avstånd från kraftstationen.

Studien har delats upp i två delar, dels en teoretisk del där ett tiotal olika trådlösa tekniker har analyserats med avseende på lämplighet inom vattenkraften, dels en kvalitativ del med intervjuer med representanter från energibolag, kommuner och tillverkare som deltagit i projekt där trådlös teknik har använts.

Varje trådlös teknik har fördelar och nackdelar och det finns ingen som inte skulle kunna användas i vissa speciella användarfall. Vi har funnit att den cellulära tekniken LTE-M är den som är mest lämplig för bredare användning då den stödjer alla tre typer av användarscenarier, är framtidssäker, ger lämplig prestanda samt har hög säkerhet. Även Wi-Fi HaLow och LoRaWAN är mycket lämpliga tekniker för flera användarscenarier. LoRaWAN har ett rikt utbud av produkter (sensorer, givare, gateways mm), är relativt sett enkel och billig att starta upp och stödjer ett par attraktiva användarfall av stort värde på dammar och i terräng. LoRaWAN är ett bra alternativ om man vill komma igång snabbt eller då täckningen för LTE är dålig.

Generellt sett kan sägas att användningen av trådlösa tekniker inom vattenkraften i Sverige och Norge är låg idag och endast ett fåtal driftsatta system har kunnat identifieras. Flera andra industrisegment, exempelvis gruvindustrin, har kommit längre. Även på ett internationellt plan ligger man längre fram på många ställen, EDF i Frankrike har sedan tio år använt sig av trådlösa system i sina anläggningar för att samla in data för förbättrat underhåll. Idag är det en viktig del av deras strategi för att sänka kostnader och vinna marknadsandelar.

I Norge och Sverige har några installationer gjorts med LTE-M, WirelessHART och LoRaWAN, bland annat i syfte att produktionsplanera, övervaka dammar mm.

Flera respondenter är överraskade över hur pass billigt det är att sätta upp ett eget trådlöst system och tillhörande sensorer, utifrån det mervärde som detta ger. En implementation av ett mindre system, begränsat till en eller två användarfall lokalt i en kraftstation, behöver inte kosta mer än ett par hundra tusen kronor.

Ingen processkritisk information distribueras med trådlös teknik, främst är det data för prediktivt underhåll som samlas in. Den huvudsakliga nyttan är att mätdata kan samlas in på ett billigare och enklare sätt, mer frekvent och att data då blir mer pålitlig.

Summary

More and more industry sectors are being digitized. When companies introduce IoT solutions, choice of connectivity is one of the important aspects that must be considered. A wrong choice risks not only having short-term consequences such as poor performance and delays and delays in the project in question, but also long-term effects that in the worst case may involve changing the connectivity solution.

This study has been carried out to investigate how digital communication technologies can be useful in hydropower. The focus has been to investigate how different wireless technologies can be used for collecting different types of measurement data in three different user scenarios, short distances inside power stations, on ponds and in watercourses at longer distances from the power station.

The study has been divided into two parts, a theoretical part in which a dozen different wireless technologies have been analyzed for suitability in hydropower, as well as interviews with representatives from energy companies, municipalities and manufacturers who participated in projects where wireless technology has been used.

Each wireless technology has pros and cons and there is no one that could not be used in certain special user cases. However, we have found that the cellular technology LTE-M is the one most suitable for wider use as it supports all types of application scenarios, is future-proof, good performance and has high security. Wi-Fi HaLow and LoRaWAN are also highly suitable technologies for multiple application scenarios. Wi-Fi HaLow and LoRaWAN are also highly suitable technologies for multiple application scenarios. The latter has a rich range of products (sensors, sensors, gateways, etc.), is relatively easy and inexpensive to boot and supports a couple of attractive user cases of great value on ponds and in terrain and is a good option if you want to get started quickly or when the coverage for LTE is poor.

In general, the use of wireless technologies in hydropower in Sweden and Norway is low today and only a few deployed systems have been identified. Several other industrial segments, such as the mining industry, have progressed further. Even on an international level, it is further ahead in many places, EDF in France has been using wireless systems in its facilities for 10 years to collect data for maintenance. Today, it is an important part of their strategy to lower costs and gain market share.

In Norway and Sweden, some installations have been made by WirelessHART and LoRaWAN technology, for example to predict electricity prices, monitor dams, etc. Several respondents are surprised at how cheap it is to set up a wireless network and associated sensors. A smaller system, limited to one or two user cases locally in a power station, doesn't have to cost more than a couple of hundred thousand SEK and provides a lot of added value.

No process-critical information is distributed with wireless technology, mainly the predictive maintenance data that is collected. The main benefit is that measurement data can be collected in a simple way, more frequently and that the data then becomes more reliable. Mission-critical control information is normally handled by the fixed network.

Innehåll

1	Inledning	8
1.1	Bakgrund	8
1.2	Syfte och målsättning	8
1.3	Studiens genomförande, metodik och begränsningar	9
1.4	Rapportens upplägg	10
1.5	Enheter, beteckningar och förkortningar	10
2	Trådlösa System	12
2.1	Trådlösa tekniker	12
2.1.1	Översikt av trådlösa tekniker	12
2.1.2	Utvärdering av trådlösa tekniker	25
2.1.3	Detaljerad beskrivning av rekommenderade tekniker	27
2.2	Sensorer och Gateways	30
2.2.1	Sensorer	30
2.2.2	Gateways	31
3	Referensfall från Vattenkraften	33
3.1	Introduktion	33
3.2	Detaljerad beskrivning av utvalda fall	33
3.2.1	Jämtkraft och Fortum	33
3.2.2	Électricité de France (EDF)	34
3.2.3	Statkraft	38
3.2.4	Skagerak Energi	40
3.3	Summering och Översikt av referensfall	43
4	Referensfall från andra industrier	45
4.1	Introduktion	45
4.2	Detaljerad beskrivning av utvalda fall	45
4.2.1	Kristianstads kommun och C4Energi	45
4.2.2	Södra cell	47
4.2.3	Kärnkraften i USA	50
4.2.4	Vattenfall (Ringhals & Barsebäck)	51
4.2.5	LKAB	53
4.3	Summering och Översikt av referensfall	55
5	Erfarenheter från leverantörer	56
5.1	Introduktion	56
5.2	detaljerad beskrivning av utvalda fall	56
5.2.1	Volue Industrial IoT AS (fd Scanmatic)	56
5.2.2	SPM Instrument	57
5.2.3	Mobilaris	58
5.3	Översikt av sensor-leverantörer	59
5.4	Generella slutsatser och findings	60

6	Förslag på fortsatt arbete	61
6.1	Fördjupade studier inom 5G	61
6.2	Praktiska test av Tillämpningskategori 2 & 3	61
6.3	Fördjupad studie av Sensorer och givare	62
7	Referenser	63
Bilaga A:	Appendix	65

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Utvecklingen av olika typer av trådlös teknik för dataöverföring går snabbt, både vad gäller nya tekniker, prestanda och kostnadssänkningar. Lösningar för olika industriella applikationer implementeras i allt fler branscher såsom kärnkraftsindustrin, gruvindustrin, med flera.

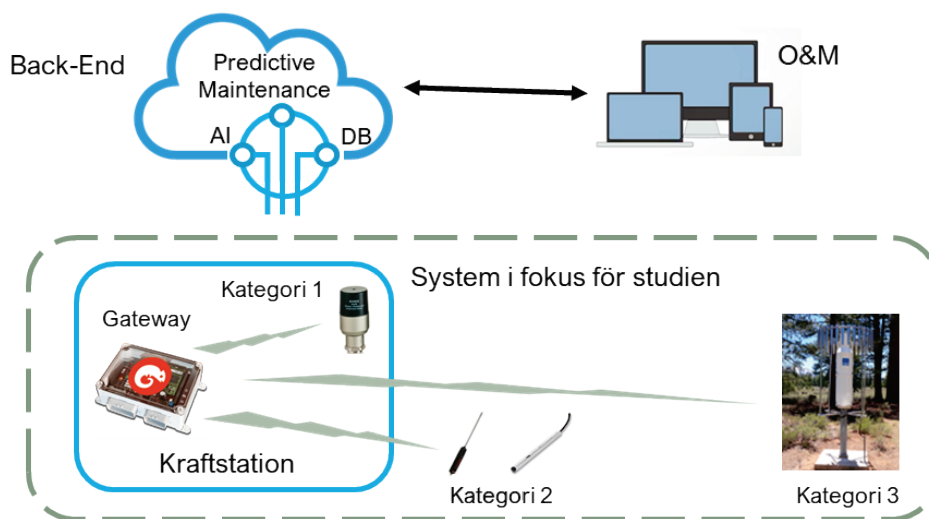
Så här långt så har användningen av trådlös teknik i vattenkrafttillämpningar varit blygsam, men det finns exempel på pilottester som genomförts och kommersiella lösningar i drift i både Sverige och Norge, samt även internationella installationer.

Det finns många olika tillämpningar inom vattenkraften där det skulle vara mycket fördelaktigt att kunna använda trådlös teknik för att möjliggöra insamling av information som annars är komplicerad eller svår att nå. Med trådlös teknik kan kostnaderna för installationer minskas så att data kan erhållas där det tidigare inte varit ekonomiskt försvarbart att samla in data med trådad teknik.

Förutsättningarna för dessa tillämpningar skiljer sig åt vad gäller exempelvis avstånd, omgivningsförhållanden mellan sensorer och koncentrationspunkter (Gateways), önskad mätfrekvens med mera. Tillämpningarna kan till exempel vara vattennivåmätning på ett avstånd av ett par kilometer från kraftstationen, instrumentering av dammar i närheten av kraftstationen eller att applicera olika sensorer inne i en kraftstation för att mäta vibrationer, temperatur med mera. Det kan både handla om kontinuerliga mätningar eller om tillfälliga mätningar för att analysera ett problem som uppstått.

1.2 SYFTE OCH MÅLSÄTTNING

Denna rapport syftar till att samla information om olika typer av trådlös överföringsteknik och tillhörande insamlingssystem/sensorer som skulle kunna användas i olika vattenkrafttillämpningar. Målet är att identifiera någon eller några trådlösa lösningar som skulle kunna användas inom de tre tillämpningskategorier som är av intresse; några kilometers avstånd, på dammar, samt inne i kraftstationen, se beskrivning av Figur 1. Angränsande system för exempelvis dataanalys är inte en del av studien.



Figur 1. Tre kategorier av tillämpningar. Systemet i fokus (SIF) är de trådlösa delarna av end-to-end-arkitekturen. Back-End är inte inkluderat i studien.

Övergripande kravställande parametrar för de tre olika tänkta vattenkrafttillämpningarna sammanfattas i Tabell 1. Dessa generiska formuleringar av krav ligger till grund för kommande urval av lämpliga trådlösa tekniker.

Tabell 1. Definition av parametrar och krav för tre olika kategorier av vattenkrafttillämpningar.

Parameter	Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
Överföringsavstånd	Inom kraftstation	Upp till 500 meter	Några kilometer
Terräng mellan sensor och gateway	Olika maskinkomponenter	Blandad terräng, byggnader	Blandad terräng, byggnader
Mätfrekvens	1 gång / sekund	1 gång / minut	1 gång / 5 minut
Energiförsörjning	Gärna batteri och mätinsamlingsystem/ clamp-on sensorer	Gärna batteri	Batteri
Störningsnivå			Får ej påverka/störa befintlig utrustning

1.3 STUDIENS GENOMFÖRANDE, METODIK OCH BEGRÄNSNINGAR

Genomförande

Studien har genomförts som ett projekt av en grupp av AFRYs experter inom trådlösa tekniker, vattenkraft, IoT och digitalisering, med stöd av en referensgrupp från Energiforsk.

Studien har delats in i tre delar:

1. En teoretisk studie av olika trådlösa tekniker.
2. Genomgång och beskrivning av kommersiella trådlösa lösningar, produkter och tjänster, samt erfarenheter från vattenkraften.
3. Beskrivning av erfarenheter av digitalisering med trådlösa lösningar från andra industrisegment, samt leverantörer av system och utrustning.

Projektet har genomförts från november 2020 till maj 2021.

Metodik

De olika delarna av studien har genomförts med följande metodiker:

1. Teoretiska litteraturstudier. Ett tiotal trådlösa tekniker har identifierats och beskrivits enligt definierade kriterier i Tabell 1 samt utvärderats genom att jämföra en rad olika parametrar inom två områden:
 - a. Tekniska hänsyn: Datahastighet, fördröjning, säkerhet, täckning, skalbarhet, mm.
 - b. Kommersiella hänsyn: Affärsmodeller, kostnad, eko-system, mognad, standardisering, mm.

I samråd med Energiforsks referensgrupp har de tekniker som ansetts mest lovande för användning inom vattenkraften valts ut och beskrivits mer i detalj.

2. Intervjuer har genomförts med svenska, norska och andra internationella aktörer som genomfört tester och installationer med trådlös kommunikationsteknik för insamling av mätdata. Industrisegment som har tagits med i studien omfattar förutom vattenkraften; kärnkraften, gruvindustri, processindustri och kommunala VA-företag.

Begränsningar

Studien fokuserar huvudsakligen på trådlösa system för insamling av mätdata. Detta innebär att

- angränsande system såsom t.ex. sensorer och gateways endast berörs på en övergripande nivå, samt att
- vissa delar helt exkluderas såsom t.ex. system för analys av mätdata.

1.4 RAPPORTENS UPPLÄGG

Det inledande kapitlet beskriver bakgrunden till projektet och hur studien har utförts. I kapitel 2 beskrivs ett tiotal trådlösa tekniker som kan vara aktuella som bärare av data inom vattenkraften, samt dess för och nackdelar. Kapitlet inkluderar även sensorer/givare och gateways. De följande kapitlen beskriver trådlösa installationer och erfarenheter från dessa inom vattenkraften (kapitel 3), andra industrisegment (kapitel 4), samt erfarenheter från olika leverantörer av utrustning och system (kapitel 5). Förslag på nya eller fördjupande studier beskrivs i kapitel 6.

1.5 ENHETER, BETECKNINGAR OCH FÖRKORTNINGAR

3GPP	3rd Generation Partnership Project
AES	Advanced Encryption Standard
AGV	Automated Guided Vehicle
AI	Artificial Intelligence
BLE	Bluetooth Low Energy
CapEx	Capital Expenditure

Cat NB	Category Narrow Band
DB	Database
DL	Down Link
GW	Gateway
HART	Highway Addressable Remote Transducer
HSS	Home Subscriber Server
IoT	Internet of Things
IIoT	Industrial Internet of Things
ISM	Industrial, Scientific and Medical
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network
LOS	Line Of Sight
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Control
MBB	Mobile Broadband
ML	Machine Learning
OpEx	Operational Expenditure
PM	Predictive Maintenance
PoC	Proof of Concept
QoS	Quality of Service
SIM	Subscriber Identity Module
UL	Up Link
WPA	Wi-Fi Protected Access

2 Trådlösa System

2.1 TRÅDLÖSA TEKNIKER

I denna studie undersöks ett stort antal befintliga trådlösa teknikerna och deras generella tillämpningsområden. Det finns ett mycket stort antal trådlösa tekniker att välja mellan. Dessa har utvecklats för olika typer av applikationer och har därmed olika egenskaper.

För detta projekt kan en grov uppdelning mellan de olika teknikerna göras enligt:

- *Host* (opertörsdrivet nät) - större regionala eller nationella nätverk, där denna typ av nätverk levereras av en extern kommunikationsoperatör (t.ex. mobilt bredband),
- *Own* (eget nät) - lokala nätverk som kan hanteras av t.ex. egen organisation (t.ex. Wi-Fi).

När det gäller batteridrivna sensorer och givare så finns det bland annat ett generellt behov av låg energiförbrukning, vilket innebär att alla trådlösa tekniker inte är anpassade för energisektorn (exempelvis vattenkraften) och dess tillämpningar. Vid urval av trådlösa tekniker som har utvärderats i denna studie så har hänsyn tagits till detta behov.

Ett vanligt förekommande uttryck är *mesh*-teknik. Detta innebär att olika trådlösa noder i ett nätverk kan koppla upp sig till varandra, för att på så sätt kunna förmedla information över ett större avstånd än vad som är möjligt för en enskild nod. På detta sätt kan man även uppnå redundanta signalvägar.

2.1.1 Översikt av trådlösa tekniker

I detta avsnitt beskrivs, i stora drag, en översikt av möjliga trådlösa teknikerna inklusive deras egenskaper och tillämpningar. Följande trådlösa tekniker utvärderas:

- Bluetooth/Bluetooth Low Energy (BLE)
- Zigbee/Zigbee PRO
- WirelessHART
- Wi-Fi/Wi-Fi HaLow
- SigFox
- LoRaWAN
- 2G (GSM)
- 4G (LTE-M och NB-IoT)
- Private LTE (P-LTE)
- 5G

Bluetooth/Bluetooth Low Energy (BLE)

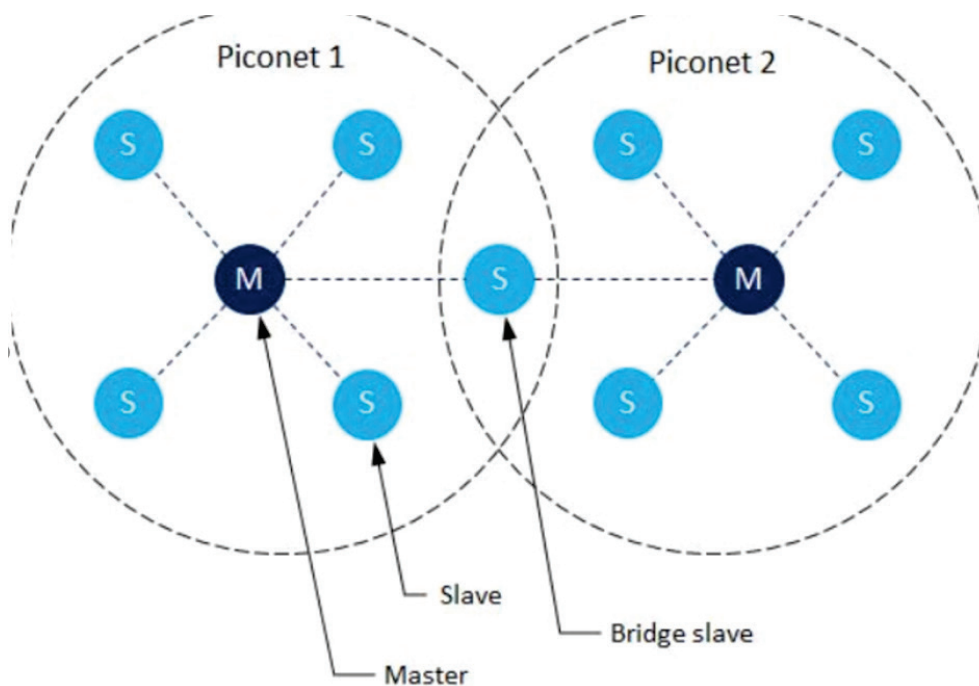
Bluetooth (Blåtand) är en trådlös teknik som bygger på standarden IEEE 802.15.1. 1999 släpptes första versionen av Bluetooth. Denna teknik är avsedd för datakommunikation mellan olika enheter (t.ex. dator och skrivare) inom korta

avstånd (tioalet meter). Tekniken använder det fria ISM-bandet på 2,4 GHz. I detta frekvensband samexisterar Bluetooth med andra trådlösa teknik.

En fördel med Bluetooth-baserade enheter är att det finns många tillverkare och därmed ett stort utbud av enheter som är prissatta på en väl konkurrensutsatt marknad.

En alternativ version av Bluetooth introducerades 2016. Denna version är en lågenergivariant som ger bättre räckvidd samt längre batterilivslängd och kallas därmed Bluetooth Low Energy (BLE). BLE är bättre anpassad för IoT-applikationer och stödjer mesh-teknik, vilket innebär att vissa enheter kan vidarebefordra information som skickas ut från en BLE-kontrollenhet och vice versa.

Ett exempel på nätverksarkitekturen för Bluetooth visas i Figur 2. Masterenheten styr alla slavenheter. I mesh-konfiguration kan slavenheten även fungera som en repeater och överföra informationen från masterenheten till andra slavenheter.



Figur 2. Exempel på nätverksarkitektur för Bluetooth (1).

Relevanta egenskaper för Bluetooth och BLE sammanfattas i Tabell 2.

Tabell 2. Egenskaper för Bluetooth och BLE.

Parameter	Specifikation	Kommentar
Frekvensband	2,4 GHz	Fritt frekvensband
Överföringsavstånd	10-100 meter	Avstånd kan ökas med mesh-teknik (gäller BLE)
Kapacitet, data	125 kbps – 2 Mbps	
Utsänd effekt	1-100 mW	100 mW är max tillåten effekt i detta frekvensband
IT-säkerhet	Kryptering och autentisering	Flera säkerhetsbrister finns och har påpekats av NIST. Stödjer tex endast device autentisering, vissa device använder korta krypteringsnycklar mm.
Nätverksarkitektur	Eget nät	Drift och underhåll sköts av lokal organisation
Standard	IEEE 802.15.1	

Teknikens lämplighet för de tre tänkta vattenkrafttillämpningarna

Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
X	---	---

Enligt en preliminär bedömning, t.ex. överföringsavstånd, kan denna trådlösa teknik vara lämplig för vattenkrafttillämpningar enligt Kategori 1 (inom kraftstation).

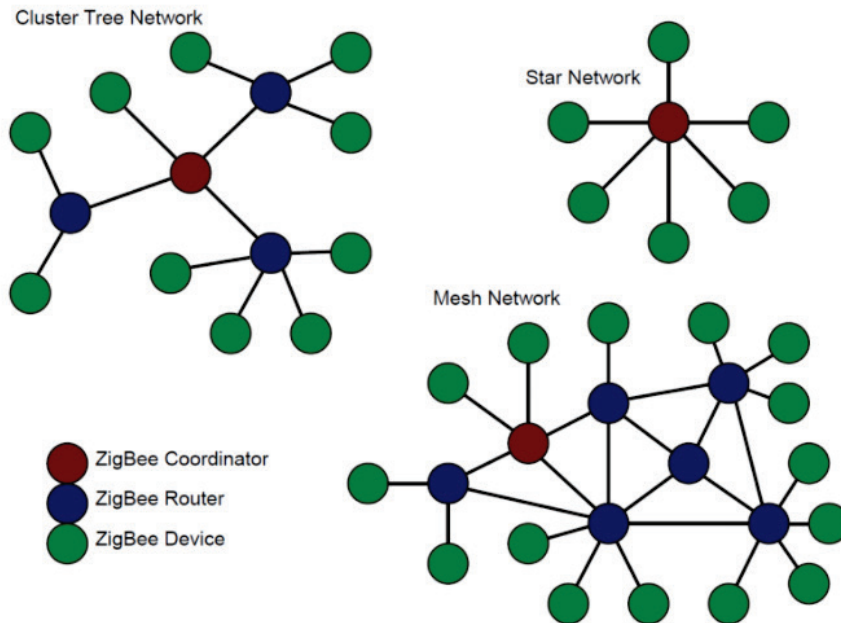
Zigbee/Zigbee PRO

Zigbee är en trådlös teknik som bygger på standarden IEEE 802.15.4 och används för styrning och övervakning av utrustning. Tillämpningarna av Zigbee är i första hand för hemautomation, men kan även användas inom industrin. Zigbee använder det fria ISM-bandet på 2,4 GHz och är en energisnål trådlös teknik.

För att kunna möta konkurrensen inom hemautomation så är tekniken mycket billig och baserad på generellt billiga komponenter.

På senare tid har det utvecklats en ny variant som kallas Zigbee PRO, som har stöd för sub-GHz-bandet och Mesh-teknik. Med Zigbee PRO ökar möjligheten att kunna använda den här tekniken inom industrin och radiomässigt besvärliga miljöer med många störningskällor.

Ett exempel på nätverksarkitekturen för Zigbee visas i Figur 3. Det går att bygga olika nätkonfiguration. Styrenheten (Coordinator) är den enhet som styr alla enheter i ett ZigBee-nät. Med mesh-teknik kan vissa enheter fungera som repeater och överföra informationen från styrenheten till andra enheter.



Figur 3. Exempel på nätverksarkitektur för Zigbee (2).

Relevanta egenskaper för Zigbee/ZigbeePro sammanfattas i Tabell 3.

Tabell 3. Egenskaper för Zigbee/ZigbeePro.

Parameter	Specifikation	Kommentar
Frekvensband	2,4 GHz och 868 MHz	Fritt frekvensband
Överföringsavstånd	>100 meter	Avstånd kan ökas med mesh-teknik. Upp till 1 km räckvidd för 868 MHz och LoS.
Kapacitet, data	100-250 kbps	
Utsänd effekt	1-100 mW	100 mW är max tillåten effekt i detta frekvensband
IT-säkerhet	Kryptering och autentisering	128-bitar AES kryptering, ett Trusted Center ansvarar för autentisering och distribution av nycklar, kan avlyssnas.
Nätverksarkitektur	Eget nät	Drift och underhåll sköts av lokal organisation
Standard	IEEE 802.15.4	

Teknikens lämplighet för de tre tänkta vattenkrafttillämpningarna

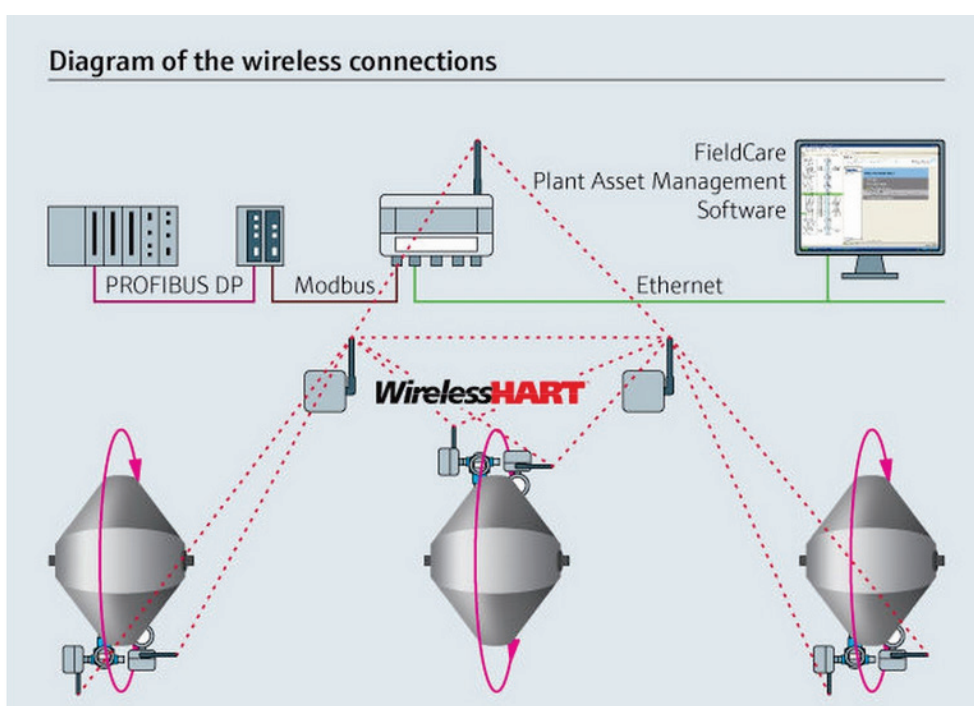
Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
X	---	---

Enligt en preliminär bedömning kan denna trådlösa teknik vara lämplig för vattenkrafttillämpningar enligt Kategori 1 (inom kraftstation). För varianten ZigbeePro kan möjligtvis även Kategori 2 vara tillämplig.

WirelessHART

WirelessHART är ett trådlöst kommunikationsprotokoll som är baserat på HART-protokollet. Det används för kommunikation mellan givare och annan mät- och styrutrustning. Protokollet kommer ursprungligen från processindustrin. Arkitekturen består av både sensorer och gateways som kan användas för styr- eller övervakningssystem. WirelessHart använder ISM 2,4 GHz-bandet och har stöd för Mesh-teknik.

För att skydda data sker all kommunikation krypterat med 128 bitars AES-kryptering, vilket är ett symmetriskt blockkrypto som delar in meddelandet i block om 128 bitar. Ett exempel på nätverksarkitektur för WirelessHART visas i Figur 4.



Figur 4. Exempel på nätverksarkitektur för WirelessHART (3).

Relevanta egenskaper för WirelessHart sammanfattas i Tabell 4.

Tabell 4. Egenskaper för WirelessHART.

Parameter	Specifikation	Kommentar
Frekvensband	2,4 GHz	Fritt frekvensband
Överföringsavstånd	>100 meter	Avstånd kan ökas med mesh-teknik.
Kapacitet, data	Upp till 250 kbps	
Utsänd effekt	1-100 mW	100 mW är max tillåten effekt i detta frekvensband
IT-säkerhet	128 bitars kryptering	
Nätverksarkitektur	Eget nät	Drift och underhåll sköts av lokal organisation
Standard	IEEE 802.15.4	

Teknikens lämplighet för de tre tänkta vattenkrafttillämpningarna

Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
X	---	---

Enligt en preliminär bedömning kan denna trådlösa teknik vara lämplig för vattenkrafttillämpningar enligt Kategori 1 (inom kraftstation). Med mesh-uppbyggnaden så kan möjligtvis även Kategori 2 vara tillämplig.

Wi-Fi och Wi-Fi HaLow

Wi-Fi är en trådlös teknik som bygger på standarden IEEE 802.11 och har under lång tid utvecklats med nya egenskaper. Ett Wi-Fi-nät består av accesspunkter och olika enheter (sensorer, smartphone, etc.).

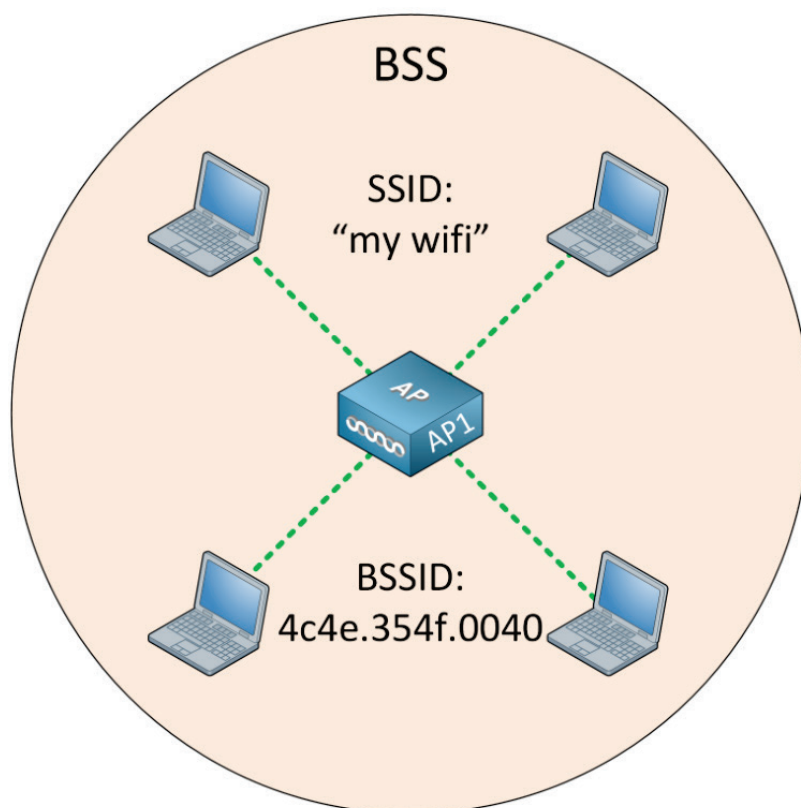
Första Wi-Fi-versionen (IEEE 802.11a) släppts 1997 på ISM 2,4 GHz-bandet. Sedan dess har nya versioner släppts med högre dataöverföringskapacitet och inkluderar nu även ISM 5 GHz-bandet.

Senaste Wi-Fi-versionen (Wi-Fi 6), IEEE 802.11ax, möjliggör hastigheter på upp till 7 Gbps, samt uppkopplade enheter som inte kräver lika mycket energi. Wi-Fi 6 är i första hand intressant för möjligheten till väldig hög datahastigheter och även kortare responstider.

Det finns även tillämpningar för industri och machine to machine-kommunikation (IEEE 802.11p).

Wi-Fi HaLow är speciellt utformad för IoT-applikationer och bygger på standarden IEEE 802.11ah. Eftersom den är utformad för IoT-applikationer, använder den sub-GHz-bandet, d.v.s. 868 MHz. Detta band har mycket bättre utbredningsegenskaper för radiovågorna jämfört med 2,4 GHz- eller 5 GHz-bandet, vilket är de två frekvensband som vanligtvis används för Wi-Fi. En ytterligare konsekvens av att tekniken är anpassad för IoT-tillämpningar gör att sensorerna får lång batteritid.

Ett exempel på nätverksarkitekturen för Wi-Fi visas i Figur 5. I detta exempel är Basic Service Set (BSS) det trådlösa Wi-Fi-nätverket. SSID "my wifi" (Service Set Identifier) är namnet på det trådlösa nätverket. Access Point (AP) annonserar Basic Service Set Identifier (BSSID) till omgivningen. BSSID är AP:s MAC-adress som är unik och identifierar AP för alla enheter som ska koppla sig mot AP. AP:s signalstyrka definierar storleken på BSS.



Figur 5. Exempel på nätverksarkitektur för Wi-Fi (4).

Relevanta egenskaper för Wi-Fi sammanfattas i Tabell 5.

Tabell 5. Egenskaper för Wi-Fi inklusive Wi-Fi HaLow.

Parameter	Specifikation	Kommentar
Frekvensband	868 MHz; 2,4 GHz; 5 GHz	Fritt frekvensband
Överföringsavstånd	< 500 meter	> 1 km för Wi-Fi HaLow (LoS)
Kapacitet, data	150 kbps – 7 Gbps	
Utsänd effekt	100 mW	100 mW är max tillåten effekt i detta frekvensband
IT-säkerhet	Autentisering	
Nätverksarkitektur	Eget nät	Drift och underhåll sköts av lokal organisation
Standard	IEEE 802.11	

Teknikens lämplighet för de tre tänkta vattenkrafttillämpningarna

Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
X	X	---

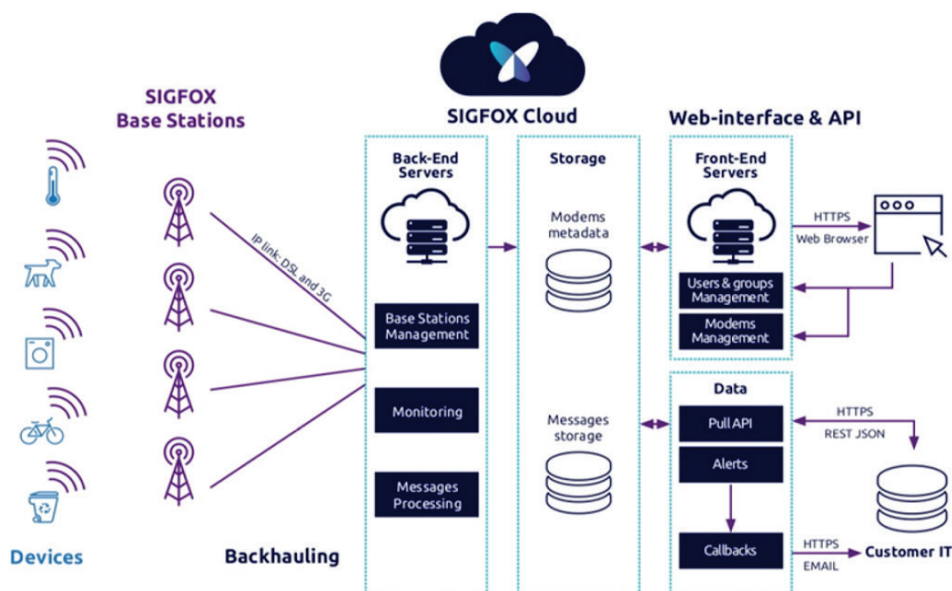
Enligt en preliminär bedömning kan denna trådlösa teknik vara lämplig för vattenkrafttillämpningar enligt Kategori 1 samt Kategori 2.

Sigfox

Sigfox är ett franskt företag och en ultra-smalbandig teknik som delar in spektrum i mycket smala frekvensband för att sända och ta emot data. Detta gör att mottagaren kan använda en begränsad bit av spektrum och stänga ute effekten av brus i de andra delarna av spektrum.

Varje meddelande är bara 12 bytes för att öka robustheten mot andra sändare på samma kanal. Sensorer har lång batteritid på upp till tio år. Sigfox använder det fria ISM bandet på 868 MHz.

Sigfox utformar ett radionät som består av sensorer, radiobaser (gateway) och server som hantera all data som skickas till radiobaser från sensorer och vice versa. Ett exempel på nätverksarkitekturen för Sigfox visas i Figur 6.



Figur 6. Exempel på nätverksarkitektur för SigFox (5).

Relevanta egenskaper för Sigfox sammanfattas i Tabell 6.

Tabell 6. Egenskaper för Sigfox.

Parameter	Specifikation	Kommentar
Frekvensband	868 MHz	Fritt frekvensband
Överföringsavstånd	Upp till 15 km	
Kapacitet, data	100 bps	
Utsänd effekt		
IT-säkerhet	Autentisering	
Nätverksarkitektur	Operatörsdrivet nät	
Standard	Ingen standard	Proprietär lösning

Teknikens lämplighet för de tre tänkta vattenkrafttillämpningarna

Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
---	X	X

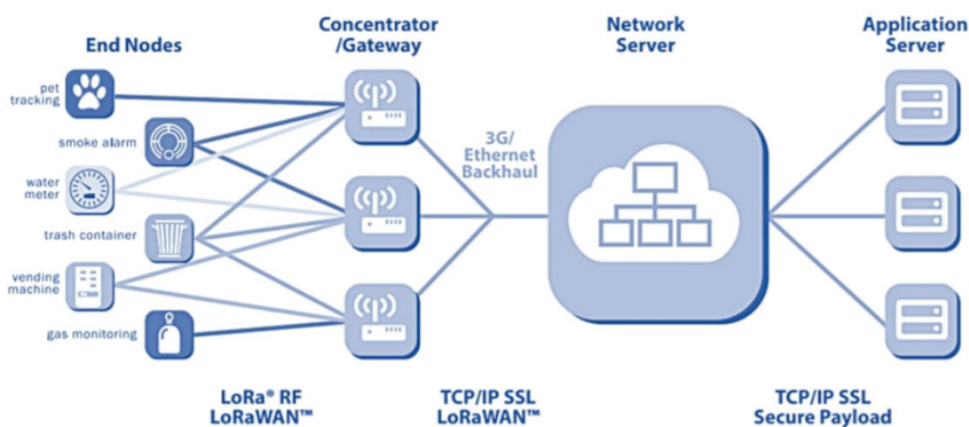
Enligt en preliminär bedömning kan denna trådlösa teknik vara lämplig för vattenkrafttillämpningar enligt Kategori 2 och Kategori 3 (några kilometer). Det finns dock en oro att den kraftigt begränsade överföringskapaciteten även kommer att begränsa mängden relevanta tillämpningar inom vattenkraften.

LoRaWAN

LoRaWAN är en smalbandig teknik som använder det fria ISM-bandet på 868 MHz. LoRaWAN möjliggör överföring av data över långa sträckor. Fokus för tekniken är på låg energiförbrukning och lång räckvidd, vilket medför att LoRaWAN är en teknik som är anpassad för IoT-tillämpningar med sensorer som har lång batteritid på upp till tio år.

LoRaWAN-nätet består av sensorer, gateway (concentrator) och server för hantering av datapaket som skickas till gateway från sensorer och från gateway till sensorer.

Ett exempel på nätverksarkitekturen för LoRaWAN visas i Figur 7.



Figur 7. Exempel på nätverksarkitektur för LoRaWAN (6).

Relevanta egenskaper för LoRaWAN sammanfattas i Tabell 7.

Tabell 7. Egenskaper för LoRaWAN.

Parameter	Specifikation	Kommentar
Frekvensband	868 MHz	Fritt frekvensband
Överföringsavstånd	Upp till 15 km	
Kapacitet, data	10 kbps	
Utsänd effekt		
IT-säkerhet	AES128-bitars kryptering	Säkerställer säkerhet end-to-end
Nätverksarkitektur	Eget eller Operatörsdrivet nät	
Standard	Öppet nätverksprotokoll	

Teknikens lämplighet för de tre tänkta vattenkrafttillämpningarna

Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
---	X	X

Enligt en preliminär bedömning kan denna trådlösa teknik vara lämplig för vattenkrafttillämpningar enligt Kategori 2 och Kategori 3 (några kilometer).

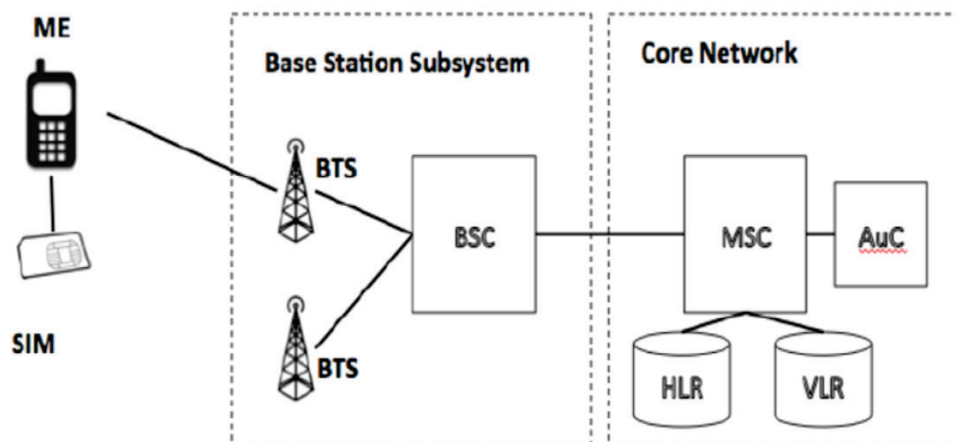
GSM

GSM (2G) är det första digitala mobiltelefonisystem för tal och textmeddelande i form av SMS. Senare har tekniken utvecklades för att kunna skicka och ta emot paketdata. Eftersom GSM använder 900 MHz-bandet, har den bra utbredningsegenskaper som medger möjligheter att klara varierande terräng och svårare radiomiljöer.

GSM har traditionellt använts för datakommunikation för varuautomater och dylikt. På senare tid har tekniken anpassats för IoT-applikationer såsom t.ex. el- och fuktmätare.

För Sverige gäller generellt att GSM-nätet kommer att avvecklas runt 2025.

Ett exempel på nätverksarkitekturen för GSM visas i Figur 8.



Figur 8. Exempel på nätverksarkitektur för GSM (7).

Relevanta egenskaper för GSM sammanfattas i Tabell 8.

Tabell 8. Egenskaper för GSM.

Parameter	Specifikation	Kommentar
Frekvensband	T.ex. 900 MHz	Licensierade frekvensband
Överföringsavstånd	Upp till 25 km	
Kapacitet, data	25 kbps	För IoT-applikationer
Utsänd effekt	Flera watt	Från basstationer
IT-säkerhet	Autentisering, kryptering, SIM-kort	Säkerställer säkerhet end-to-end
Nätverksarkitektur	Operatörsdrivet nät	
Standard	3GPP	

Teknikens lämplighet för de tre tänkta vattenkrafttillämpningarna

Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
X	X	X

Enligt en preliminär bedömning kan denna trådlösa teknik vara lämplig för alla vattenkrafttillämpningar dvs Kategori 1, 2 och 3.

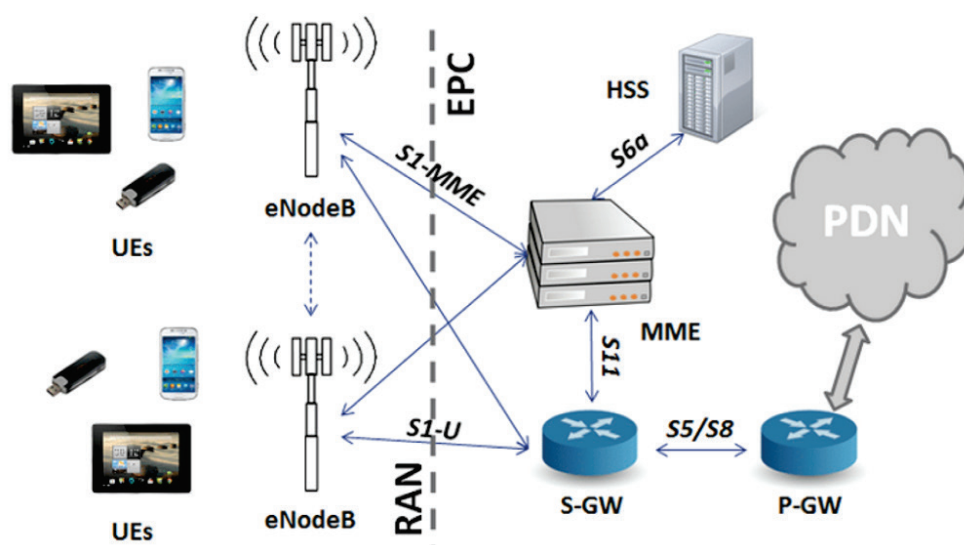
LTE-M och NB-IoT (4G)

Fjärde generationens mobiltelefoni (4G) bygger på LTE-teknik. LTE utvecklades i första hand för hög dataöverföring för smartphone-användare d.v.s. mobilt bredband (MBB). Tankar på IoT-applikationer fanns inte med från början. På senare har fokus varit på att skapa systemlösningar för IoT-applikationer och det har utvecklats flera produkter, t.ex. batteridrivna sensorer för industrin. Eftersom detta är en teknik för mobiltelefoni så finns det funktioner för att garantera kvalitet och tillgänglighet.

IoT-applikationerna erbjuder en kraftfull förbättring av LTE-tekniken inom IoT-området genom vidareutvecklingen av standarderna LTE-M och NB-IoT. Sensorer har lång batteritid på upp till 10 år.

NB-IoT är speciellt framtagen för batteridrivna applikationer som kräver låg bandbredd (180 kHz). NB-IoT har en förenklad och robust radioteknik som ger mycket god radiotäckning.

Ett exempel på nätverksarkitekturen för LTE visas i Figur 9.



Figur 9. Exempel på nätverksarkitektur för LTE (8).

Relevanta egenskaper för LTE sammanfattas i Tabell 9.

Tabell 9. Egenskaper för LTE Cat-M & Cat-NB.

Parameter	Specifikation	Kommentar
Frekvensband	Från 450 MHz till 2,6 GHz	Licensierade frekvensband
Överföringsavstånd	Upp till 30 km	
Kapacitet, data	Upp till 6 Mbps (UL), 4 Mbps (DL)	För IoT-applikationer
Utsänd effekt	Flera watt, men beror på applikation	Från basstationer
IT-säkerhet	Autentisering, kryptering, SIM-kort	Säkerställer säkerhet end-to-end
Nätverksarkitektur	Operatörsdrivet nät	
Standard	3GPP	

Teknikens lämplighet för de tre tänkta vattenkrafttillämpningarna

Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
X	X	X

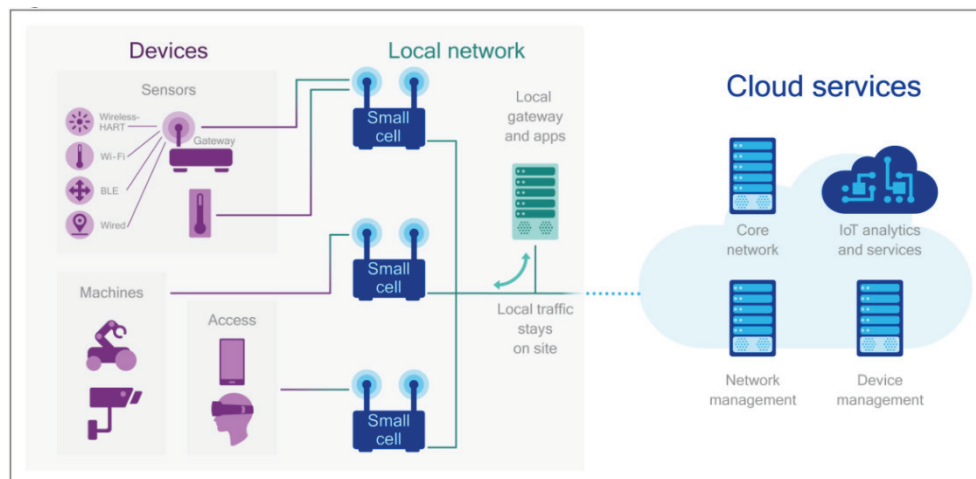
Enligt en preliminär bedömning kan denna trådlösa teknik vara lämplig för alla vattenkrafttillämpningar, dvs Kategori 1, 2 och 3.

Privat LTE

Privat LTE är en variant av LTE-tekniken med begränsad funktionalitet jämfört med LTE, där privat LTE i första hand riktar sig mot industrier och dess behov. Ett privat LTE-nät kommer att kunna koppla ihop olika tekniska utrustningar såsom sensorer, givare, eller automatiska fordon som finns i en fabrik, gruva eller annan industri. Lite förenklat kan privat LTE ses som en mer robust och säker variant av Wi-Fi och där privat LTE har ett flertal fördelar från LTE-standarden fast med inriktning på industriella tillämpningar d.v.s. Industrial IoT.

Med ett privat LTE-nät garanteras både bra radiotäckning och mobilitet i anläggningen. Nätet är ett lokalt nät och information mellan olika enheter skickas inte via externa publika mobiloperatörer utan stannar inom anläggningens produktionsnät. Detta är väldigt viktig och lösningen är lämplig för de fall där det ställs höga IT-säkerhetskrav på datakommunikationen.

Ett exempel på nätverksarkitekturen för LTE visas i Figur 10.



Figur 10. Exempel på nätverksarkitektur för privat LTE (9).

Enligt en preliminär bedömning kan denna trådlösa teknik vara lämplig för vattenkrafttillämpningar enligt Kategori 1 (inom kraftstation), men går även att applicera för Kategori 2 och 3 med olika typer av antenner för utökad radiotäckning.

5G

5G eller femte generationens mobilnät är den senaste 3GPP-standarden för mobilnät som ska täcka en rad applikationer förutom det som kallas förbättrat mobilt bredband. 3GPP release 15 har släppt första versionen av 5G-teknik som kallas Non-Standalone. I den releasen ingår tillämpningar för industrin. Genom att från början ha tagit hänsyn till industriella tillämpningar (IIoT) blir 5G-tekniken en stark konkurrent till alla andra radiotekniker som hittills har drivit fram IoT-tillämpningar.

Utöver den förbättrade datahastigheten, så kommer 5G att erbjuda en mycket lägre fördröjning (latency) jämfört med alla andra radiotekniker. 5G möjliggör en fördröjning som kan vara så låg som en millisekund (1 ms). Det finns behov av båda dessa nya egenskaper inom industri och E-hälsa för att kunna styra utrustningar som kräver väldigt låga responstider. 5G skapar även möjligheten att kunna driva egna privata mobilnät i t.ex. en industrianläggning, gruva eller hamn. 5G kommer att kunna erbjuda mycket högre kapacitet och kunna koppla upp tusentals batteridrivna sensorer, robotar, AGV:er och andra utrustningar. 5G kommer att öppna upp helt andra möjligheter för IIoT-applikationer som tidigare inte varit möjliga, t.ex. VR/AR.

På motsvarande sätt som att det finns privat LTE på marknaden idag, så kommer det inom kort att finnas utrustning även för privat 5G.

Med detta resonemang görs motsvarande preliminära bedömning att även 5G och privat 5G kan vara lämplig för alla vattenkrafttillämpningar, dvs Kategori 1, 2 och 3.

2.1.2 Utvärdering av trådlösa tekniker

Tabell 10 sammanfattar de olika trådlösa teknikerna som beskrivits ovan, samt hur väl respektive teknik är lämplig för applikationer för de tre olika kategorierna.

Tabell 10. Sammanställning av olika teknikernas tillämpning på de olika kategorierna.

Trådlös teknik	Kategori 1 (inom kraftstation)	Kategori 2 (upp till 500 meter)	Kategori 3 (över kilometer)
Bluetooth, BLE	X		
Zigbee, ZigbeePro	X		
Wi-Fi	X		
Wi-Fi HaLow	X	X	
WirelessHART	X		
LoRaWAN		X	X
Sigfox		X	X
GSM	X	X	X
LTE-M, NB-IoT	X	X	X
Privat LTE	X	X	X
5G	X	X	X

Sammanfattningen visar att 5G skulle kunna väljas som en lämplig kandidat för vidare utvärdering inom denna studie, men då tekniken fortfarande är relativt ny, så är det rimligt att tro att det kan vara mindre bra radiotäckning för 5G vid områden som är mindre tätbefolkade (vilket typiskt kan vara fallet för geografiska lägen för vattenkraftanläggningar). Inom några år så kommer sannolikt mobiloperatörerna ha kommit längre i sin utbyggnad av mobilnäten för 5G och då kan det bli aktuellt att utvärdera 5G för vattenkraften.

För GSM så förutspår mobiloperatörerna att GSM i Sverige kommer att fasas ut fram till och med 2025. En konsekvens av detta är att GSM inte bör införas inom vattenkraften i Sverige.

Sigfox har väldigt låg datahastighet och är inte lämplig för datahastigheter som är högre än 100 bps. Denna teknik bör därför inte användas inom vattenkraften, då den begränsade kapaciteten även begränsar mängden framtida tillämpningar.

Utifrån ovanstående resonemang så väljs därmed 5G, GSM och Sigfox bort.

För vidare utvärdering av återstående trådlösa tekniker så görs en jämförelse utifrån ytterligare relevanta parametrar. Denna jämförelse kompletterar tidigare nämnda parametrar med ytterligare parametrar som är av intresse för olika operationella scenarier, samt att icke-funktionella egenskaper såsom investerings- och underhållsaspekter inkluderas.

Sådana parametrar kan t.ex. vara energiförbrukning, störningskänslighet, IT-säkerhet, mognadsgrad samt uppskattad kostnad.

En sammanställning av ett större antal relevanta parametrar för de återstående trådlösa teknikerna visas i Tabell 11.

Tabell 11. Sammanfattning av fler relevanta egenskaper för ett urval av trådlösa tekniker.

Egenskap	BLE	Zigbee Pro	Wireless HART	Wi-Fi	Wi-Fi HaLow	LoRa WAN	LTE-M NB-IoT	P-LTE
Avstånd	150 m	150 m	200 m	100 m	1 km	>10 km	>10 km	>500 m
Kapacitet	2 Mbps	250 kbps	250 kbps	150 kbps – 7 Gbps	4 Mbps	11 kbps	6 Mbps	>5 Mbps
Energiförbrukning	Låg	Medium	Medium	Medium	Låg	Låg	Låg	Medium
Stabilitet	Medium	Medium	Medium	Medium	Hög	Hög	Hög	Hög
Störningskänslighet	Hög	Hög	Hög	Hög	Medium	Medium	Låg	Låg
Säkerhet	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Hög	Hög
Mognad	Hög	Hög	Hög	Hög	Medium	Hög	Hög	Hög
Batteritid	Lång	Medium	Medium	Medium	Lång	Lång	Lång	Medium
Kostnad	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Låg	Medium	Medium

I Tabell 11 påvisas det att BLE (inkl. Bluetooth), ZigbeePro (inkl. Zigbee), WirelessHART och Wi-Fi (inkl. Wi-Fi 6) har många likheter med varandra, t.ex. gällande räckvidd och vågutbredningsförmåga då dessa tekniker använder det öppna frekvensbandet 2,4 GHz (Wi-Fi använder även 5 GHz-bandet). Enligt Tabell 10 är dessa fyra tekniker även primärt indelade för att hantera tillämpningar i Kategori 1 (inom kraftstation).

Dessa tekniker fungerar bra i en öppen miljö, dvs i områden och miljöer där det inte finns tjocka väggar, tunga maskiner/turbiner, etc. som hindrar radiovågornas utbredning.

I en industrianläggning kan den elektromagnetiska miljön även vara okontrollerad vilket gör att störningskänsligheten är hög och att det kan bli svårt att säkerställa att radiosignaler på öppna frekvensband alltid kommer att nå fram.

Vidare visar sammanställningen att både säkerhet och batteritid kan vara begränsande faktorer.

Av ovanstående anledningar bör dessa tekniker primärt inte införas inom vattenkraften.

Genom urvalet i detta avsnitt så återstår ett fåtal trådlösa tekniker som anses vara bra val för applikationer inom vattenkraften; Wi-Fi HaLow, LoRaWAN, LTE-M / NB-IoT, samt privat LTE. Dessa tekniker är dels representanter för både egna nät (own) och operatörsdrivna nät (host), dels hanterar varje teknik två eller tre av de avsedda kategorierna, vilket ökar möjligheten till flera olika applikationer per vald trådlös teknik.

En mer detaljerad beskrivning av valda trådlösa tekniker ges i nästa avsnitt.

2.1.3 Detaljerad beskrivning av rekommenderade tekniker

Utifrån studiens syfte att hitta lämpliga trådlösa kommunikationstekniker för tre tänka generiska användarfall, så rekommenderas i första hand några trådlösa tekniker som anses vara intressanta för en djupare analys; Wi-Fi HaLow, LoRaWAN, LTE-M / NB-IoT, samt privat LTE (P-LTE).

Wi-Fi HaLow har bra utbredningsegenskaper och är ett alternativ för aktörer som vill skapa ett eget trådlöst nät för en anläggning och använda det fria ISM-bandet.

LoRaWAN-tekniken har bra räckvidd och vågutbredningsförmåga men är sämre i förhållande till LTE-M och NB-IoT när det gäller räckvidd och förmåga att klara svårare radiomiljöer. LoRaWAN har också lägre datahastighet i jämförelse med LTE-M och NB-IoT. Detta motiverar varför LTE-M och NB-IoT bör utredas vidare för tillämpningar inom alla tre kategorier

LTE-M finns redan tillgängligt som en tjänst hos alla mobiloperatörer i Sverige. Detta är en stor fördel jämfört med alla andra teknik som t.ex. LoRaWAN som oftast bara finns lokalt.

Privat LTE är en variant av LTE-tekniken med begränsad funktionalitet som i första hand är avsedd för industrianläggningar med fördelen att data behandlas lokalt och därmed inte skickas över det publika radionätet.

Nedan beskrivs LTE-M, NB-IoT, P-LTE, LoRAWAN och Wi-Fi-HaLow mer i detalj.

Säkerhet

När fler och fler IoT-installationer tas i bruk har det noterats att antalet attacker relaterat till dessa ökat och säkerhet är därmed en viktig aspekt att beakta vid val av konnektivitetlösning.

Generellt sett kan sägas ett det finns en skillnad mellan lösningar som i det fysiska lagret använder licensierat spektrum såsom LTE-M/NB-IoT och 5G och de som förlitar sig på olicensierat spektrum, där de senare är mer benägna att uppleva

effekter av radiomässiga störningar (så kallad jamming). De tekniker som valts här, LoRaWAN och Wi-Fi HaLow, som använder olicensierat spektrum har dock robusta modulationstekniker där bärarfrekvensen ändras och skillanden är ganska liten i förhållande till cellulära tekniker och skillanden i robusthet blir då mindre.

Samtliga tekniker i studien använder sig av 128-bitars kryptering (förutom 5G som kan stödja 256-bitars kryptering). Denna typ av kryptering anses säker även om det finns exempel på att nationella säkerhetsorganisationer lyckats knäcka algoritmerna. Den huvudsakliga skillnaden är hur krypteringsnycklarna distribueras.

I cellulära system finns en standard för hur kryptografiska nycklar ska hanteras och lagras på ett säkert sätt. Detta innebär att nycklarna hanteras på ett säkert sätt i tillverkarens datacenter, finns på ett SIM-kort som sätts in i t.ex. sensor eller givare samt provisioneras i operatörens HSS. Det är mycket svårt att extrahera nycklarna från SIM-korten. Inga nycklar utbytes heller i nätet då användarutrustningen ska ansluta till nätet (attach) utan beräknas i ändpunkterna.

LoRaWAN-protokollet finns i två versioner; v1.0 och v1.1. Den mest spridda versionen som är v1.0, har flera allvarliga säkerhetsrisker, dessa har till stor del korrigerats i v1.1 men fortfarande finns svagheter, framförallt i användarutrustningen som sällan lagrar krypteringsnycklar på ett säkert sätt.

Cellulära tekniker med SIM-kort anses därför säkrare (10).

Teknikoval 1: LTE-M, NB-IoT och P-LTE

För LTE-standarderna så har det på senare tid utvecklats några standarder för IoT-relaterade applikationer.

3GPP release 13 och release 14 har utvecklat de tillämpningar som kallas för LTE-M och NB-IoT. Huvudsyftet med dessa två kategorier är att kunna klara industriella applikationer och dess hårda krav på t.ex. kort responstid, lång batterilivslängd och god täckningsförmåga.

LTE-M är en kostnadsoptimerad LTE-teknik som arbetar med 1,4 MHz eller 5 MHz kanalbandbredd. Den har en rad olika egenskaper för att ge bästa möjliga batterilivslängd och datahastighet. Bland annat är dess uteffekt endast 0,1 W och datahastigheten är sänkt till runt 4 Mbps (DL).

LTE-M har också fullt stöd för mobilitet eftersom den hanterar hand-over mellan basstationer på samma sätt som vanlig LTE. Detta är viktigt när ett objekt rör sig mellan två punkter och passerar flera olika basstationers täckningsområden. En LTE-M-enhet klarar därmed en hand-over till en ny basstation utan att tappa uppkopplingen, vilket kan vara kritiskt för applikation med höga krav på att datapaket inte får förloras.

LTE-M har stöd för tal och klarar av att hantera minst 20 dB svagare signaler jämfört med vanlig LTE för mobilt bredband. Detta innebär att LTE-M uppnår längre räckvidd i jämförelse med vanlig LTE.

NB-IoT (NarrowBand) är den senaste utvecklingen inom LTE för industriella applikationer för mycket lägre bandbredd (180 kHz). Med NB-IoT uppnås batterilivslängder på 10 år. Datahastigheten är god med kapacitet upp till max

160 kbps (UL). En förbättring är längre räckvidd, som innebär bättre möjligheter att hantera svårare radiomiljöer såsom varierande terräng och penetration in i källare. NB-IoT klarar minst 30 dB svagare signal jämfört med vanlig LTE för mobilt bredband. Vilket även innebär ytterligare längre räckvidd även jämfört med LTE-M.

P-LTE är en slimmad version av LTE standard som är i första hand avsedd för industrianläggningar. Med ett privat LTE-nät garanteras både bra radiotäckning och mobilitet i en anläggning.

En annan viktig aspekt med P-LTE är att eftersom nätet är lokalt så kan information mellan olika enheter i anläggningen hållas lokalt och därmed kommer informationen inte att skickas via externa publika mobilnät utan stannar inom anläggningens produktionsnät. Detta är väldigt viktig för de fall då det ställs höga IT-säkerhetskrav på datakommunikation, t.ex. vid styrning av enheter inom anläggningen.

Teknikval 2: LoRaWAN

LoRaWAN är en smalbandig teknik som använder det fria ISM-bandet på 868 MHz. LoRaWAN möjliggör överföring av data över långa sträckor. Fokus för tekniken är på låg energiförbrukning och lång räckvidd, vilket medför att LoRaWAN är en teknik som är anpassade för IoT-tillämpningar med sensorer som har lång batteritid på upp till tio år.

LoRaWAN är utformad på IoT-tillämpningar och har en bred produktflora av sensorer. Beroende på datamängd, säkerhet och responstider finns en del olika tillämpningar för LoRaWAN. Med LoRaWAN kan man inte få någon hög dataöverföringshastighet.

Med LoRaWAN kan man skapa ett eget lokalt nät och hantera data lokalt. För annat fall krävs en molnlösning som drivs av tredje part.

LoRaWAN har inget stöd för mesh-teknik och inte heller något stöd för att repetera datapaket, dvs ingeas omsändningar om paketet blir felaktiga eller inte når fram.

LoRaWAN använder AES128-bitars krypteringsteknik för att säkerställa end-to-end-säkerhet, men eftersom LoRaWAN inte nyttjar SIM-kort så blir det enklare för illa sinnad tredje part att komma åt data som skickas över nätverket.

Teknikval 3: Wi-Fi HaLow

Wi-Fi HaLow är specifikt utformad med tanke på IoT-applikationer och bygger på standarden IEEE 802.11ah. En viktig fördel för Wi-Fi HaLow är att den är avsedd för fria frekvensband under 1 GHz, vilket innebär 868 MHz i Europa. Dess främsta fördelar är låg energiförbrukning, samt att den lägre frekvensen möjliggör längre överföringsavstånd och på ett bra sätt hanterar svårare radiomiljöer.

Wi-Fi HaLow kan ge en räckvidd på upp till 1 km och datahastigheter från 150 kbps till 4 Mbps. Dessa egenskaper gör att Wi-Fi HaLow är en mycket intressant teknik för IoT-applikationer. Det finns dessutom olika energisparlägen, samt att WPA3-kryptering används, så kommunikationen bör vara säker så länge man jämför med andra icke-SIM-korts-baserade trådlösa tekniker.

Med låg energiförbrukning och lång räckvidd är Wi-Fi HaLow väl anpassad för IoT-tillämpningar. Den är IP-baserad liksom andra Wi-Fi-varianter och har därför IP-nätverksförmåga för att kunna implementera effektiva IoT-lösningar. Dataöverföringshastigheten är dessutom fullt tillräcklig för många IoT-applikationer.

Wi-Fi HaLow anses därmed passa bättre för en IoT-applikationer i en anläggning i jämförelse med andra trådlösa tekniker som använder fria ISM-bandet på 2,4 GHz-bandet.

2.2 SENSORER OCH GATEWAYS

I detta kapitel görs en övergripande sammanfattning av sensorer och Gateways för de utvalda teknikerna LTE-M och LoRaWAN. Även WirelessHART-produkter har inkluderats då intervjuer med vattenkraftsbolag visar att sådana lösningar används. Utbudet för Wi-Fi-HaLow-produkter är litet och har därför ej kunnat studeras. Ytterligare exempel på sensorer finns i 65appendix.

2.2.1 Sensorer

Antalet sensorer med inbyggd trådlös teknik som skulle kunna användas i och utanför vattenkraftverk är idag mycket begränsad. Några tillverkare har identifierats genom sökverktyg, samt att tips på tillverkare har erhållits genom de intervjuer som genomförts.

LoRaWAN

I dagsläget är LoRaWAN troligen den teknik som det finns allra flest sensorer till som skulle kunna användas främst utanför kraftverket för damminstrumentering, samt mätning av vattennivåer i kringliggande vattendrag och sjöar. I övrigt kan nämnas att de flesta sensorer som finns idag är inriktade mot fastighets- och stadsautomation. Exempel på tillverkare av givare är Netvox och Sensing Labs.

WirelessHART

WirelessHART har också använts vid damminstrumentering men då krävs mer planering vid uppbyggnad av ett Mesh-nät då räckvidden är betydligt kortare än för LoRaWAN. WirelessHART har även använts för mätningar inne i vattenkraftverk. Tillverkaren Emersson har många processgivare som redan idag kan fås med WirelessHART.

LTE-M och NB-IoT

När det gäller sensorer baserade på LTE-M och NB-IoT så finns det t.ex. sensorer för fukt-, temperatur- och vibrationsmätningar.

Advantech WISE-4471 NB-IoT är en mät-/styr-enhet som kommunicerar via NB-IoT eller LTE-M1.

Efento har också olika typ av LTE-M/NB-IoT sensorer som täcker mätning av temperatur, tryck, läckage etc.

Det finns många tillverkare som tillverkar olika batteridrivna sensorer för LTE-M eller NB-IoT.

Om det finns specifika krav för en viss typ av sensor så finns möjlighet att skräddarsy sådana.

Hybridlösningar

I dagsläget, när det finns få sensorer med inbyggt trådlös teknik, så är det mycket intressant med enskilda sändare som har ingång för 4-20 mA. Till dessa sändare går det att ansluta vilken analog sensor som helst med denna typ av utsignal. Då detta är den allra vanligaste utsignalstypen idag, är det möjligt att använda sig av de sensorer som ändå används i verksamheten, men med fördelen att inte behöva dra fram kabel till dem för matningsspänning och kommunikation. Enheten vaknar upp och gör en mätning genom att lägga en spänning på den analoga givaren under kort tid. Hur ofta en mätning ska utföras kan ställas in. Detta gör också att ett mer komplett trådlöst system kan byggas redan nu även om det inte finns lämpliga sensorer med inbyggd trådlös teknik för alla mätningar som krävs vid en viss plats. Ytterligare en fördel med en separat sändare är att sensorn kan placeras t.ex. nere i en mätbrunn vid en fyllnadsdamm men sändaren kan placeras ovan jord för att få bättre signalstyrka,

Libelium är ett företag som har en intressant produkt där 4-20mA-givare kan kopplas in. Produkten kan väljas med följande olika radiotekniker och frekvenser:

- 802.15.4
- Zigbee
- 868 MHz
- 900 MHz
- Wi-Fi
- 4G
- Sigfox
- LoRaWAN

Dessa produkter skulle kunna användas för bygga upp trådlös kommunikation både i och utanför ett vattenkraftverk.

2.2.2 Gateways¹

En IoT-Gateway är en koncentrationspunkt i nätet för insamling och/eller föranalys av data från en eller flera sensorer/givare.

LoRaWAN

Det finns flera olika tillverkare av LoRaWAN-gateways, där EtherWan och Multitech är två bra exempel.

¹ Använder man privat LTE eller LTE-M-teknik behövs inga gateway. Datakommunikation sker direkt mellan sensorer och basstationer.

WirelessHART

För WirelessHART är det främst Emerson som har gateways.

LTE

Det finns en mängd olika gateways för LTE-teknik med dubbla SIM-kort vilket gör det möjligt att använda två operatörer i hot standby eller använda två operatörer parallellt för högre robusthet och hastighet.

Företaget Smartmotion har olika modeller av gateway/router som är anpassade för IoT-applikationer. Ett exempel är B+B SmartWorx SmartMotion som är en robust gateway baserad på 4G. Teltonika är en annan tillverkare som har 4G gateway/router för IoT-applikationer. Teltonika RUT950 är en robust 4G-gateway för industriella tillämpningar.

3 Referensfall från Vattenkraften

3.1 INTRODUKTION

Att använda trådlös teknik inom vattenkraftverk i Sverige är fortfarande inte vanligt men efter idogt letande identifierades till slut fyra respondenter som hade erfarenhet av trådlösa installationer inom vattenkraften.

3.2 DETALJERAD BESKRIVNING AV UTVALDA FALL

3.2.1 Jämtkraft och Fortum

Respondent

- Stefan Daubner, konsult och expert på dammätning (AFRY)

Syfte med projektet

I detta kapitel beskrivs en lösning som designats av AFRY och som driftsatts i både Jämtkrafts anläggning i Kattstrupeforsen, Östersund och Fortums anläggning i Krokströmmen, Härjedalen. I båda fallen är det liknande lösningar men den senare är lite större och längre. Syftet med båda installationerna är att mäta tryck och temperatur vid olika punkter i dammar dvs tillämpningar i kategori 2.

Tekniklösningar

Följande tekniker har använts i båda fallen av dammätning:

- Trådlöst nät: ett meshat nät bestående av fältnoder av tekniken WirelessHART.
- WirelessHART noder finns med batteri internt batteri, externt batteri eller solceller. Denna implementation var med Litiumbatterier som drev fältnoden och sensorerna.
- Sensorer: Endress+Houser (för temperatur- och tryckmätning av vatten). HART eller 4–20 mA givare vid mätpunkterna (hål i dammväggen).
- Sensorerna, placerade i mätrör ansluts trådat till en WirelessHART nod placerad på dammväggarna. Den senare ansluts till Gateway i tex en Dammkur (innehållande ström och nätverk). Därifrån förs informationen trådat till Fortums drift- och underhållscentral

Anledningen till att det blev just WirelessHART beror på att det inte finns så många mesh-nät att välja mellan i dagsläget och att det fanns goda erfarenheter gjorde att valet blev enkelt.

Det är också ofta väldigt dålig mobiltäckning vid dammarna och då fungerar inte LTE/GSM.

Idag så skickas data ca två (2) gånger per timme till Jämtkrafts driftcentral (mer sällan för Fortum) där informationen granskas manuellt.

Övriga erfarenheter och nästa steg

Jämtkraft och Fortum är nöjda med lösningarna ännu så länge. Anledningen till att man väntat så länge med att installerat den här typen av lösningar berodde på en viss teknikrädsla. Det fanns en viss oro över att jobb ska försvinna.

Fördelarna med de installationerna är flera jämfört med manuella metoder:

- Mer statistik kan enkelt samlas in.
- Driftsäkrare - pålitliga system där risken för felmätning är mycket mindre. Mer data för felhantering - AI och Machine Learning kan underlätta att finna fel på utrustningen i tid. Stora felkällor i dagens system. Det tar lång tid innan man upptäcker att givare mäter fel.

Nackdelar:

- Lite dyrare, men eftersom det fanns befintliga dammhål i just dessa vattenkraftverk så var själva installationen en mindre investering på 300 000 kr (inkluderar 10 mätpunkter).
- Mer komplicerat med trådlös teknik.
- Batterier behövs men livslängden på batterierna kan mätas. Dessa skickar hur många dagar som återstår på livslängden.

Sammanfattningsvis kan man säga att anläggningarna har byggt ett väldigt driftsäkert och prisvärt övervakningssystem med IoT och inga större problem har uppstått på vägen utan båda installationerna har genomförts smärtfritt och även underhållet har varit marginellt till dags dato. Tilläggas kan att man inte i något av projekten har ännu haft behov av batteribyte sedan starten (18 respektive 24 månader).

3.2.2 Électricité de France (EDF)

Respondent

- Gaétan Vivien, Senior IoT architect, provides monitoring consultancy services to powerplants within EDF.

Purpose with the projects

EDF considers digital monitoring as a survival strategy and has been very successful implementing many IoT projects over ten years' time using e.g. GSM, RTC and 2G/3G technologies.

The technical department handles the operation of the networks and acts as an internal consultancy firm and must find ways to streamline work processes to monitor the equipment cost effective. It is therefore of high importance that they keep their competitiveness and "edge".



Figur 11. Examples of IoT installations at EDF.

Technical solutions

EDF mentions ten IoT use case applications that have been carried out during the last years, ranging from proof-of-concepts to full installations at site (Figur 10). Table 12 and 13 list some technical data which has been used in these different projects.

Table 12. Examples of EDF hydro power projects.

Project	Monitor vibrations of rotating machines like turbines	Gaz analysis of transformer	Acoustic analysis of transformers or alternators	Displacements of a dam	Bathymetry
Distance from the power plant	Inside	Inside	Inside	Near	Near of few kilometres
Wireless technology	3G/4G	3G/4G	3G/4G	3G/4G	3G/4G
Type of sensors	Accelerometers and displacement sensors connected to a central unit	Gaz analyser	Acoustic sensors connected to a central unit	Tachometer	Sonar
Type of Gateways	Westermo or Teltonika Acoem	Westermo or Teltonika GE	Westermo or Teltonika GE	Westermo or Teltonika Deltalink	Westermo or Teltonika ITER
	3G/4G router-firewall	3G/4G router-firewall	3G/4G router-firewall	3G/4G router-firewall	3G/4G router-firewall

Why wireless?	Because not expensive, good availability, high speed, easy to use, possible to encrypt communications	Because not expensive, good availability, high speed, easy to use, possible to encrypt communications	Because not expensive, good availability, high speed, easy to use, possible to encrypt communications	Because not expensive, good availability, high speed, easy to use, possible to encrypt communications	Because not expensive, good availability, high speed, easy to use, possible to encrypt data
Why this project?	Detect problems on rotating machines to anticipate maintenance	Detect problems on transformers to anticipate maintenance	Detect problems on transformers to anticipate maintenance	Detect movements	To have information about topography
Result	Diagnostics og machines	Diagnostics and monitoring of transformers	Diagnostics of machines	Monitoring of dams	Quantity of sediments or too much vegetations
POC or production?	Full implementation	Full implementation	Full implementation	Full implementation	Full implementation
Success	Ease of use	Ease of use	Ease of use	Ease of use	Ease of use
Difficulties	3G/4G not available in some power stations so need sometimes to use cables and also huge amount of data sometimes	3G/4G not available in some power stations so need sometimes to use cables	3G/4G not available in some power stations so need sometimes to use cables and also huge amount of data sometimes	3G/4G sometimes too weak	3G/4G sometimes too weak

Table 13. Examples of EDF hydro power projects continued.

Project	Water height, temperature or turbidity	On board sensor on a rotating machine	Water height and temperature	Temperatures in penstock	Connected glasses for workers
Distance from the power system	Near or few kilometres	Inside	Near or few kilometres	Near or few kilometres	everywhere
Wireless technology	3G/4G and sometimes radio to extend a 3G network	Wi-Fi	Private LORA	Private LORA or operate LORA (Objenius)	3G/4G and WI-FI to extend 3G/4G
Type of sensors	Water level sensors	Vibration sensor	Water level sensors temperature probes	Temperature probes	Connected glasses
Type of Gateways?	3G/4G router-firewall radio modules based on EDF frequencies	Wi-Fi	LoRa gateway	LoRa gateway	3G/4G router
Why wireless?	Because not expensive, good availability, high speed, easy to use, possible to encrypt communications	Because use cables impossible	LoRa because no power	LoRa because no power	To be able to move around, i.e. mobility

Partners?	Westermo or Teltonika RadioCom for radio modules mobile operators like Orange	ACOEM for sensors	Libelium ST Microelectronics	Libelium ST Microelectronics	
Why this project?	Quality and quantity of water	Detect vibrations problems	Avoid manual measurements	Monitoring freezing in penstock	Help for operations and avoid business travels
Result	Forecasts about quantity of water	Enable confirmation that the function is acceptable	Models about the quantity of water during snow melting	Monitoring temperatures	Experts can help workers from office
POC or production?	Full implementation	Full implementation	POC then full implementation	POC then full implementation	POC
Success	Easy to use	Easy to use		New possibilities for measurements	
Difficulties	3G/4G signal sometimes too weak Need solar panels and batteries	Wi-Fi configuration	IOT is not so easy and needs certain skills if you want to create your own systems		Cyber security, cost of connected glasses

EDF classifies their networks in three types:

- Critical,
- Not critical and
- PC networks (i.e. non industrial network)

They never use wireless techniques for business-critical functions (i.e. safety functions or functions with a direct impact on production, for example, a function that can stop production automatically), hence never for control functions only for monitoring. All critical systems are controlled using cable network.

The wireless technology they use is mainly based upon 3G/4G because it gives good coverage, has high speed, is easy to use, is cost effective and has the possibility to encrypt the communication. It is also applicable in all application categories (1-3). More and more applications use LoRa technology because it can work with battery and enable the replacement of manual and/or very expensive monitoring.

Lessons learned and next steps

Important to note is that when the number of wireless installations increases and the number of different systems products also increases, the maintenance effort will grow logarithmically. EDF has therefore developed a number of standard “offerings” which are based upon a limited number of brands and technologies, and this implies that conscious decisions for new or changed offerings at power plants requires less of research.

As a conclusion, it is noted that EDF has a very impressive portfolio of IoT installations running live in hydropower stations, as well as a lot of research and Proof of Concepts (PoC) looking into how wireless techniques can be used in different future applications.

3.2.3 Statkraft

Respondent

- Andreas Fridh, digitalization & instrumentation ingenjör (Statkraft, Östersund)

Syfte med projektet

Företaget har drivit flera projekt inom trådlöst IoT, bl.a. inom LoRaWAN:

- Började med temperaturmätningar på vindturbiner för vindkraftkraft för ca 1,5 år sedan i Norge
 - × Testa kapacitet och överföringssäkerheten av LoRaWAN-nätet dvs testa olika
 - LoRaWAN Gateways och variera avståndet till sensorer för att undersöka täckning och kapacitet.
 - Testa olika LoRaWAN-sensorer som finns på marknaden. Man gjorde även initialt egna sensorer. Bred paljett finns testat: Tryck, temp, vindhastighet och nivågivare
- En fortsättning pågår nu i Sverige inom vattenkraft för kapacitet och överföringssäkerhet. Detta är fokus för fortsättningen av detta kapitel. Syftet med projektet
 - × Utvärdera möjligheten till trådlösa givare för att övervaka dammar och mätningar vid långa avstånd utomhus med låg samplingsfrekvens (tillämpningar i kategori 2 & 3). En av grundtankarna är att utforska förebyggande underhåll och ett av stegen är att visa värde och hitta de lågt hängande frukterna.

Statkraft har även en WirelessHART lösning för medel och långa avstånd för liknande vattenkraftstillämpningar som ovan, som varit i bruk en längre tid

- Radio-noden fungerar som brygga från tidigare 4-20 mA givare till styrsystem som tar in 4-20 mA eller RS485 givare
- Det finns även ett trådlöst projekt i Skjomen för att testa täckning vid audioövervakning.

Tekniklösningar



Figur 12. IoT-mätningar med LoRaWAN.

Följande tekniker har använts vid dammätning med LoRaWAN:

- Mätningar och applikation
 - × Dammsäkerhetstekniska och statistiska mätvärden för övervakning och analys av fyllningsdammar
- Arkitekturen bestod av
 - × LoRaWAN: Givare & GW
 - × Local Network Server (LNS, Semtechs benämning). Den hanterar trafiken från Gateway. Tolkar informationen och skickar även paket tillbaka till GW som vidarebefordras till LoRaWAN-enheterna i många fall.
 - × Encoder och koppling till databas för lagring
- Sensortyper
 - × Mätning av tryck, avstånd (ultraljud), temperatur & lufttryck.
 - × Håller just nu på att testa möjliga trådlösa LoRaWAN-sensorer på marknaden
- IoT Gateways
 - × Håller just nu på att utvärdera olika LoRaWAN Gateways, funderar på att testa andra alternativ
 - × Med LoRaWAN kan man ha flera Gateway i ett täckningsområde. Sensorn skickar till samtliga Gateways och alla signaler skickas till data analysfunktionen. Flera GW behövs i redundanssyfte för att hantera paketförluster.
 - × Om fler olika trådlösa tekniker ska används samtidigt kommer flera GWs att behövas. De flesta GW stöder bara en teknik. Tex kombinera mellan- och långdistans (WirelessHART och LoRaWAN)

Övriga erfarenheter och nästa steg

Den stora vinsten har varit att inse hur enkelt det var att komma igång med LoRaWAN och att det faktiskt fungerar.

- Drift- och underhållscheferna ser att det är billigt och Information och Kommunikationsavdelningen behövde inte lägga ner någon tid på att driva nätet.
- All data visas i kontrollrummet på en Dashboard.

I kraftstationer finns givare som ingår i kontrollutrustningen. Kontrollutrustning för kraftproduktion kräver hög driftssäkerhet och kända metoder för styrning och övervakning. Det finns inga reella fördelar idag att byta ut trådbunden utrustning som är kritiskt för produktion mot trådlösa alternativ.

Har tittat på andra tekniker som NB-IoT och Sigfox men kraftbolag har regulatoriska krav på t.ex. tillgänglighet. Det blir då problem när kraftbolagen inte äger infrastrukturen

- Drift och övervakning på ett säkert sätt går inte om Statkraft inte kan åtgärda fel på infrastrukturen med egen personal, reservdelar mm.
- Svårt att använda samma system för kritisk/känsliga och mindre kritiska/känsliga mätvärden.

Problem som måste studeras och lösas:

- LoRaWAN stödjer inte mesh-teknik. Då sensor inte har fri sikt till GW, tex bakom ett fjäll så måste signalen gå via mellanhopp. Lösningar finns, men oftast är det geografiska problem som behöver lösas för att klarar detta. Detta måste hanteras från fall till fall beroende på lokalisering och möjligheter till kraftmatning

3.2.4 Skagerak Energi



Figur 13. Mätstationer i Dalfoss och Ramsvann.

Respondent

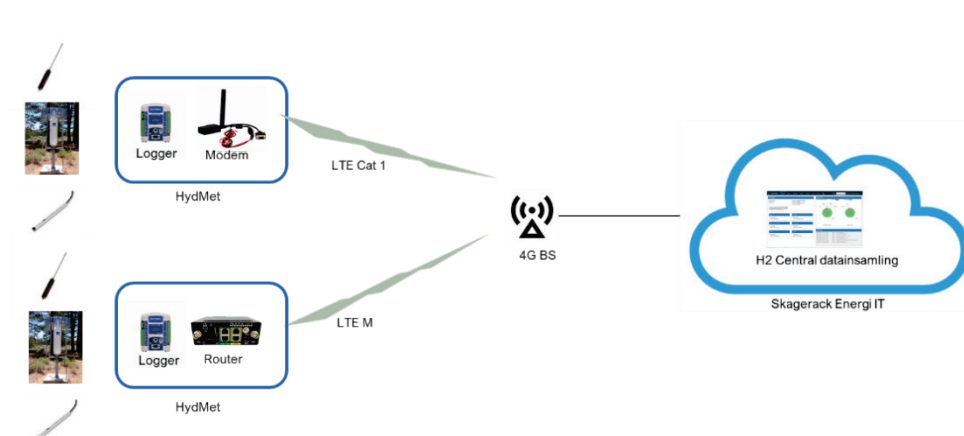
- Mads Nielsen, elektroingenjör (Skagerak Energi, projekt och teknologisektionen)
- Truls Ditlefsen, system och teknikingenjör (Skagerak Energi)

Syfte med projektet

Projektet drevs av divisionen Energidisponering och Handel vid Skagerak Energi vars fokus var installation av fältstationer som mäter vattennivåer och vattenflöde i dammar, reservoarer och floder samt väderstationer placerade i och runt dammar och några kilometer bort (Figur 12, tillämpningskategori 2 & 3). Syftet är att samla in vattennivåer och data från vattendrag för att få input för att kunna göra beräkningar enligt inflödesmodeller och ställa prognoser. Med den informationen finns bättre förutsättningar att förutsäga tex elpriser och även undvika översvämningar. Mäta vattennivåer och vattenflöde krävs även av de norska myndigheterna (NVE).

Tekniklösningar

Skagerak har jobbat med en teknikpartner, Volue Industrial IoT (se vidare beskrivning i kapitel 5.2.1), för att designa lösningarna, Figur 13.



Figur 14. Skagerak Energis arkitektur för datainsamling från mätstationer.

Följande tekniker har använts vid dammätning:

- Sensorer:
 - × Tryck: OTT PLS SDI-12, GE Druck
 - × Nederbörd: Genor T-200B
 - × Temperatur: Olika platina sensorer (PT 100)
 - × Sensorerna ansluter till dataloggern på olika sätt beroende på avstånd (mätpunkt till logger). Om avståndet är
 - <50 meter så används SDI-12,
 - >50 meter SDI-12 över RS485.
 - 4-20 mA används också på vissa platser, men Skagerak föredrar SDI-12
 - × Sensorer hämtar ström från HydMet-skåpen
- Trådlöst nät (4G, två fall):
 - × 4G modem Sierra Wireless 7600 (LTE Cat-1 B3, B8, B20, på platser utan kraft) :
 - × 4G Router: Cisco IR-807 (LTE-M, på platser med kraft)
- Datalogger - styr när sensorn ska prata och skickar data till centralservern, drivs av batterier och solceller (fungerar som PLC):

- × Sutron xLink500 (billig men är inte kompatibel med alla modem)
- × Volue SM5059
- Fältstation: HydMet innehåller dataloggers, routers, modem etc (Figur 14).
 - × Batteridrivna HydMet-skåp brukar innehålla ett batteri på t. ex. 12V 120Ah som laddas av en solcellspanel. Exakt vilket batteri som dom innehåller beror på hur dom är utrustade men dom ska klara 2-3 månader utan sol om mätstationen skulle vara placerad på en plats med lite sol på vintern.
- Skagerak Kraft har i dag 77 mätstationer, med ca. 140 vattennivåsensorer, 50 temperatursensorer och ca. 5 st mätstationer för nederbörd.



Figur 15. Innehåll på HydMet-skåp med batteridrivna och kraftdrivna loggar.

För 4G använder Skagerak COM4 som leverantör, där all HydMet-utrustning har ett eget APN med fasta IP-adresser i ett separat slutet nätverk. Skagerack har ca 2000 st IP-adresser.

COM4 använder Telenors nät, och ICE:s nät om globala SIM-kort används.

Om 2G används skickas data via Telenors nätverk (GSM / GPRS) eller Telia.

Övriga erfarenheter och nästa steg

Hela projektet med utrustning och arbete har kostat ca 200 000 NOK. Skagerak Energi anser att det blev för dyrt och pekar på att specifikt datalogger är dyra (30-50 000 NOK).

Förutom priset är det mest problematiska att installera sensorerna i vattenmagasinen och ibland får man gå långt ut för att kunna installera dessa, som ska vara 0,5 meter under den lägsta vattennivån.

Nästa steg för Skagerak Energi är att titta närmare på LoRaWAN för platser där det inte finns täckning med LTE.

3.3 SUMMERING OCH ÖVERSIKT AV REFERENSFALL

I Tabell 14 finns en sammanställning av de tekniska detaljerna från referensfallen i kapitel 3.2. Sammanställningen är gjord utifrån de tre kategorierna för olika typiska tillämpningar inom vattenkraften och sammanställer val av trådlös teknik, typisk sensor, samt övrig nödvändig utrustning för överföring av data.

Tabell 14. Översikt av referensfall från vattenkraften.

Vattenkraftverk	Fortum och Jämtkraft	EDF	Statkraft	Skagerak Energi
Mätområde inuti kraftverket				
Trådlös teknik		3G/4G Wi-Fi		
Sensor		Vibrationer (ACOEM), akustik, gas, temperatur, acceleration (Westermo och Teletonika)		
Övrig utrustning		3G/4G router-firewall		
Mätområde dammar				
Trådlös teknik	WirelessHART	3G/4G Privat LoRa	LoRaWAN	LTE
Sensor	Temperatur och tryck (Endress + Houser)	Varvtalsmätare, sonar, vattennivåer, temperatur (Westermo och Teletonika)		Tryck, nederbörd, temperatur (Volve, fd Scanmatic)
Övrig utrustning	Mesh-nät	3G/4G router-firewall LoRa-router		Datalogger
Mätområde några kilometer bort				
Trådlös teknik	WirelessHART	3G/4G Privat LoRa		4G LTE (Sierra wireless eller Cisco IR-807)
Sensor	Temperatur och tryck (Endress + Houser)	Sonar, vattennivåer, temperatur (Westermo och Teletonika)		Tryck, nederbörd, temperatur (OTT PLS SDI-12, Genor T-200B Nedbørsmåler , OTT Pluvio och PT100)
Övrig utrustning	Mesh-nät	3G/4G router-firewall LoRa-router		Datalogger (xLink 500)

Ingen av våra respondenter ser att de trådlösa näten idag är tillräckligt säkra och robusta för att kunna användas för styrning av kritisk utrustning, utan de används

i huvudsak för övervaknings- och underhållssyfte, dvs. mätning av vibrationer, tryck, temperatur mm.

De allra flesta installationerna av trådlösa system i vattenkraften hittar vi inom området dammätning. På grund av dammarnas placeringar är det ofta dålig täckning med LTE/GSM och i dessa fall används tekniker som LoRaWAN och WirelessHART. Systemen upplevs i de flesta fall som billiga, enkla att installera och driftsäkra om man jämför med manuell dammätning, som både är dyrt och där det alltid finns stora risker för felmätning.

Svensk vattenkraft har inte kommit så långt inom detta område, utan de projekt som finns har endast pågått ett eller ett par år. Våra respondenter ser alla en stor och hittills outnyttjad potential i det insamlade data. På flera vattenkraftverk pågår en mängd aktiviteter för att lära sig mer om vad detta data kan ge i form av prediktivt underhåll med hjälp av AI mm.

Flera av respondenterna har uttryckt att tekniken och pengarna finns, men att den stora anledningen till att det går trögt att komma igång beror på att det finns en stor oro inom organisationerna för att tekniken ska ta över arbetsuppgifter och att det i en förlängning finns en risk med att personal kan förlora sina jobb.

EDF är ett av Europas största energibolag och har drivit digitaliseringsprojekt inom trådlös kommunikation i mer än tio år. Dom ser det som en strategi för att behålla sin position på marknaden genom att kontinuerligt sänka kostnaderna och samtidigt behålla den höga tillgängligheten som krävs för energibolag. AFRY finner det troligt att även Vattenkraftsbolag i Norden som tidigt använder sig av liknande strategi skulle kunna få liknande fördelar.

EDF har nu även valt att installera privata LTE nät i alla sina anläggningar tillsammans med Ericsson (11). Ett syfte med detta är att garantera säker och robust uppkoppling vid alla sina 56 kärnkraftverk. Avsedda tillämpningar är för drift, underhåll, ökad anläggningsprestanda och logistik.

4 Referensfall från andra industrier

4.1 INTRODUKTION

Detta kapitel beskriver en sammanställning av liknande projekt inom andra industrier med liknande utmaningar där trådlös kommunikation har använts för att samla in mätdata.

4.2 DETALJERAD BESKRIVNING AV UTVALDA FALL

4.2.1 Kristianstads kommun och C4Energi

Respondenter

- Magnus Lindgren, arbetar med tillskottsvatten (Kristianstads kommun)
- Henrik Stenberg, arbetar med LoRaWAN (C4Energi)

Syfte med projektet

I Kristianstad använder man IoT för att mäta tillskottsvatten (svarar mot tillämpningskategori 3). Tillskottsvatten är det vatten som inte bör komma till reningsverket som t.ex. regnvatten och smältvatten. Alla kommuner har krav från Naturvårdsverket att mäta bräddningar. Detta för att t.ex. förhindra att orenat vatten rinner rakt ut i en badplats. Det är dessutom mycket dyrt och tidskrävande att göra dessa mätningar manuellt. Det kostar lika mycket att rena regnvatten som avloppsvatten. Figur 15 visar en installation av bräddmätare och dess omgivning.



Figur 16. Installation av bräddmätare (Foto: Magnus Lindgren).

Innan projektet startade gjordes en förstudie och ett pilotprojekt med ca 50 st sensorer. I dessa projekt mättes följande: vattendjup (vattennivå) i vattendrag och liknande, vattennivå i rör (ultraljud), samt strömning i rör (flödesmätning). Figur 16 visar olika typer av mätare som används för regn- och grundvattenmätning.



Figur 17. Regnmätare som sitter monterad på Rådhuset Skåne Kristianstad (vänster). Grundvattenmätare som sitter placerad i en provbrunn där kommunen tidigare lodat manuellt med 3-månaders intervall (höger). Foto: Magnus Lindgren.

Ett kommersiellt projekt startade under våren 2021. Detta projekt drivs med stöd från VINNOVA. Planen är installation av ca 500 sensorer i hela Kristianstad. Det blir samma typ av mätningar som i pilotprojektet, inklusive regnmätare och grundvattenmätare för att beräkna tillströmning av vatten

Tekniklösningar

Enbart trådlösa mätningar med batteridrivna sensorer. Följande tekniska komponenter har använts:

- Trådlöst nät: LoRaWAN. Energibolaget (C4 Energi) har byggt ett kommundäckande LoRaWAN-nät som används. Utbyggnad av nätet har pågått i ca 3 år, och nu har man i stort sett full täckning av kommunen utomhus. Val av trådlös LoRaWAN teknologi var baserat på:
 - × Energibolaget och kommunen ser att det kommer att komma ut många sensorer för denna typ av övervakning men också andra tillämpningar som parkering, övervakning mm där man inte har fast anslutning eller tillgång till el.
 - × Enkelt och billigt att komma igång
 - × Bra tillgänglighet, räckvidd, hög penetration. C4 har byggt
 - 8 Gateways (varje Gateway har täckning för ca 15 km (om inget skymmer)
 - Kristianstad tätort har 3 GW, nätet byggs med överlapp så fri sikt ska finnas till någon GW från varje sensor.
- Sensorer:
 - × Tryck: Decent lab
 - × Regnmätning: Scada

- × Sensorerna rapporterar 1 ggr / timme men är konfigurerade att mäta mer frekvent när stora förändringar sker dvs sensorerna har en viss intelligens för att spara på batteriresurser
- × Sensorn skickar ut mätsignaler, en eller flera GW fångar upp signalerna och skickar till Back-End (BE) som sorterar och analyserar mätningarna. Dvs en sensor är inte kopplad till en speciell Gateway och dubletter av mätvärden sorteras bort i BE
- Gateway: Kerlink
- BE serverna för dataanalys inhyrda hos Cloud-leverantören CibiCom.

LoRaWAN har en del datapaketförluster och detta löses genom att skicka paketet flera gånger efter varandra. I dag finns ca 50 sensorer utplacerade i staden för att mäta regnnivåer, pH, tryck, och bräddningar. Ofta sitter sensorerna placera i nedgrävda rör. Batterilivslängden är beroende på hur sensorerna placeras. Blir det en bra placering kan man knappt se att batterinivån sjunker. Radiomässiga hinder, såsom stora järnlock, ökar energiförbrukningen och då kan det finnas behov att borra ett hål och skicka upp en antenn eller koppla till en extern antenn via koaxialkabel. Batteriåtgången påverkas också av hur mycket data som skickas. Avståndet från sensorerna till LoRaWAN-nätet varierar från 10 meter till 10 km.

Övriga erfarenheter och nästa steg

Grundtanken är att kommunen ska kunna göra proaktiva insatser istället för reaktiva och därigenom spara mycket pengar. Klassisk flödesmätning kostar runt 250 000 kr men med hjälp av IoT kan man sätta upp sensorer för ca 3 000-6 000 kr per styck. C4Energi äger och driver LoRaWAN-nätet och Kristianstad kommun äger sensorer och data. Man har sett indikationer på att en ökad kontroll över tillskottsvattnet innebär mindre behov av att bygga reningsverk i framtiden.

Nästa steg är att utöka antalet sensorer till 500 st och även börja titta på analys av data med t.ex. AI.

C4Energi, som äger nätet, menar att tekniken inte är problemet utan det är att hitta de användningsfall som verkligen väcker intresse samt resulterar i god marknadsföring.

LoRaWAN passar inte för inomhusgivare i kraftstationer då de använder sig av ISN-bandet som är reglerat av PTS så att man bara får sända en viss tid per timmen. Om man ska sända så ofta som en gång per minut eller sekund kommer man att spräcka tidsbudgeten som man har tillgodo.

4.2.2 Södra cell

Respondent

- Thomas Håkansson, Digitalisering och affärsutvecklare (Södra Cell)

Syfte med projektet

Södra Cell har tre massabruk i Värö, Mörrum och Mönsterås och 2019 startade man ett projekt för att utföra trådlösa vibrationsmätningar. Målsättningen med

hela projektet är att få en bättre framförhållning och minska antalet haveri med 25%. Inom skogsindustrin finns även riktlinjer för nivåer för vibrationer.

Tekniklösningar

Följande tekniker har använts:

- Trådlöst nät: LTE-M (Telia)
- Sensorer: Vibration och temperatur (SPM Instrument)
- Analysverktyg: Condmaster Ruby (SPM Instrument)

På Södra Cell har man dragit slutsatsen att LTE-M (4G) är den enda möjliga tekniken då kapaciteten för NB-IoT inte räckte och att Wi-Fi inte är möjlig i den miljö som ett massabruk innebär.

Sensorer från SPM valdes då dom hade en Wi-Fi-variant som Södra Cell provat tidigare. Ingen lämplig LTE sensor hittades, så det såldes in till SPM som ett litet steg att gå över till LTE-M. Figur 17 visar sensor och antenn (blank cylinder, svart antenn, mitt i bilden).



Figur 18. Trådlös vibrationssensor från SPM på en MC-pump i blekeriet på Södra Cell i Mönsterås.

Även Telia har varit involverade i projektet då Södra Cell redan hade ett Enterprise-avtal med dem.

Utrustningen som Södra Cell har klassas i tre nivåer:

- Klass A (ca 10% av utrustningen), Processkritisk utrustning med hög säkerhet och mätfrekvens på ca 1 s
 - × Här används inte trådlös teknik pga. säkerhet och att inte batterilivslängden blir tillräcklig.
 - × Turbiner, generatorer och annan utrustning med kritisk funktionalitet.
- Klass B (50%) och Klass C (40%). Mätintervall ca 1 ggr/dygn initialt.
 - × Här körs främst LTE-M
 - × Försök har även gjorts med NB-IoT och Bluetooth
 - Datamängden är för stor för NB-IoT.
 - Enklare mätningar på vissa ställen där många motorsensorer finns görs med Bluetooth och GW. Bra i miljö med många objekt på liten area.
 - × Kan ej bygga Wi-Fi-nät i fabrikerna då de är alltför stora och komplexa, med mycket betong och metall.

De idag totalt 45 sensorerna sitter på pumpar och annan mekanisk utrustning och är uppkopplade med LTE-M från Telia. Tanken är att ersätta handhållna instrument för vibrationsmätningar där man tidigare haft ronderingar med 4, 6 och 8 veckors intervall till att nu göra en (1) mätning per dygn. Kravet på sensorerna är fem års livslängd med batteridrift (1 mätning / dygn). Stresstester indikerar en livslängd på ca 7-8 år.

Övriga erfarenheter och nästa steg

Kostnader

Södra Cell betalar Telia för den datavolym man använder (en abonnemangstjänst) samt för givarna, kostnad ca 3000-5000 SEK/st. En månads data genererar ca 7-8 MB. Datat som avläses är vibration (treaxligt) och temperatur.

I själva projektet har SPM tagit sina utvecklingskostnader och Telias avdelning X har tagit sina kostnader, men Södra har tagit del av kostnaderna för att förstärka nätet med extra master och förstärkt redundans för att få ett robust nät med bra täckning inomhus.

Dataanalys

Södra Cell jobbar för närvarande mycket med dataanalysen med speciellt fokus på trenduppbyggnaden för att kunna förutse vilka frekvenser som orsakar vilken typ av störning på maskinerna. Idag finns det en analysserver per site (on-prem) men i framtiden planeras för en central lösning i molnet (t.ex. MS Azure).

Den stora vinsten Södra som ser med trådlöst är att man slipper göra manuella mätningar och får in data med tätare intervall. Vilket innebär en mycket bättre möjlighet att prediktera fel och när service på maskinerna behöver utföras.

Nästa steg

För framtiden planerar Södra Cell för följande:

- Undersöka hur säkerheten kan höjas för att koppla upp t.ex. fordon
- Under våren 2021 kommer ytterligare 1000 sensorer att kopplas upp. I framtiden kan det bli upp till ca 5-6000 mätpunkter i fabrikerna.

- 5G kommer att tillämpas när det blir moget

4.2.3 Kärnkraften i USA

Respondent

- Fredrik Bengtsson, sektionschef El-automation (AFRY), tidigare anställd på Ringhals.

Bakgrund

Våren 2020 åkte en delegation från Energiforsk till USA för att öka kunskapen om möjligheter och utmaningar kring trådlösa installationer genom att studera amerikanska kärnkraftsapplikationer, se Energiforsk Report 2020:683 (12).

Tekniklösningar

De tekniska lösningarna som användes i amerikanska kärnkraftverk var:

- Wi-Fi - Används för administrativt arbete som elektroniska arbetspaket och även för anslutning av kameror, sensorer etc.
- Distribuerat antensystem (DAS) - Traditionell kommunikationsutrustning som används för anslutning av olika typer av sensorer och applikationer.

Sensorer:

- Vibration (Petasense)
- Trådlös mätning (Cypress)

Övriga erfarenheter och nästa steg

Under resan besöktes organisationer, energiföretag och leverantörer. Gemensamt för alla var att kärnkraftindustrin måste sänka sina kostnader för att vara konkurrenskraftiga på marknaden.

En gemensam nämnare var viljan att digitalisera och att nyttja trådlös teknik. En förutsättning för att nyttja denna nya teknik är att det finns en infrastruktur på plats. Det finns inte en lösning som passar alla företag, utan detta måste analyseras utifrån förutsättningar som finns på respektive företag eller anläggning. Olikheter i marknader och vilken infrastruktur som finns installerad kan påverka den tekniska lösningen. En del företag vill nyttja kabelanslutna givare medan andra vill nyttja Wi-Fi eller DAS. Vilken strategi som väljs måste bedömas utifrån förutsättningar och möjligheter som finns på anläggningarna.

Mer mätdata kan innebära att kraftverken kan förändra underhållsarbetet till ett mer tillståndsbaserat underhåll istället för tidsbaserat underhåll.

Etablering av övervakning och diagnostikcenter, där all tillgänglig mätdata för anläggningen/företaget samlas och analyseras, kan förbättra tillgänglighet och minska produktionskostnaden.

4.2.4 Vattenfall (Ringhals & Barsebäck)

Respondent

- Andreas Björklund, Vattenfall. Strategisk chef för utveckling av Ringhals och Barsebäck under deras livscykel. I detta arbete ingår digitalisering som ett delområde.

Syfte med projektet

Ringhals är en gammal anläggning, från tidigt 1970-tal, i stort sett bevarad i originalskick även om vissa maskiner är utbytta. När Ringhals byggdes var inte mättekniker utvecklade för prediktivt underhåll, och insamling av mätdata från maskiner i kärnkraftverken sker just i stor utsträckning med trådade signaler som samlas in till olika system för analys. Anläggningen mäter bara grundläggande data, och behöver nu utöka mängden mätpunkter för att kunna implementera proaktivitet i sitt underhåll (tillämpningskategori 1). Projektet är på planeringsstadiet.

Huvudsaklig förväntad vinst med att implementera trådlös teknik är att slippa åka ut till alla mätare och läsa av dessa.

Tekniklösningar

Kärnkraften är sen med introduktion av trådlösa lösningar, och jobbar med ett begrepp som kallas Robust Teknologi, vilket innebär att övriga industrin bör ha tillämpat tekniken i många år innan den kan användas i kärnkraftverk.

Projektet som dom nu startat är konstruktion av ett storskaligt industriellt Wi-Fi-nät som Vattenfall ska äga och driva själva. Vattenfall vill inte vara beroende av publika operatörer och inte heller dela med sig av data. Vattenfall tittar brett nu och de måste vara trygga med de leverantörer som ska väljas.

Tre aspekter att ta hänsyn till då trådlösa nät byggs:

- Säkerhet – IT-säkerhet och Informationssäkerhet. Främst "Antagonism" dvs att någon skulle kunna ta sig in i nätverket och skapa korrupta mätdata. Manipulerat mätdata skulle kunna skapa riskabla situationer pga. felaktigt grundade beslut. Risker inom informationssäkerhet mindre, ser inte att någon skulle vara intresserade av att känna till t.ex. temperaturen på ett visst lager.
- Miljö – tillverkarnas utrustning måste installeras korrekt och följa alla regler angående t.ex. strålning.
- Vedervågning, den installerade radioutrustningen får inte riskera att påverka annan utrustning i kärnkraftverket.

Insamling av data

- Vattenfall kommer endast att använda det trådlösa nätverket för insamling av mätdata, d.v.s. ingen styrning av kritisk utrustning. Datat kommer att användas för att bygga upp kunskap om prediktivt underhåll av komponenter, system och anläggningsuppföljning.
- Initialt kommer i första hand mätning av vibrationer på alla maskiner med roterande delar av dignitet att implementeras. Det kommer att ge första

signalen om något är på väg att gå sönder. I ett senare skede omfattas även transformatorer och analys av gaser, temperaturer mm.

- Viktigt att all data är kvalitetssäkrad då den kan vara föremål för beslutsfattning. System som analyserar metadata innan det levereras till analysystemen måste finnas.
- Viktigt att bygga starka Dashboards för att visa "Är-läge" och "Bör-läge", samt när åtgärder bör vidtas.
- Dataanalys kommer troligen ske decentraliserat i respektive kärnkraftverk.

Övriga erfarenheter och nästa steg

Vattenfall har så pass stor och bred organisation – processnära IT och administrativ IT – att dom kan driva arbetet med att utveckla lösningen själva, men kan behöva ta stöd utifrån inom vissa områden. Vattenfall har t.ex. lagt ett år på att analysera säkerhetsfrågor där externa IT säkerhetsexperter deltagit.

- Digitalisering drivs som strategi från ledningen.
- Ledningen ser potentialen men transformationen måste paketeras på rätt sätt så att man kan ta små steg och känna av att man får de effekter som man räknat med stegvis. Får inte bli alltför storskaligt direkt.
- Inte alltid lätt att hitta business cases för att motivera investeringarna. Därför tänker man börjar i mindre skala och jobba i korta cykler.
- Motiv för digitaliseringen är kopplat till övergripande strategisk målsättning.
 - × Säkerhet och tillgänglighet. Nättillgängligheten förväntas ligga på 100%, så det är viktigt att ha ytterligare anläggningsinsikter för att kunna förutse underhåll i syfte att undvika oplanerade stopp av maskiner och utrustning.
 - × Attraktivitet, att kunna använda de nya möjligheter som finns.

Vattenfall har även studerat lösningar baserat på publik mobiltelefoni, men fördelen med Wi-Fi, är att man kan begränsa det trådlösa nätverket till den egna anläggningen. Vattenfall har bl.a. tittat på andra kärnkraftverk som kommit längre och har det i drift på sina anläggningar idag. Vattenfall har även krav på att:

- Följa mogna tekniska standarder.
- Endast använda teknik som det finns väldokumenterad användning av i liknande industrier.
- Lösningen är robust.

5G är intressant då det ska vara möjligt att kunna segregera nätet för användning för industrin, men det är för tidigt ännu att använda inom kärnkraften.

Teknisk plan

- Initialt har man gjort piloter med trådlös Wi-Fi-överföring.
 - × Testat vibrationsmätningar för att se att det fungerar.
- Man har jobbat mycket med EPRI som är organisation som testar givare av olika fabrikat i olika miljöer. Mycket gammal utrustning kan behöva avskämmas för att vara säkra på att inte störas.
- Stegvis implementationsplan

- Steg 1: Fokus att först bygga upp nätets accesspunkter, routers och Gateways. Förhoppningsvis klart inom ett år.
- Steg 2: De viktigaste mätningarna påbörjas (vibration)
- Steg 3: Framtida applikationer som beaktas
 - × Trådlösa kameror
 - × Positionering av utrustning och människor

4.2.5 LKAB

Respondent

- Håkan Tyni, Cybersecurity and Enterprise Strategist, Digitalisation & IT

Syfte med projekten

LKAB var tidigt ute med digitalisering, redan på 70-talet utvecklades system för autonoma fordon. Idag finns uppkopplade mätsensorer över hela gruvområdet, både nere i gruvan, ovan mark i dammar och inom verken. Dessa sensorer är uppkopplade både med fiber och trådlös teknik (LoRaWAN och Wi-Fi).

Tekniklösningar

De trådlösa tekniska lösningarna som användes på LKAB är:

- Wi-Fi – Användes främst nere i gruvan men installeras även i produktionsanläggningarna ovan jord. Man håller på att uppgradera till det nya, säkrare och snabbare Wi-Fi 6.
- LoRaWAN – Används både nere i gruvan och ovan mark.

En gruva är en dynamisk miljö och nätet behöver monteras, demonteras och uppdateras kontinuerligt för att följa produktionen. Idag finns över 4000 Wi-Fi-accesspunkter (ungefär lika många finns i Bolidens gruvor) och det finns täckning allra längst ner i produktionsfronten i gruvorterna. Alla maskinerna och självkörande fordon (lastbilar, tåg) är uppkopplade för att positionsbestämma dem, men även för att kunna göra olika beräkningar (tex hur mycket malm som brutits för att veta då man ska skicka tåg till lastplatserna i schakten). Det finns även vissa maskiner (förarlösa tåg och lastmaskiner från t.ex. Sandvik och Epiroc) som man styr via Wi-Fi.

Alla anställda har mobiltelefoner och all röstkommunikation sker via detta Wi-Fi-nät eller mobilnät som finns i kontor och verkstäder. Wi-Fi-sensorer används begränsat pga. av hög strömförbrukning som kräver spänningsmatning. Väldigt få sensorer stödjer certifikathantering för anslutning till Wi-Fi-nätet. I en enterprise-miljö vill man undvika Wi-Fi-anslutning via lösenord.

LoRaWAN används både i gruvan och ovan mark för att:

- Det är energisnålt, batterierna räcker i flera år.
- Vågutbredningen är mycket bra i tunnlar.

Nackdelen är att:

- Man kan inte styra något då tekniken är för långsam och i princip bara kan användas för att läsa in data.
- Tekniken inte håller tillräckligt hög säkerhet då den inte stödjer certifikatteknik, så att personal måste knappa in lösenord, vilket LKAB vill undvika att hantera.

Totalt har LKAB ca 30 stycken Gateways, i Kiruna har man fem stycken ovan jord, man har även Gateways i Narvik, Svappavaara, Malmberget, Gällivare och Luleå. Tekniken används på prov i gruvan för gasmätning men främst över jord vid bland annat följande:

- Dammövervakning, för mätning av temperatur och vattennivåer
- Väderstationer

Totalt finns ca 300-400 givare av olika sorter och tillverkare. Utveckling av givare har bl.a. gjorts med lokala bolag som anpassat olika givare. Kostnaden har ansetts låg för detta.

Den största vinsten med LoRaWAN är att man kan mäta oftare (med p-t-p-riktade mobila länkar tog man ett mätvärde i veckan, nu har man ökat till ett mätvärde i timmen), vilket medför att det blir högre kvalitet på analys och utvärdering av mätdata (som lagras i en IoT-databas.) En annan vinst är att när data samlats in i databasen finns den lagrat centralt och alla har tillgång till mätvärdena. Slutligen har det blivit billigare jämfört med att förlägga optisk fiber och installera kraft till alla mätpunkter.

LoRaWAN-nätet används även av staden för övervakning av fastigheter (t.ex. värme).

Övriga erfarenheter och nästa steg

LKAB har en IoT-databas (leverantör Aspencech IP 21) som installerade 1997 och där finns all data tillgänglig från alla anläggningar. Där läses 45 000 mätvärden in var 30:e sekund (det mesta kommer från produktionsanläggningarna – d.v.s. sensorer som är trådade) och det går att återskapa data från 20 år tillbaka i tiden. Alla applikationer pratar med denna databas som är byggd enligt konceptet "öppen data", tillgänglig för hela LKAB. Idag finns 800 samtidiga användare till databasen. Ett exempel är en applikation som alla anställda har installerade på sin mobil och som visar hela produktionskedjan – från gruvan till fartyget som transporterar järnmalmprodukterna till slutkund.

LKAB tittar på både 5G och NB-IoT men har ännu inte hittat de användningsfall där 5G:s fördelar överväger nackdelarna. 5G är en teknik som fortfarande är i en tidig fas. Dagens mobilnät har för dålig tillgänglighet i området och 4G har för dålig upplänkhastighet för förarlösa maskiner.

Fokusområden den närmaste framtiden är att höja datakvalitén på mätvärdena vilket är en förutsättning för prediktivt underhåll med hjälp av AI.

4.3 SUMMERING OCH ÖVERSIKT AV REFERENSFALL

I Tabell 15 finns en översikt av de referensfall som presenterats i kapitel 4.2.

Tabell 15. Översikt av referensfall från övriga industrier.

Industrier	Kristianstads kommun och C4Energi (Stad)	Södra Cell (Processindustri)	Kärnkraften i USA	Vattenfall (Kärnkraft)	LKAB (Gruv-industri)
Trådlös teknik	LoRaWAN	LTE-M	Wi-Fi och DAS (Radio)	Wi-Fi	Wi-Fi och LoRaWAN
Sensor	Tryck och regnmätning (Cecent lab och Scada)	Vibrationsmätare (inkl temperatur) (SPM Instrument)	Vibrationsmätning (Cypress)	Vibrationsmätning Leverantör ej vald	Tryck, Vibration kommunikation, styra maskiner, temperatur mm.
Övrig utrusning	Gateways (Curlink)	Analysverktyg (Conmaster)	Från fall till fall	Leverantör ej vald	IoT-databas (AspenTech IP 21)

Gruvnäringen i Sverige är en industri som hunnit långt med digitaliseringen av dess verksamhet. I denna sammanställning är gruvindustrin representerad av LKAB, som använder sig av Wi-Fi (kategori 1) och LoRaWAN (kategori 2) i tillämpningar nere i gruvan respektive ovan mark i och omkring vattendammar.

Digitaliseringen av kärnkraftsindustrin är i sin linda och verkar hunnit ungefär lika långt som inom vattenkraften. Olika proof-of-concept har genomförts och kommersiella lösningar väntas inom ett år. De applikationer som det planeras för initialt, vibrations- och temperaturmätningar på maskiner inne i kraftverken, kan närmast placeras inom vattenkraftens tillämpningskategori 1.

Andra respondenter är Kristianstads kommun/C4 och Södra Cell. Den senare utför vibrationsmätningar i pappersbruk och utnyttjar LTE-M-teknik. Södra Cell har valt bort Wi-Fi för att det ger alltför dålig täckning på grund av pappersbrukens konstruktion med mycket betong och metall.

Kristianstads kommun använder LoRaWAN-nätet från C4 för att mäta VA-relaterade storheter som vattennivåer och temperatur i avloppsbrunnar och vattendrag. Dessa fall mappar mot tillämpningar i kategori 3.

5 Erfarenheter från leverantörer

5.1 INTRODUKTION

Under genomförda intervjuer, både med representanter från vattenkraften och från andra industrier, har det framkommit rekommendationer att även intervjua några av leverantörerna av sensorer, för att närmare undersöka hur leverantörerna arbetar med trådlös teknik och de erfarenheter som gjorts. Detta kapitel redogör för deras tankar och erfarenheter.

5.2 DETALJERAD BESKRIVNING AV UTVALDA FALL

5.2.1 Volue Industrial IoT AS (fd Scanmatic)

Företaget

Volue erbjuder mätteknik för bland annat hydrologi, meteorologi, vattenkvalitet samt strålning och installationerna sträcker sig från nationella stationsnät till handhållna sensorer. De tillhandahåller ett stort antal kvalitetsensorer för mätningar i den yttre miljön och produkter/system för lagring, behandling och överföring av mätdata, för t.ex. automation eller fjärrövervakning. Produkterna har ett utbud av gränssnitt för informationsöverföring och kommunikationsprotokoll och kan därför läggas till och byggas in i befintliga system.

Sensorerna kan användas för t ex mätningar i vatten, i atmosfären, av solljus och av radioaktiv strålning.

Respondent

- Nils Lofstad

Tekniklösningar

Volue har 70% av vattenkraftverken i Norge som kunder och de har arbetat med digitalisering i ca 40 år. Vattenkraftverken i Norge är magasinbaserade till skillnad från Sverige där de flesta kraftverken ligger vid älven. Att vattenkraftverken är magasinbaserade gör att verken är mycket beroende av att ha koll på vattensituationen i magasinen och behöver därför övervaka och styra sin anläggning på ett helt annat sätt än de svenska kraftverken där det oftast finns en stadig tillförsel av vatten.

Volue är en helhetsleverantör som levererar och integrerar sensorer, fält och väderstationer, dataloggers och datainsamlingssystem som gör en första analys av datat, dvs. kontrollerar kvaliteten och skickar iväg datat till den avdelning som efterfrågat data (ex. driftcentralen eller säljavdelningen). Data skickas som mest 1 gång/minut, oftast mer sällan ex. 1 gång/timmen.

Utöver integrationstjänster tillverkar Volue egna produkter men även andra tillverkares produkter.

Egna Produkter:

- Hydrological / Meteorological datalogger som säljs till vattenkraften är:
 - × SM5059 eller SM5039
- H2 är ett datainsamlingssystem som, förutom Volues egna fältstationer, också stöder insamling från andra dataloggers.

Tredjepartsprodukter:

Volue är återförsäljare och integratör av en mängd tredjepartsprodukter såsom:

- Sensorer
 - × Ott, Vaisala, Gill, RM young, GE druck, Opsens, Sutron, etc
- Dataloggers
 - × Sutron, Ott, Campbell
- CCTV Kameror

Erfarenheter

Följande trådlösa tekniker är vanligast att använda utomhus i Norge (i den ordningen):

1. Mobilnät (det har varit mycket GSM men man är på väg mot LTE-M och NB-IoT)
2. VHF/UHF (Radio)
3. Satellit

Inomhus i kraftstationerna används ofta Wi-Fi och det kan hända att Wi-Fi även används ute om mobilnätet har dålig täckning men generellt anser kraftverken i Norge att Wi-Fi har för hög effektförbrukning och alltför stora batterier och det finns även en oro att Wi-Fi inte är tillräckligt säkert.

Volue har tittat på LoRaWAN men det har inte blivit någon framgång då tekniken anses ha för liten bandbredd. Endast ett kraftverk i Norge använder den trådlösa tekniken. Även Zigbee och Sigfox anses ha för dålig kapacitet.

Det pågår mycket forskning inom Machine Learning (ML) hos de Norska kraftverksbolagen och investeringarna i teknik är stora och målet är att reducera driftkostnaderna (OPEX).

5.2.2 SPM Instrument

Företaget

SPM Instrument (SPM) utvecklar teknologier och system för att mäta, analysera och presentera konditionsdata från komplicerade maskiner och detta inkluderar givare, transmittar, kablage, onlinesystem, handinstrument och analysmjukvara, samt metoder och produkter för korrigerande underhåll såsom laseruppriktning och balansering. SPM:s lösningar för industriell tillståndskontroll möjliggör en proaktiv underhållsstrategi som är integrerad i normala underhållsaktiviteter och ger en övergripande bild av driftskonditionen på kritiska maskiner.

Respondenter

- Tim Sundström, Strategiskt sälj och applikationer (SPM Instrument)
- Johan Nilsson, CTO (SPM Instrument)

Tekniklösningar

SPM:s trådlösa vibrationsgivare Airius varnar för vibrationsrelaterade problem såväl som fel på fläktar, pumpar och lager. Givaren, som är kapslingsklassad för IP69, har ett effektivt och energibesparande kommunikationsprotokoll. För maximal batteritid använder Airius ett utbytbar lithium-thionyl-batteri som varar i minst fyra år vid fyra mätningar per dag. Givaren finns också i en version med extern spänningsmatning. Mätningarna kräver runt 100 kb/mätning.

Airius finns tillgänglig för följande trådlösa tekniker:

- Wi-Fi
- LTE-M samt 5G

SPM valde i första hand Wi-Fi som trådlös teknik på grund av följande:

- Kunder har kontroll över nätet eftersom de äger och driftar dem själva
- Kunder kan själva sätta upp adekvata säkerhetsregler för nätet
- Wi-Fi kan överföra stora mängder data som krävs för tillgodose professionella vibrationsanalytikens behov samt möjliggöra mer avancerad AI/Machine Learning
- Kundernas IT-avdelningar är mer accepterande för Wi-Fi då det är en väletablerad teknik
- Wi-Fi är en standard som finns i hela världen

För att tillgodose ett kundönskemål från Södra Cell har SPM även tagit fram en lösning för LTE-M som bl.a. kommer att användas på Södra Cells tre massabruk. Artikel om samarbetet mellan Telia och SPM (13).

Erfarenheter

Inför valet av trådlös teknik genomförde SPM en omfattande research där man ställde olika tekniker mot varandra. Efter att ha studerat LoRaWAN, NB-IoT och WirelessHART blev slutsatsen att dessa tekniker inte har kapacitet att skicka den mängd mätdata från SPM:s givare som krävs för avancerad vibrationsanalys.

5.2.3 Mobilaris*Företaget*

Mobilaris utvecklar bland annat positioneringssystem för gruvor. Dessa system kan liknas vid Google Maps för underjordsgruvor, dvs system som håller reda på människor, fordon och maskiner och gör det möjligt att navigera exakt i en underjordsgruva utan att det behövs dyr infrastruktur.

Respondent

- Daniel Enström, CTO (Mobilaris Group)

Tekniklösningar

Idag finns Mobilaris positioneringssystem integrerat med en rad WiFi leverantörer över hela världen inklusive de stora leverantörerna Cisco, ABB, Extreme etc.

LTE-området växer snabbt och Mobilaris har gjort integrationer av sitt system mot både specialiserade leverantörer som Ambra, men också mot operatörer som Telia. Utrustningsleverantörer för BLE och för kärnät varierar men Ericsson är vanligt förekommande leverantör för mobilnäten.

Desto säkrare positionering kunderna behöver, desto dyrare blir den tekniska lösningen. Mobilaris rekommenderar sina kunder att se till att de väljer en trådlös infrastruktur som är standardiserad och som kan stödja en mängd olika användningsfall samt stödja både kommunikation och positionering. Genom att använda en standardiserad infrastruktur undviker man inlåsningsituationer samt möjliggör ett större ekosystem av leverantörer (till lägre kostnader).

Erfarenheter

Mobilaris har gjort följande erfarenheter när det gäller olika trådlösa tekniker och positioneringssäkerhet.

Tabell 16. Översikt av trådlösa tekniker.

Teknik	Bandvidd	Robusthet/ kvalitet	Täckning	Pos noggrannhet	Std	+	-
LTE+BLE	60 Mb/s	Hög kvalitet gällande kommunikation	500-1000 m	50-100 m	Ja	Bra täckning och kapacitet. Låg fördröjning öppnar för standardiserade enheter.	Har inte lika stort ekosystem som Wi-Fi ännu
Wi-Fi	<60 Mb/s	Tillräckligt bra för gruv-automation och positionering	150 m per access punkt	50-100 m	Ja	Bra täckning och kapacitet. Välkänd standard och enkelt att installera. Öppnar upp för standardiserad utrustning och möjliggör många användningsfall.	
UWB	< 200 kb/s	Bra för positionering	50 m per anchor	<1m	Ja	Mycket god noggrannhet.	Behöver många noder, låg bandbredd och kräver en annan teknik för kommunikation

5.3 ÖVERSIKT AV SENSOR-LEVERANTÖRER

I Tabell 17 finns en översikt och sammanfattning av de leverantörer som intervjuats.

Tabell 17. Översikt av leverantörer som intervjuats.

Leverantör	Volue (fd. Scanmatic)	SPM Instrument	Mobilaris
Industrier	Kraftverk, gruvindustrin, städer, trafikverk, meteorologiska institut	Pappersmassa, gruvindustrin, marin och offshore, stål, cement, kemi, energi, fastigheter, olja och gas.	Gruvindustrin

Mätområde	Hydrologi, meteorologi, vattenkvalitet, strålning	Tillståndskontroll, vibrationsanalys	Positionering
Trådlösa tekniker	Wi-Fi	Fokus på mobilnät (GSM/GPRS och snart LTE), radio och satellit. Har också testat andra lösningar som LoRaWAN, Zigbee, Wi-Fi mm.	Fokus på LTE+BLE, Wi-Fi, UWB och Chrip. Finns även proprietära tekniker som Newtrax och Minetec

5.4 GENERELLA SLUTSATSER OCH FINDINGS

Det verkar vara två trådlösa tekniker som vinner i längden, dels LTE-M, dels Wi-Fi. Båda dessa tekniker kan hantera stora mängder data och är standardiserade. Några anser att säkerheten brister för Wi-Fi, medan andra anser att det finns stora fördelar med att IT-avdelningen själv kontrollerar (äger) nätet och kan sätta upp egna säkerhetslösningar, vilket gör att den tekniken känns självklar.

Alla är dock överens om att det 5G inom kort kommer att ta över den trådlösa marknaden för merparten av dessa typer av applikationer.

6 Förslag på fortsatt arbete

I detta kapitel ger vi förslag på fortsatt arbete inom området. Det kan handla om ytterligare fördjupade studier, förslag på praktiska tester, eller framtagning av koncept.

6.1 FÖRDJUPADE STUDIER INOM 5G

Utrullningen av den femte generationens mobilnät har precis påbörjats och det är den cellulära teknik som förväntas ta över inom ett antal år. Tekniken har många fördelar jämfört med tidigare cellulära lösningar såsom; högre bandbredd, kortare svarstider, möjligheten att hantera ett mycket stort antal sensorer och givare, mm. Tekniken har bara behandlats översiktligt i denna rapport.

För fortsatta studier skulle följande kunna vara i fokus:

- Radioegenskaper
 - × Vilka moduleringstekniker och frekvensband används och vilka egenskaper fås?
 - × Stöd för IoT. I 4G har tekniker såsom NB-IoT och LTE-M utvecklats för IoT. Vilket stöd finns för liknande i 5G?
 - × Privata nät. Hur realiserats och administreras privata nät i 5G?
 - × Small Cells. Vad är kapacitet och karakteristik för dessa?
- Network Slicing (NS)
 - × Vad innebär NS och vilka fördelar erhålls?
 - × NS i radionätet och i kärnnätet?
- Edge Computing (EC)
 - × Edge Computing innebär att man distribuerar funktionalitet långt ut i nätet
 - Vilka fördelar uppnås?
 - Hur passar IoT in i bilden?
- Trådlös säkerhet i 5G
 - × Analys säkerhetsrisker med 5G i samband med IoT
 - × Trådlös säkerhet i 3GPP

6.2 PRAKTISKA TEST AV TILLÄMPNINGSKATEGORI 2 & 3

Vi har i studien identifierat att det finns stort värde för många vattenkraftbolag att använda trådlös datainsamling för olika applikationer i tillämpningskategorierna 2 & 3 med syfte att introducera prediktivt underhåll och att kostnaden att komma igång är ganska låg.

Samtidigt har inte alla vattenkraftbolag kunskapen att driva ett sådant projekt. För att sprida kunskap och erfarenhet till alla medlemmar i Energiforsk skulle ett implementationsprojekt vara mycket värdefullt.

Projektet ska drivas tillsammans med ett lämpligt vattenkraftsbolag.

Följande aktiviteter kan ingå i projektet:

- Val av trådlös teknik t.ex. LTE-M eller LoRaWAN, om inte mobiltäckning (LTE) finns.
- Specificera applikation(er), välj system/utrustning, implementera, utvärdera.
- Ett bra första steg att börja med ett par applikationer och 10-15 mätpunkter.
- Utveckla metodik för och beräkna return of investment (ROI)

6.3 FÖRDJUPAD STUDIE AV SENSORER OCH GIVARE

Denna studie behandlar sensorer endast översiktligt. En djupare och mer heltäckande marknadsanalys där

- Sensorer till fler trådlösa teknologier tas med,
- En djupare analys görs av intressanta teknologier
- Man tittar på lösningar som kan hantera existerande sensorer och
- Hybridlösningar som kan anpassas till flera trådlösa teknologier

7 Referenser

1. Researchgate. [Online] https://www.researchgate.net/figure/Architecture-of-Bluetooth-network_fig4_284812098.
2. What is ZigBee Technology and How it works? [Online] ELECTRICAL TECHNOLOGY. <https://www.electricaltechnology.org/2017/09/zigbee-technology-wireless-networking-system.html>.
3. WirelessHART. [Online] Endress+Hauser. https://www.no.endress.com/no/1%C3%B8sninger-st%C3%B8tte-kompetanseoverf%C3%B8ring-optimalisering-kostnadreduksjon-/Feltnettverksteknikk-field_network-engineering-/_feltbuss-MODBUS-EtherNet_IP-/wireless-HART-.
4. Wireless LAN 802.11 Service Sets. [Online] Cisco. <https://networklessons.com/cisco/ccna-200-301/wireless-lan-802-11-service-sets>.
5. What is SigFox technology. [Online] Student Circuit. <https://www.student-circuit.com/learning/year3/iot/what-is-sigfox-technology/>.
6. LoRa and Sigfox: overview and perspectives. [Online] Navixy. <https://talks.navixy.com/trends/lora-and-sigfox-overview-and-perspectives/>.
7. Structure, Network. Structure of a GSM Network . [Online] ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-a-GSM-Network_fig1_262105075.
8. LTE network architecture . [Online] ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/LTE-network-architecture_fig1_283831847.
9. Brown, Gabriel. Private LTE Networks. [Online] <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/private-lte-networks.pdf>.
10. P Hoffman, Y Schmitz, B Quink, M Parsa & J Olejak. <https://iot.telekom.com/resource/blob/data/489050/f9fb87f65ada3528c8c08a1cb0364a1d/security-aspects-lorawan-nb-iot.pdf>. [Online]
11. <http://criticalconnectivity.com/edf-deploy-secure-private-mobile-networks-at-nuclear-energy-plants-across-france-with-thales-and-ericsson/>. [Online]
12. Bengtsson, Fredrik. WIRELESS IN NUCLEAR APPLICATIONS IN THE US. Stockholm : Energiforsk AB, 2020.
13. SPM. [Online] <https://business.teliacompany.com/blog/SPM-Instrument-and-Telia-LTE-M-to-bring-industrial-IoT-into-the-5G-era..>
14. LoRaWAN mäter ström 4-20mA DC. [Online] Direktronik. <https://www.direktronik.se/direktronik/overvakning/automationscada/lorawan/lorawan-mater-strom-4-20ma-dc/?variationCode=20100519>.
15. LoRaWAN Amperemätare. [Online] DirekTronik. <https://www.direktronik.se/direktronik/overvakning/automationscada/lorawan/lorawan-amperematare-3-x-250a-clamp-on/?variationCode=20103875>.
16. LoRaWAN Ultrasonicsensor för nivåmätning. [Online] DirekTronik. <https://www.direktronik.se/direktronik/overvakning/automationscada/lorawan/lorawan-ultrasonicsensor-for-nivamatning/?variationCode=20102139>.
17. AB1205 Nivågivare. [Online] Ambiductor. <https://www.ambiductor.se/produkter/lora/smart-samhalle/ab1205-nivagivare>.
18. Vantage Pro2 väderstation LoRa. [Online] Ambiductor. <https://www.ambiductor.se/produkter/lora/smart-samhalle/vantage-pro2-lora>.
19. LoRaWAN Temperatursensor PT1000. [Online] DirekTronik. <https://www.direktronik.se/direktronik/overvakning/automationscada/lorawan/lorawan-temperatursensor-pt1000-40-to-200-ip65-el-ip67/>.

20. Senlab T: TEM-LAB-14NS. [Online] Ambiductor.
<https://www.ambiductor.se/produkter/lora/smart-samhalle/senlab-t-tem-lab-14ns>.
21. LoRaWAN med 2 DI. [Online] DirekTronik.
<https://www.direktronik.se/direktronik/overvakning/automationscada/lorawan/lorawan-med-2-di-digitala-ingangar-dry-contact/?variationCode=20101955>.
22. Ext-044 . [Online] Ambiductor. <https://www.ambiductor.se/produkter/lora/smart-fastighet/ext-044>.
23. WirelessHART Adapter SWA70. [Online] Endress+Hauser.
<https://www.se.endress.com/sv/f%C3%A4ltnstrumentering-fl%C3%B6deniv%C3%A5-tryck-temperatur-analys/systemprodukter/wirelesshart-adapter-swa70?g.filters=%5B%5D>.
24. 248, Emmerson Rosemount. Emmerson Rosemount. [Online]
<https://www.emerson.com/sv-se/catalog/automation/measurement-instrumentation/wireless-temperature/rosemount-sku-248-wireless-temperature-transmitter-en-gb?fetchFacets=true#facet:&partsFacet:&facetLimit:&productBeginIndex:0&partsBeginIndex:0&orderBy:&parts>.
25. 848T, Emerson Rosemount. [Online] <https://www.emerson.com/sv-se/catalog/automation/rosemount-sku-848t-wireless-temperature-transmitter-en-gb?fetchFacets=true#facet:&partsFacet:&facetLimit:&productBeginIndex:0&partsBeginIndex:0&orderBy:&partsOrderBy:&pageView:list&minPrice:&maxPrice:&pageS>.
26. 2051, emerson Rosemount. [Online] <https://www.emerson.com/sv-se/catalog/automation/measurement-instrumentation/wireless-pressure-measurement/rosemount-sku-2051-wireless-in-line-pressure-transmitter-en-gb?fetchFacets=true#facet:&partsFacet:&facetLimit:&productBeginIndex:0&partsBeginIndex:0>.
27. 3051, Emerson Rosemount. Emerson Rosemount 3051. [Online]
<https://www.emerson.com/en-us/catalog/rosemount-sku-3051cfc-compact-orifice-plate-flow-meter>.
28. Emerson Rosemount 3308. [Online] <https://www.emerson.com/sv-se/catalog/automation/measurement-instrumentation/wireless-level-measurement/rosemount-sku-3308-wireless-gwr-transmitter-en-gb?fetchFacets=true#facet:&partsFacet:&facetLimit:&productBeginIndex:0&partsBeginIndex:0&orderBy:&partsO>.
29. Emerson Rosemount 5900. [Online] <https://www.emerson.com/sv-se/catalog/automation/measurement-instrumentation/tank-gauging-radar-level/rosemount-5900s-radar-level-gauge-en-gb>.
30. Efento. [Online] <https://getefento.com/product/wireless-temperature-and-humidity-logger-with-external-probe-lte-m-nb-iot/>.
31. SPMAirius. [Online] <https://www.spminstrument.se/produkter-och-tjanster/givare-och-transmittar/airius/>.
32. Liberium. [Online] <https://www.libelium.com/iot-products/plug-sense/>.

Bilaga A: Appendix

I detta appendix listar vi utvalda produkter för tre trådlösa tekniker samt givare som kan stödja olika tekniker. I uppdraget ingick att välja 2 trådlösa teknologier som skulle studeras närmare och som ansågs mest lämpade för vattenkraften - LTE-M och WirelessHaLow. Men inga produkter har identifierats för den senare teknologin så i samråd med referensgruppen bestämdes att studera 2 andra teknologier som används i industrin – LoRaWAN och WirelessHART .

LORAWAN

Multisändare 4-20mA: Netvox R718KA

Går att använda med alla analoga givare 4-20mA och kopplar upp dem på ett LoRa-nätverk. (14).

Strömmätning: Netvox R718N3

Sensor för strömmätning som kan monteras runt befintliga kablar, kan mäta 3x250A (15).

Nivå: Netvox R718PE & Sensing Labs 4MA-LAB-13NS

Använder sig av ultraljud för att mäta vattennivå. Mätmetoden används ofta vid t.ex. vattennivåmätning innanför intagsgrind. Nedan två olika fabrikat (16) (17).

Väderstation: Vantage Pro 2

Kan vara användbara för att mäta nederbörd samt vindens riktning och styrka på t.ex en damm (18).

Temperatur: Netvox R718B & Sensing Labs TEM-LAB-13NS

Temperaturer mäts på många platser både i och utanför kraftverket, nedan exempel på givare från två olika tillverkare (19) (20).

Digitala ingångar: Netvox R718J2

Använda sig av befintliga vakter och koppla till ett LoRaWAN-nät, skulle t.ex. kunna vara larmsignaler från någon utrustning (21).

Tryck: Ambiductor EXT-044

Tryckmätning i rör t.ex. kylvattensystem (22)

WIRELESSHART

Flera företag erbjuder produkter för WirelessHART och de är alla kompatibla med varandra. Då HART-protokollet är ett master-slave kommunikationsprotokoll så

finns det en lista över HART- kommandon som kan delas in i tre kategorier, "Universal", "Common Practice" och "Device Specific". All utrustning som använder sig av HART-protokollet måste känna till kommandona från Universal för de ger tillgång till användbar information för normal användning. Det är vanligt att utrustningen även stödjer kommandona inom Common Practice men det är inte ett måste. Kommandona inom kategorin Device Specific är mer specifika för utrustningen och information om dem kan fås från tillverkarna

Multisändare 4-20mA: Endress + Hauser SWA70

Går att använda med alla analoga givare 4-20mA och kopplar upp dem på ett WirelessHART-nätverk (23)

Temperatur: Emerson Rosemount 248 & Emerson Rosemount 848T

Temperaturmätningar görs på många olika platser både i och utanför kraftverk (24) (25).

Tryck: Emerson Rosemount 2051

Tryckgivare som t.ex. skulle kunna användas för att mäta kylvattentryck (26).

Flöde: Emerson Rosemount 3051

Flödesmätning för t.ex. spärr- eller kylvatten (27).

Nivå: Emerson Rosemount 3308 och Emerson Rosemount 5900

Det finns både tryckgivare och ultraljudsgivare för vattennivåmätning (28) (29).

LTE-M

Temperatur: Efento

Temperatur och luftfuktighetsgivare (30).

Vibration: SPM Airius

Vibrationsgivare som utvecklas av SPM (31).

ENHETER MED VALBAR RADIOTEKNIK

Libelium: Libelium Plug & Sense

Har utrustning där radiokommunikation kan väljas mellan flera olika radiotekniker.

- 802.15.4
- Zigbee
- 868 MHz

- 900 MHz
- Wi-Fi
- 4G
- Sigfox
- LoRaWAN

Många olika typer av givare kan användas till systemet. T.ex. kan modulen i denna referens köpas med 4-20mA-ingång och då kan vilken analoggivare som helst användas (32).

KARTLÄGGNING AV TRÅDLÖS TEKNIK I VATTENKRAFTEN

Många tillämpningar inom vattenkraften skulle ha fördel av att använda trådlös teknik. Dels för att sänka kostnaderna, dels för att det är komplicerat att samla in informationen med trådad teknik.

Här har trådlösa tekniker för tre olika användarscenarier kartlagts – korta avstånd inne i kraftstationer, på dammar och i vattendrag på längre avstånd från kraftstationen. Varje trådlös teknik har fördelar och nackdelar. Resultaten visar att den cellulära tekniken LTE-M är den som är mest lämplig för bredare användning då den stödjer de tre användarscenierna, är framtidssäkra, ger lämplig prestanda och har en hög säkerhet.

Användningen av trådlösa tekniker inom vattenkraften i Sverige och Norge är i dag låg och endast ett fåtal driftsatta system har kunnat identifieras. Flera andra industrisegment har kommit längre. Även internationellt ligger man längre fram. EDF i Frankrike har sedan tio år använt trådlösa system i sina vattenkraftanläggningar för att samla in data för ett förbättrat underhåll. Detta är en viktig del i strategin att sänka kostnader och vinna marknadsandelar.

Trådlös teknik är relativt billig. Ett mindre system, begränsat till en eller två användarfall i en kraftstation, behöver inte kosta mer än ett par hundra tusen kronor. Ingen processkritisk information distribueras med trådlös teknik, det är främst data för prediktivt underhåll som samlas in. Den huvudsakliga nyttan är att mätdata kan samlas in på ett billigare och enklare sätt, mer frekvent och att data då blir mer pålitlig.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se