

Teknologiutviklingen og potensielle paradigmeskifter

Pål Unanue-Zahl og Jørgen Elton
Nilsen (red.)

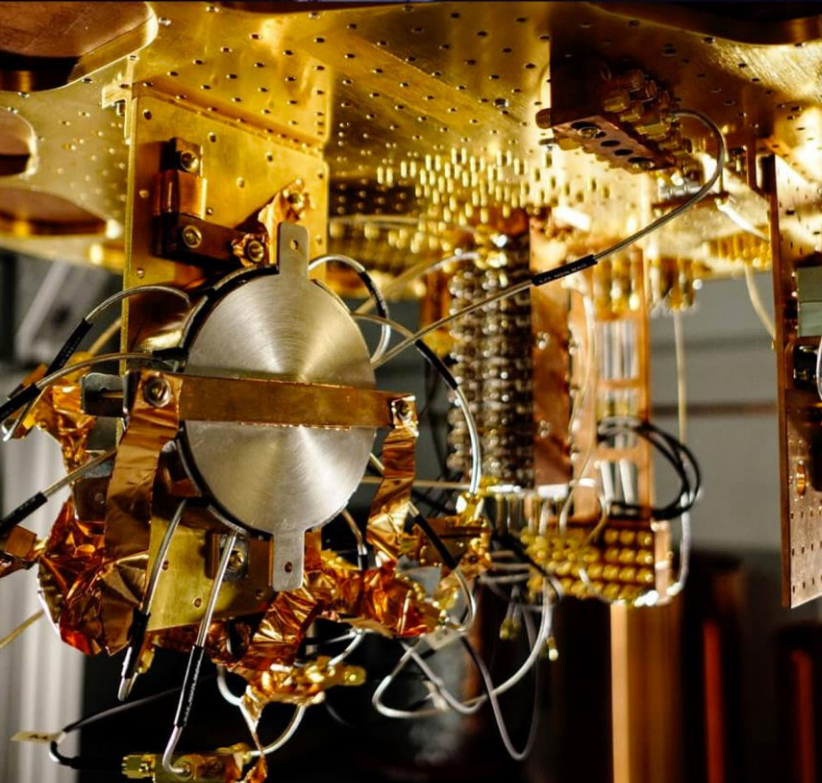
Kristine Støleggen og Thomas
Marynowski (medforfattere)

Arbeidsrapport
2018-3



Teknologiutviklingen og potensielle paradigmeskifter

En rapport produsert av Delta V, en del av Teknisk Ukeblad, på oppdrag for Concept-programmet



Forord

Bakgrunnen for denne studien er et prosjekt med tittelen *Paradigmeskifter som påvirker konseptvalg*. Tanken var at en skal trekke opp noen akser det bør tenkes langs når en vurderer hva som vil være realistiske rammer, krav og behov i ulike sektorer, i lys av teknologiske trender som kan vise seg å bli grenseoverskridende på sikt.

Prosjektet skal gi en sammenfatning av trendbeskrivelser og scenarier basert på forskning ved sentrale fagmiljøer i Norge og internasjonalt. Men materialet på dette området er enormt og i stadig utvikling. Både det offentlige og næringslivet kommer stadig med nye fremtidsstudier og «road maps» på forskjellige områder, og mediene er raskt ute med å referere og kommentere. Vi kom raskt til at dette ville kreve ekstern bistand fra spesielt informerte. Videre at medarbeidere i Teknisk Ukeblads redaksjon kanskje er de i samfunnet med de beste forutsetningene til å gi en oppdatert oversikt over de viktigste nyhetene og trendene i forskjellige sektorer. Deres oppgave er å følge med, de snakker med sentrale informanter og rapporterer fortløpende. Verdien av det arbeidet de gjør kan alle vurdere ved sjekke newsfeeden på nettsiden tu.no.

Denne studien er gjennomført i løpet av tre måneder i 2018 i regi av Delta V, en underavdeling av Teknisk Ukeblad Media. Takk til Jørgen Elton Nilsen og Pål Unanue-Zahl for stor innsats og effektiv gjennomføring. Sentrale informanter er nevnt ved navn i tilknytning til de enkelte kapitlene.

Rapporten trykkes i sin helhet, med et verdifullt vedlegg av 277 lenker til artikler der en finner mer omfattende dokumentasjon i de enkelte sakene.

Knut Samset
Programleder

Ansaret for informasjonen i rapportene som produseres for Concept-programmet ligger hos forfatterne. Synspunkter og konklusjoner står for forfatternes regning og er ikke nødvendigvis sammenfallende med Concept-programmets syn.

Rapportens metode og formål	6
Del 1: Generelle, sektorovergrepene trender innen teknologi, digitalisering og energi	7
Teknologi.....	8
«Uendelig» datakraft.....	8
Avanserte algoritmer driver utviklingen	10
Økt tilgang på data	11
Teknologier som bedrer sikkerheten.....	13
IT-sikkerhet.....	14
Digitalisering.....	16
Konsumentdigitaliseringen treffer industrien	16
Kort vei fra test til produkt	17
Digitale tvillinger	18
Fjernstyring	19
Kyberkrig og digitale trusler.....	21
Energi	23
Fornybare energikilder i rask vekst	24
Et sentralt fordelingsnett eller lokal produksjon	26
Vekselstrøm og likestrøm til energitransport	29
Et smartere nett for fremtiden.....	30
Hydrogen.....	32
CO ² -fangst	34
Del 2: Teknologiutviklingen per sektor	36
Forsvar	36
Autonomi.....	38
Felles plattform for kampsystemer og stordata	43
Dronenes inntog.....	45
Fjernstyrte våpenstasjoner.....	47
Modulært for fremtiden	48
Kunstig virkelighet.....	51
Norske missiler vil fortsette ledelsen.....	52
Samferdsel	54
Autonomi på landjorda	55
Ridesharing	56
Intelligente transportsystemer.....	56
Elbiler, på batteri og hydrogen	57
Infrastruktur for elbiler.....	59
Kollektivtransport.....	59
Togets fremtid.....	60
Godstransport til lands.....	61
Autonomi til sjøs	62
Elektriske fly	64
Leveransedroner.....	65
Rakettrevolusjonen	66
Radarteologi med klimagevinst	68
Bygg	69
BIM og digitalisering	69
Mind the gap! Utvikling går raskere enn byggingen	70

<i>Nye tilvirkningsmetoder</i>	<i>71</i>
<i>Robotisering av arbeidskraft.....</i>	<i>72</i>
<i>Kunstig intelligens og nye materialer.....</i>	<i>73</i>
<i>Autonome biler vil påvirke bygningene.....</i>	<i>74</i>
<i>Miljø</i>	<i>75</i>
<i>De viktigste trendene slik de er observert under intervjuene</i>	<i>77</i>
<i>#1: Elektrifisering</i>	<i>77</i>
<i>#2: Kunstig intelligens.....</i>	<i>77</i>
<i>#3: Delingsøkonomi.....</i>	<i>77</i>
<i>Kildehenvisninger</i>	<i>78</i>

Rapportens metode og formål

Når store, statlige investeringsprosjekter blir utredet og besluttet er målet at beslutningstakerne skal ende opp med løsningen som gir størst samfunnsnytte i forhold til investeringen. I mange sektorer handler valg av løsning vel så mye om valg av teknologi, noe som er utfordrende da ny teknologi utvikles i raskt tempo – ofte raskere enn beslutningstiden til prosjektet i seg selv. Når Norges nye kampfly, F-35, er operative i 2025 vil det være 17 år siden Norge inngikk kontrakt om kjøpet. I et slikt tidsperspektiv er det ikke utenkelig at nye teknologiske gjennombrudd kan påvirke og få konsekvenser for valg av løsning.

Ny teknologi kan resultere i trendbrudd og paradigmeskifter som endrer forutsetningene for valg av konseptuelle løsninger, og påvirker relevans, levedyktighet og samfunnsøkonomisk lønnsomhet. Samtidig kan ny teknologi åpne for helt nye løsninger og muligheter man ikke er klar over når prosjektet starter.

Denne rapporten er et statusbilde på ny teknologi, en sammenfatning av fakta og forventninger, med redegjørelse av hvilke konsekvenser dette kan få for store, statlige investeringsprosjekter innenfor sektorene forsvar, bygg og samferdsel. Vi ønsker å sette søkelyset på samspillet mellom teknologi, digitalisering og energi, og hvordan mulige gjennombrudd vil presse frem nye teknologiske løsninger, og hva som kan være konsekvensene av dette.

Det kan være relativt enkelt å etterprøve gjennomførte investeringer når all informasjon er kjent. Det er vanskeligere å spå fremtiden når teknologien utvikler seg raskt, med konsekvenser i stadig flere deler av samfunnet. Skal vi gå for alternativ A, B eller skal vi vente og se om det kommer et alternativ C som vil endre forutsetninger og muligheter? Dette dilemmaet blir stadig vanskeligere for alle som anskaffer høyteknologiske produkter eller arbeider i en bransje der ulike teknologiske fremskritt påvirker hvordan vi opererer – mellom mennesker eller mellom menneske og teknologi. Enten det er snakk om en milliardinvestering i forsvaret, nye lokalbusser eller om man skal kjøpe elbil til personlig bruk. Offentlige investeringer er spesielt utsatte fordi det ofte er lang leveringstid der det skjer teknologiutvikling underveis, og fordi det er snakk om å forvalte felleskapets midler. Da blir kravet til optimaliserte løsninger desto større. Hva skjer med etterspørselen etter jernbane når privatbiler blir autonome? Skal vi kjøpe bemannede kampfly, droner, eller investere i utviklingen av et helt våpensystem? Hva er samfunnsnyttan av en investering i et biblioteksbygg når bøker blir digitale?

Samtidig står teknologi aldri alene. Brukeraksept, tilpassede forretningsmodeller og tilpasset regelverk er helt avgjørende for at ny teknologi tas i bruk. De teknologiske trendene vi ser på her vil også samspille med og påvirkes av andre samfunnsendringer, som globalisering, migrasjon, fleksibelt arbeidsliv, urbanisering og mye mer.

Rapporten skal svare reflektert på noen av disse spørsmålene ut fra materiale som er publisert av Teknisk Ukeblad Media, medarbeidernes kompetanse og erfaring, samt en rekke intervjuer med fremtredende fagpersoner på fagområdene. Det er lagt vekt på at informasjonen som har tatt veien til denne rapporten har sin opprinnelse i troverdige og autoritative kilder, som forskningsmiljøer i Norge og internasjonalt, offentlige utredninger- og perspektivanalyser, informasjon om ny teknologi og ikke minst samtalene journalistene har hatt ute i miljøet.

Del 1: Generelle, sektorovergripende trender innen teknologi, digitalisering og energi

En historie om teknologiens utvikling vil ikke være komplett uten et blikk på hvordan teknologi, digitalisering og energi på et overordnet nivå endrer verden. I dag med en hastighet vi aldri har sett tidligere. På godt og tidvis vondt driver teknologi mennesker, nasjoner og globale samfunn fremover med et mål om å gjøre livene våre tryggere, bedre eller mer effektive.

Det er også verdt å argumentere for at teknologi er det største eventyret menneskeheten har foran seg, selv om store steg allerede er tatt. Nicolaus Kopernicus oppdaget vår sanne posisjon i universet, Christopher Columbus viste at mennesker kunne ferdes fritt over hele kloden og på 1800-tallet ga Thomas Edison verden kunstig lys. Men teknologi og vitenskap har i mange år kjempet fra skyttergraven. Først i et mange hundre år langt angrep fra religionens overmenn, og siden som et verktøy i fryktdrevet kamp mellom verdens stormakter under den kalde krigen. Og selv om kappløpet om verdensrommet handlet om å være først, størst og best på bruk av et nytt domene, var det også ett av de første store eksemplene på hvordan verden var samlet rundt optimismen for teknologi og mulighetene den kunne gi oss. Godt drevet av den tyske rakettforskeren Wernher von Braun rakk kalenderen akkurat å holde seg på 60-tallet idet mennesket for første gang satte foten på et annet legeme i verdensrommet. En bragd som kun var mulig takket være store teknologiske framskritt - særlig innen elektronikk, informasjonsteknologi og utvikling av kraftige rakettmotorer. Etter dette pionerarbeidet skjøt teknologiutviklingen fart og 50 år senere finnes det flere mobiltelefoner på Jorden enn mennesker. Samtidig har en moderne mobiltelefon mer datakraft enn hva hele NASA hadde disponibelt under måneprogrammet. Utviklingen er imponerende, og særlig digitaliseringen endrer vanene våre og hvordan vi løser ulike samfunnsoppgaver som tilgang til energi, transport, helse og sikkerhet.

Teknologi handler ikke bare om et fysisk produkt, en gjenstand eller tjeneste som gjør hverdagen vår tryggere, mer effektiv og personlig. Det er like mye katalysatoren som kan gi mennesket en ny fremtid – noe ukjent å aspirere til. Det kan ha noe religiøst ved seg, slik religion før rådet over teknologi. Vi vet at når vi våkner i morgen har verden på ett eller annet vis tatt enda et lite steg på den eksponentielle utviklingen frem mot en bedre og mer fantastisk fremtid. Om det så er fordi kjøleskapet kan handle matvarer for oss, eller fordi vi vet at mennesker som er i live i dag er et steg nærmere å sette sitt fotavtrykk på planeten Mars i løpet av livet, og med det starte et nytt kapittel i menneskets historie utenfor den trygge, blå verdenen som har huset oss i titusener av år.

Teknologi, digitalisering og energi er drivere på tvers av investeringsprosjekter i de tre sektorene forsvar, samferdsel og bygg som denne rapporten omtaler, og er derfor omtalt for seg i første del av denne rapporten

Teknologi

Teknologi er på mange måter den harde og håndfaste siden av digitaliseringen. Det er utstyret, maskinene, oppfinnelsene, algoritmene og prosessene som gjør digitalisering mulig, samtidig som det åpner opp for nye muligheter gjennom teknologien selv. Selv om Norge ikke nødvendigvis er en stor eksportør av teknologi, har vi en unik posisjon på mange områder – mye takket være vår egen natur, kunnskap og dels reguleringer. Naturen ga oss for eksempel oljeeventyret, som også var starten på en epoke med tung teknologi- og kunnskapsutvikling som nå sprer seg til en rekke andre sektorer, som havvind, oppdrett, forsvar, samferdsel og industrien.

Samtidig er det i realiteten slik at om man først har laget et produkt som fungerer i Norge, fungerer det mest sannsynlig bra nok for resten av verden også. Krevende natur har tvunget oss til å utvikle teknologi som tåler det meste, og når man først har laget en kraftig versjon av noe er det lettere å skalere det ned enn om utviklingen skjer motsatt vei. Samtidig er vi et lite land, med få folk og lav befolkningstetthet. Det gir helt andre krav til teknologiutvikling som en driver for digitaliseringen, en arena som i høyeste grad er global. Globale giganter som Google, Amazon og Microsoft definerer den lokale teknologiutviklingen, men det opprinnelige behovet som trigger en utvikling er lokalt.

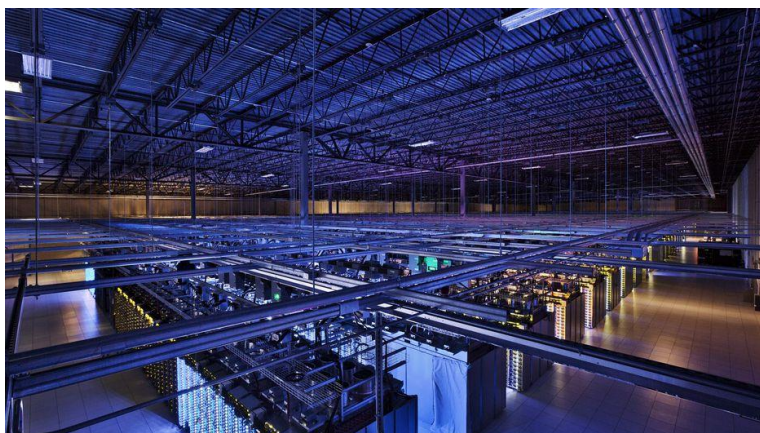
Teknologi som en bakenforliggende faktor for fremtiden i de tre sektorene denne rapporten skal dekke, forsvar, bygg og samferdsel, handler i stor grad om de samme teknologiske driverne resten av verden ser.

Det er primært tre faktorer som nå konvergerer og driver frem digitaliseringen; «uendelig», billig og fleksibel datakraft, eksponentiell vekst i tilgjengelig data og en meget sterk vekst i smarte algoritmer som kan tolke dataene. Innen disse tre feltene skjer det en rivende teknologiutvikling som på mange måter definerer mulighetsrommet for digitalisering, og den videre teknologiutviklingen innen de tre sektorene.

Datagrunnlag: Artikler som er sitert i teksten, samt intervju med Erlend Tangraas Lygre, Kurt Lekanger, Marius Jørgenrud, Harald Brombach, Martin Braaten Røise, alle journalister i Teknisk Ukeblad / Digi.no – samt Dr. John Markus Lervik, CEO i Cognite

«Uendelig» datakraft

IT spiller en betydelig rolle for både virksomheter og samfunnet som helhet i dag. Sentralt for digitaliseringen på tvers av alle sektorer ligger skytjenestene. Med fremveksten av skytjenester har alle fått tilgang til en i praksis uendelig mengde datakraft som kan skaleres etter behovet, og enkelt kjøpes som en tjeneste. Behovet for å investere store beløp i fysisk infrastruktur er i mange tilfeller tilnærmet borte, noe som senker terskelen for innovasjon. Skytjenestene kan riktig nok



Oversiktsbilde fra ett av de mange datasentrene til Google. Google er en av de største leverandørene i nettskymarkedet. Foto: Google

kjøpes i forskjellig grad, fra at man kjøper ren datakraft for én spesifikk regnejobb, til fullstendig utsettelse av hele IT-infrastrukturen i bedriften. Adopsjonen av skytjenester har på mange måter gått formidabelt fort, det er bare et drøyt tiår siden man begynte å sette ut datakraften til virksomhetens IT-tjenester. I dag strømmes brukerne til disse tjenestene som aldri før, og det er gjerne de internasjonale gigantleverandørene som tar de største andelene av markedet – primært Amazon, Microsoft og Google. Bare i andre kvartal av 2018 økte nettskymarkedet med 50 % sammenlignet med samme periode i fjor (1).

Likevel er nettskyen til syvende og sist ikke mer enn et datasenter som ikke står hos en selv, men er sentralisert hos en tjenesteleverandør. Den rent fysiske avstanden til datasenteret er relevant, både for forsinkelsestidene til tjenestene som kjører der, og av lovmessige grunner. Det er for eksempel strenge restriksjoner på hvor sensitive data fysisk kan ligge lagret. Selv i det lille markedet som Norge strengt tatt er, kommer de globale leverandørene stadig tettere på, noe som er et viktig signal for fremtiden og viktigheten av skytjenester. For første gang har vi fått en direkte navlestreng til verdens største nettskytilbyder, Amazon (2), og den største skyleverandøren i Norge, Microsoft, har nå så stor etterspørsel at de skal etablere et eget datasenter her i landet (3). Slike satsninger fra kommersielle aktører øker tilgangen og senker terskelen for at bedrifter i alle sektorer kan innovere med digitale tjenester.

Adopsjon av nettskyen er ofte synonymt med «outsourcing» i en eller annen grad, men et viktig perspektiv i teknologiutviklingen er også at denne «outsourcingen» handler om langt mer enn besparelser i kroner og årsverk. Outsourcingen handler vel så mye om en skaleringsmulighet og stordriftsfordeler det er umulig å oppnå om man håndterer sitt eget datasenter. Sett fra det perspektivet er historien om å sette ut noe til nettskyen, vel så mye en historie om å høste stordriftsfordeler. Regnekapasiteten kan skales opp og ned på månedsbasis, uten investeringer i utstyr, slik at bedrifter kan ta unna ekstreme topper i forbruket det ikke ville vært økonomisk forsvarlig å takle om de måtte kjøpt all maskinvaren selv, som da ikke ville vært i bruk resten av året. Små kommuner, institusjoner eller oppstartsselskaper kan kjøre programmer og teknologier det i praksis ville vært umulig å gjøre om de skulle stått for hele løsningen selv.

Fremtiden og utviklingen til nettskyen kan i stor grad ses gjennom de egenskapene den har. Nettskyen vil stadig vokse og bli raskere gjennom flere brukere, og stadig flere tjenester flyttes ut til skyen, noe som ofte innebærer at de samtidig fornyes. Det virkelige store paradigmeskiftet i tilgjengelig datakraft vil imidlertid trolig komme når man knekker koden på en helt ny type prosessor-teknologi; kvantemaskiner.

Det nøyaktige potensialet og mulige omfanget av kvantemaskiner er det få som har et klart svar på i dag, men det er økende tro på at denne teknologien kan snu opp ned mye av det vi forbinder med prosessering av data i dag (4). Det forventes det at teknologien vil føre til store gjennombrudd de neste 5-15 årene (5), men at det vil gå flere tiår før den eventuelt virkelig brer om seg. Uavhengig av når teknologien måtte komme, om den blir som lovet, er potensialet stort fordi kvantemaskiner rokker ved roten av det mest fundamentale i dagens prosessorer. Dagens prosessorer fungerer i prinsippet ved at en bit har én av to mulige tilstander; 0 eller 1. Ytelsesforbedringer skjer primært gjennom at prosessorene kan håndtere flere prosesser samtidig, eller at kalkuleringshastigheten økes gjennom ny teknologi. Men det er fortsatt én bit de håndterer, som enten er 0 eller 1. Kvantemaskiner har derimot den egenskapen at de, veldig enkelt forklart, har en bit som kan være både 0 og 1 samtidig. Det er tilnærmet paradoksalt sett ut fra dagens prinsipper, men denne egenskapen har potensialet til å gi oss uhyre raske og spesialiserte datamaskiner som kan regne med en kraft vi vil ha

vanskelig for å forestille oss – om forskernes spådommer slår til (6). Akkurat hva kvantemaskiner skal og kan brukes til er det foreløpig stor usikkerhet rundt. Selskapene og institusjonene som jobber med teknologien har utvilsomt store visjoner, men det faktiske utfallet er usikkert. Teorien bak kvantemaskiner er der, nå jobber man med det ingeniørmssige – fra å konstruere de faktiske prosessorene, til å lage algoritmene som kan regne gjennom en slik prosessor (7).

Avanserte algoritmer driver utviklingen

Fremveksten av teknologi for avanserte algoritmer, noe som gjerne er tett knyttet til eller har direkte sammenheng med ord som kunstig intelligens, maskinlæring og dyp læring, har gitt programmer egenskaper som i økende grad tar over for og erstatter menneskelig innvirkning. Teorien bak slike løsninger har eksistert lenge, for eksempel har nevrale nett vært et fag på universiteter en god stund, men det er først nå vi har regnekraft tilgjengelig til å bruke nevrale nett og dyp læring. Norsk Regnesentral har for eksempel holdt på med maskinlæring og kunstig intelligens i 20 år (8).



Smarte, avanserte algoritmer har blant annet gitt oss kunstig intelligens. Dette er grunnlaget for autonome biler, som med algoritmer har fått egenskapen at en datamaskin kan "se" sine omgivelser. Illustrasjon, Shutterstock.

Kunstig intelligens, maskinlæring, dyp læring og nevrale nett er forskjellige benevnelser for programvare og algoritmer som utfører oppgaver uten menneskelig påvirkning, samtidig som de selv lærer og utvikler seg. I praksis handler dette i stor grad om sannsynlighetsberegning og at en datamaskin evner å ta valg basert på sannsynligheter. Den store oppsiden er at datamaskiner kan gjøre mange oppgaver mye bedre, raskere og mer effektivt enn mennesker. Datamaskiner kan samle inn, håndtere og se mønstre i informasjon fra store og komplekse datasett som mennesker ikke kan, gjerne knyttet til komplekse problemstillinger. I sitt arbeid med autonome kjøretøy illustrerer Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI) dette med følgende eksempel: Hvis du skal besøke ti byer og ønsker å finne den korteste veien, er det over 3,6 millioner mulige løsninger. For tjue byer øker tallet over 2,4 trillioner. Hvis vi legger til nye dimensjoner og ønsker å finne den kombinert raskeste og billigste ruten, øker kompleksiteten vesentlig (9). Det er vanskelig for selv en supermaskin å finne den optimale løsningen, men for et menneske er det umulig.

En regnejobb av denne typen handler om å ta et optimalt valg, noe som ligger i kjernen av kunstig intelligens. Mye av forskningen, og da muligheten i fremtiden, dreier seg derfor nå rundt det som kalles dyp læring. Her søker man å skape algoritmer som kan jobbe etter en metode som etterligner hvordan hjernen vår jobber og lærer, slik at man kan trene datamaskinene til å lære seg hva som er en optimal løsning. Med rammeverket for dyp læring kan man fore datamaskinen med et enormt datasett den kan lære av, der visse faktorer er kjent for datamaskinen fra før, og på den måten veilede maskinen i læringen. Spesielt Google er langt fremme i denne utviklingen, med sitt DeepMind-prosjekt (10).

Det er nettopp algoritmene og kunstig intelligens som akselerer mye av den digitaliseringen vi ser rundt oss i dag, og eksemplene er mange. DNV GL har utviklet et program med maskinlæring som brukes i forbindelse med sertifisering av skip. Denne prosessen utføres normalt av mennesker med høyere utdanning og mye erfaring, men store deler av jobben består av å studere mengder av tegninger og dokumenter, ned til hver skrue på skipet, for å se om det er en type konstruksjon som tidligere er godkjent. Betydelige deler av denne jobben kan algoritmene nå ta over, en algoritme som bare blir smartere for hver tegning den analyserer, slik at ekspertene kan bruke sin kunnskap til mer komplekse og kreative prosesser (11). Cognite har utviklet kunstig intelligens med dyp læring, som blant annet skal predikere trender som vedlikeholdsbehov på tvers av hele offshore-bransjen. På den måten får algoritmene et veldig bredt datasett å lære fra, og kostnadsbesparelsene det kan gi industrien, gjennom å forutse statusen på maskinparken, er stor (12). Flere økonomi-, ressurskontroll-, og regnskapssystemer får nå også forskjellige nivåer av kunstig intelligens i seg, som blant annet kan brukes til å automatisk kjenne igjen hva en faktura gjelder, trender i datasettene som er for komplekse for mennesker å se, og automatisk sortere og svare på kundesvar (13). Med bred tilgang til forretningssystemene i et selskap kan slike algoritmer blant annet brukes til å finne og forutse underslag (14).

Kunstig intelligens er også ofte en løsning for det offentlige som må holde tritt med nye krav fra befolkningen, samtidig som de gjerne skal spare kostnader gjennom automatisering. Ett eksempel er NAV, som over de siste årene har begynt å digitalisere flere av sine tjenester, primært gjennom at eldre papirskjemaer kan fylles ut på internett. Foreldrepengeskjema er tatt et hakk lenger, og er nå i ferd med å få automatisk saksbehandling gjennom kunstig intelligens. Slike løsninger gir vesentlig mindre ventetid for brukeren, samtidig som NAV sparer menneskelige ressurser fra en oppgave som er manuell, repeterende og lite kreativ (15). Oslo kommune har også jobbet med et lignende spor, dog av en enklere karakter. Ved hjelp av en regelstyrt robot som utfører forhåndsprogrammerte rutiner skal kommunen få tatt unna mye rutinepreget arbeid, som i saksbehandlingen (16).

Teknologi for kunstig intelligens, maskinlæring og dyp læring vil fremover være en betydelig driver i alle sektorer, gjennom digitalisering. Spesialiserte algoritmer som dette kan trekke ut konklusjoner av langt større datasett enn hva mennesker vil klare, og de kan håndtere manuelle og repeterende oppgaver slik at mennesket heller kan frigjøre sin tid til å jobbe med kreative og strategiske oppgaver.

Økt tilgang på data

Den tredje store teknologitrenden som preger digitaliseringen i alle sektorer, er at bruken av og tilgangen til data har eksplodert de siste årene. Store datasett er på fundamentet for å trene opp og nyttiggjøre kunstig intelligens, samtidig som det er grunnlaget som lar datamaskiner se og



Med stadig mer datakraft og smartere algoritmer, har det blitt praktisk mulig å både samle mer data og å nyttiggjøre dem. Det gir helt andre utviklingsprosesser, noe SpaceX er et godt bevis på. Data samlet fra dagens rakettilandinger, er sentralt for veien mot mennesker på Mars. Foto: SpaceX

oppfatte verden rundt seg – og på den måten ta beslutninger på vegne av mennesker. En del av denne tilgangen handler om å nyttiggjøre data som allerede finnes, og en annen del om å plassere ut sensorer i virkeligheten som kan fange opp stadig mer data – gjerne omtalt som Internet of Things.

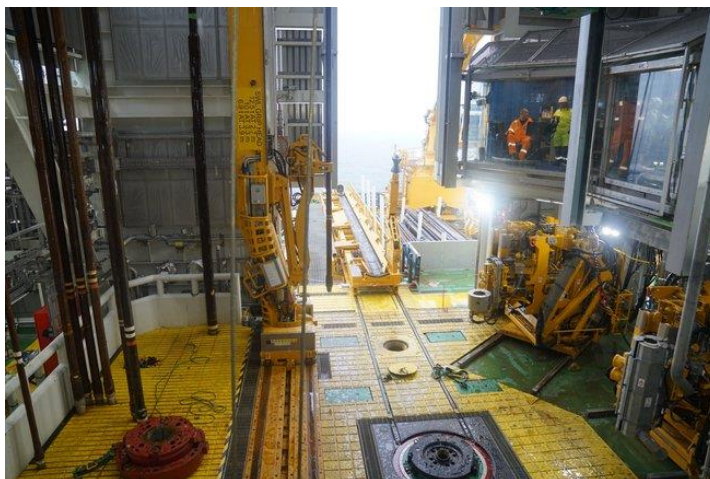
Et relativt nytt fenomen i arbeidet med å samle store datasett for å ta best mulige beslutninger, er at dataene samles opp på tvers av siloer. Som et eksempel kan vi se for oss et oljeselskap med flere plattformer i Nordsjøen, der det lenge har vært vanlig at hver produsent av de forskjellige komponentene på riggene har hatt hver sin løsning som samler data og presenterer noe av dette mot mannskapet på én av riggene. En helt ny type programvare-selskaper går nå inn og legger sin dataløsning over alle de forskjellige produsentene, slik at alle data fra forskjellige selskaper, produsenter og operatører kan integreres i én plattform, som så ved hjelp av kunstig intelligens kan gjøre prediksjoner. Selv om en motor på én plattform leveres av selskap X, og en annen motor på en annen plattform av selskap Y, kan dataene fra de to motorene ses i sammenheng. Det gjør det mulig å skape et mer helhetlig perspektiv i datasettet, enn om dataene kom fra én aktør eller én silo (17).

Datafangst i sammenheng med digitalisering driver også frem en ny måte å utvikle produkter raskere på. Den private romfartsaktøren SpaceX er et relevant eksempel. Selskapet var det første til å lande førstetrinnet til en romrakett etter oppskytning, for så skyte det opp igjen (18). Utviklingen av en rakett med slike egenskaper krever kompleks produktutvikling, og mye av årsaken til at SpaceX har fått det til har vært et fokus på å samle store mengder data, og lære av disse i alle sine mislykkete forsøk. Selskapet jobber nå med sitt første bemannede oppdrag, der de må evne å frakte astronauter tilbake til Jorden og gjennom atmosfæren – en brennhet og komplisert ferd. Selv om det er år til den første astronauten skal fraktes gjennom atmosfæren, har selskapet allerede lært veldig mye om hvordan de skal gjøre dette fordi de i årevis har utrustet alle sine andretrinsraketter med sensorer for å måle akkurat hva som skjer når disse kommer tilbake i atmosfæren og brenner opp (19). Datafangsten vil i en slik sammenheng erstatte faktiske tester, og er en arbeidsprosess som gir raskere utviklingsprosesser.

En betydelig faktor for utviklingen til tingenes internett, og da tilgangen på data fra langt flere sensorer, er utrulling av nye mobilnett-teknologier skreddersydd for sensorikk og datafangst. I Norge ruller både Telia og Telenor, de to operatørene av mobilnett, nå ut en kommunikasjonsteknologi kalt NB-IoT i sine mobilnett. Dette er en protokoll for 4G-nettverket spesiallaget for sensorer, slik at disse enklere og mer strømeffektivt kan sende inn data via mobilnettet (20). For den neste generasjonen av mobilnettet, 5G, er ikke økt hastighet lenger det viktigste momentet. Det sentrale er at 5G vil kunne takle at langt flere enheter er tilkoblet innenfor samme areal, og at nettverket kan skivedeles slik at operatørene kan opprette flere virtuelle nettverk innenfor en sone, med forskjellige egenskaper (21). Disse kommunikasjonsteknologiene er på mange måter fundamentet for en databasert verden, og kan ventes å gjøre betydelige utslag etter hvert som de rulles ut. Et fundament som dette vil gjøre det langt enklere å investere i «smartteknologi», noe blant annet en rekke kommuner nå utforsker. Konseptet er at en kommune for eksempel ønsker langt bedre innsikt i når komponenter i avløpsnettet trenger vedlikehold, gjennom sensorer i systemet. Et annet eksempel er BaneNor, som allerede er i gang med teknologi der data fra sensorer brukes til å predikere når komponenter på jernbanen kommer til å feile, som sporveksel (22) og strømforsyning (23). Teknologien er på et tidlig stadium, men har allerede forhindret flere hundre tog i å bli forsinket.

Teknologier som bedrer sikkerheten

Historien om teknologi handler også om at mennesker mister jobber eller må omskoleres, noe som først ble tydelig under den industrielle revolusjon. Det er en velkjent diskusjon med mange dimensjoner, men for denne rapportens del – med fokus på fremtiden – vil vi trekke frem et annet trekk ved teknologiutviklingen; sikkerhet for mennesker. Vel så mye som at teknologiutvikling drives av et ønske om effektivisering og forbedring, handler historien også om å øke sikkerheten for mennesker.



Ny teknologi bidrar ikke bare til økt effektivitet i industrien. Det er også med på å bedre sikkerheten for mennesker. Her illustrert ved et automatisert boredekk på Johan Sverdrup, et yrke som var utsatt for ulykker før teknologien kom. Foto: Eirik Helland Urke, TU.no

Som en av journalistene vi har intervjuet til denne rapporten sa; «det er ingen i oljesektoren som ønsker seg tilbake til forholdene som var på boredekket på 60-tallet, før robotene kom». De ansatte som jobbet rundt og over borestrengen, kalt «roughnecks», var spesielt utsatt for skader og ulykker. Som en følge av ulykkene kom det krav fra bransjen om å utvikle ny teknologi som skulle bedre sikkerheten. En følgeeffekt over tid har vært at disse prosessene som tidligere var manuelle, i dag blir stadig mer automatisert. En norsk gründerbedrift jobber nå med å sette i produksjon en helautomatisert borerigg som kan bore uten stans (24), en løsning som i tillegg vil ha vesentlig mindre behov for personell.

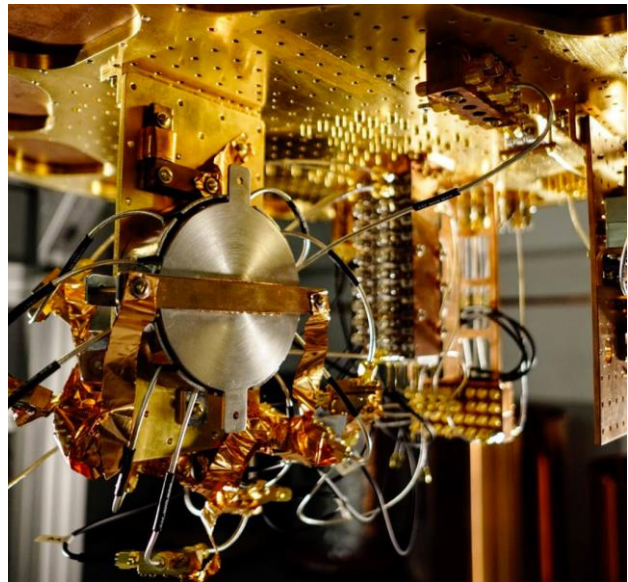
Lignende trekk kan vi se bak utviklingen av selvkjørende biler. Dette er en teknologiutvikling som i større grad er drevet av ønsket om høyere sikkerhet, enn av ny teknologi alene. De fleste ulykkene på veien skyldes en eller annen grad av menneskelig feil, en faktor som kan reduseres betydelig om vi lar datamaskiner ta over kontrollen slik vi har gjort i flyindustrien. Teknologien er foreløpig ung og det eksisterer lite data som viser dødeligheten i trafikken sammenlignet med konvensjonelle biler, med unntak av ett tilfelle. I 2016 fant en dødsulykke sted i en Tesla som var i selvkjørende modus. Det danner ett av få datapunkter i statistikken. Tesla hevdet da at det var det første kjente dødsfallet etter 210 millioner kilometer med selvkjøring aktivert, mens snittet i USA ligger på ett dødsfall per 150 millioner kilometer (25). En fordel med automatiseringsteknologi som dette er at når en ulykke har skjedd så implementeres det endringer som sørger for at den typen ulykker ikke skal skje igjen, på samme måte som vi ser i luftfarten. På den måten blir autonom teknologi stadig sikrere.

Gjennom smart bruk av data, stor datakraft og smarte algoritmer kan man i dag også forutse utfordringer, simulere og på den måten skape bedre sikkerhet og teknologi. Norge har en posisjon langt fremme her, både innen fysisk og virtuell simulering, som følge av olje- og gassvirksomheten. Havbassenget i Trondheim ga oss mange lærdommer og forskning om hvordan utstyr og skip ville oppføre seg på norsk sokkel (26), og nå jobbes det med planer om et nytt anlegg (27). Simulering i havbasseng med skalamodeller gir mange svar, men i takt med digitaliseringen blir også digitale simuleringer stadig mer avanserte, presise og reelle. Aker Solutions er en av de norske aktørene som har vært tidlig ute, og har gjort flere

betydelige sprang innen digital visualisering og simulering gjennom avdelingen IPORT Visionering (28). En annen privat aktør, Attensi, bruker simulatorer og spill til å trene mannskap om bord på skip i nødsituasjoner (29), og i Ålesund er det nå etablert et stort simulatorsenter for maritime operasjoner (30).

IT-sikkerhet

IT-sikkerhet er et tema som på generell basis har fått betydelig oppmerksomhet over de siste årene, med god grunn. IT blir stadig mer kritisk både for private selskaper og samfunnet som en helhet, og utviklingen skjer med en tidvis utrolig hastighet, men sikkerhetsaspektet henger ikke alltid med. Angripere blir stadig mer avanserte, ny teknologi er tidvis dårlig sikret og det er stadig mer å vinne på å knekke sikkerheten til IT-utstyr. Cyberangrep, som diskuteres nærmere i neste kapittel, er vist å sabotere anrikelsen av uran i Iran (31), sabotere industrier (32) og påvirke presidentvalg (33). Fokuset på IT-sikkerhet handler både om en rent teknisk sikring av infrastruktur, men også kultur. Ansvar for sikkerheten har derfor blitt flyttet stadig høyere oppover i selskaper (34), noe lovverket nå også krever. Dette skaper en mer strategisk bevissthet på utfordringen, tydeliggjør ansvaret, og henger også sammen med at stadig flere angrep handler vel så mye om sosial manipulasjon som noe rent IT-teknisk.



Kvantemaskiner kan være det neste store innen IT, men byr også på store utfordringer for en stadig mer presset situasjon for IT-sikkerheten. Foto: IBM

Hvis vi løfter blikket og ser fremover etter potensielle paradigmeskifter innen IT-sikkerhet, er det spesielt to teknologier som utmerker seg – blockchain og kvantemaskiner.

Blockchain har fått stor oppmerksomhet i finanssektoren, samtidig som mange mener den vil være sentral innen sikringen av tingenes internett, fremtidens logistikk og smarte kontrakter, og det amerikanske forsvarrets forskningsorganisasjon DARPA vurderer å bruke teknologien til å sikre landets kjernefysiske våpen (35). Årsaken til at «alle» vil ta i bruk blockchain er den grunnleggende sikkerheten som er innebygget. Teknologien gjør det mulig å se om noen har hatt innsyn i dataene, eller endret på dem, da alle endringer logges permanent. Det gjør at det vil være umulig for å en inntrenger å skjule sine spor (36). Denne typen teknologi kan bli sentral i digitaliseringen, fordi den høye graden av sikkerhet gjør det enklere å utvikle ny teknologi. E-helseløsninger og flere sensorer som går inn i paraplybetegnelsen tingenes internet kan sikres med blockchain (37), både for innsyn og for at man skal være trygg på at ingen har manipulert dataene. Gjennom sikkerhetsaspektet får også blockchain automatiserende egenskaper, slik at den for eksempel kan brukes til smarte forsikringskontrakter som kan betale ut oppgjøret uten at forsikringstakeren behøvde å opprette en sak, eller at forsikringsselskapet trenger å behandle den. Dette kan i noen grad fjerne kostnadene ved skadebehandling og redusere svindel (38). Potensialet for besparelser er stort gjennom både sikkerhets- og automatiseringsaspektet (39).

Et annet paradigmeskift innen IT-sikkerhet kan komme gjennom kvantemaskinene, på godt og vondt. Kvantemaskiner er omtalt tidligere i kapitlet og har potensialet til å levere en prosesseringskraft som er vesentlig bedre enn løsningene vi kjenner til i dag. Selve regnekraften er en stor mulighet, men også en betydelig trussel mot dagens krypteringsløsninger. I dag er såkalt asymmetrisk kryptering mest vanlig, som vil si at krypteringsnøkler genereres av to primtall som multipliseres med hverandre. Disse nøklene knekkes ved å prøve seg gjennom alle mulige kombinasjoner. Når tallene er tilstrekkelig store, blir dette en umulig oppgave for selv de største konvensjonelle datamaskiner. Kvantemaskinene kan imidlertid teste mange mulige løsninger i et ligningssett samtidig, og vil på sikt sannsynligvis knekke krypteringsnøkler på noen minutter. Selv om disse maskinene ikke finnes enda, har de potensialet til å gjøre alle eksisterende krypteringsløsninger ubrukelige så snart de fungerer. Problemet med det er at verden har mye data som ikke kan bli kjent offentlig selv om flere tiår, for eksempel innen forsvar, etterretning og helse (40). Den grunnleggende utfordringen er at det ikke lenger vil holde å øke nøkkelstørrelsen for å sikre data etter at kvantemaskinene er operative. Man må finne nye tallstrukturer å basere nøklene på, og kontinuerlig utvikle og oppdatere nye krypteringsteknikker (41). En av teknikkene det forskes på er såkalt «Lattice Based Cryptography», som har en tallstruktur selv ikke kvantedatamaskiner skal kunne knekke. Forskere verden over jobber nå med å klargjøre slike teknikker innen kvantemaskinene får sitt gjennombrudd (42).

Digitalisering

Digitalisering er et ord som har vært på «alles» lepper lenge, men nå begynner løsningene som henter ut faktisk verdi å komme. Det er bred enighet i teknologibransjen om at vi nå er i knekkpunktet for den digitale revolusjonen i industrien – en revolusjon som i hovedsak er knyttet til tre konvergerende faktorer. For det første er det nå en eksponentiell vekst i tilgjengelig data, og for det andre en meget sterk vekst i smarte algoritmer som kan ta dataene i bruk. Når disse to faktorene kombineres med den tredje, i praksis uendelig tilgjengelig datakraft, har man plattformen for en digital revolusjon. Likevel er det viktig å forstå at digitalisering egentlig *ikke* er teknologi. Teknologi er bare plattformen, verktøyet eller aktivatoren for digitalisering. Det er selve endringen som er digitaliseringen.

For å forstå hva som er den egentlige digitaliseringen vi står overfor, og hvordan den vil virke inn på forsvar, samferdsel og bygg, trenger vi ikke å se lenger enn til konsumentmarkedet. Tjenester og produkter rettet mot privatmarkedet har allerede vært gjennom en forrykende digitalisering som har endret hvordan hele verdikjeder formes. Uber, AirBnB, og hele mediesektoren er gode eksempler. Uber eier ikke en eneste bil, og er likevel verdens største taxiselskap. AirBnB eier ikke ett eneste soverom, og er likevel den største overnattingsaktøren i verden. Dette er aktører som gjennom teknologi har digitalisert sitt marked, og totalt endret måten vi konsumerer varer og tjenester på. Endringene har gjerne vært så store at gamle aktører har gått under i presset fra nykommerne. Hovedårsaken er ofte at digitaliseringen ikke bare fører med seg en ny måte å gjøre ting på, men også en global skalerings-effekt som slår etablerte aktører av banen før de rekker å reagere. Denne skaleringen er mye av nøkkelen til de to eksemplene, og også giganter som Google og Facebook.

Datagrunnlag: Artikler som er sitert i teksten, samt intervju med Tore Stensvold, Erlend Tangraas Lygre, Kurt Lekanger, Marius Jørgenrud, Harald Brombach, Martin Braaten Røise, alle journalister i Teknisk Ukeblad / Digi.no – samt Dr. John Markus Lervik, CEO i Cognite

Konsumentdigitaliseringen treffer industrien

Når digitaliseringen nå kommer over i industrien gjør den det i første omgang for å effektivisere. Avhengig av hvem man lytter til snakkes det om et digitaliseringspotensial fem ganger så stort i industrien som i konsumentmarkedet. Bare innenfor olje og gass, som i en verdensmålestokk på ingen måte er den største industrien, antydes det fra ulike hold et potensial for besparelser på rundt 300 milliarder dollar i året. For å sette slike tall i kontekst, er det her snakk om tre ganger omsetningen til Google – og det bare innen olje og gass. Uavhengig av hvilken rapport, stemme eller ekspert man referer til er det utvilsomt et enormt økonomisk potensiale i digitalisering, fordi teknologien vil røkke ved to sentrale faktorer: ineffektivitet og forretningsmodeller. Digitalisering kan effektivisere tunge arbeidsprosesser eller utveksling av informasjon, og la en utvikle helt nye forretningsmodeller som er bedre synkronisert med kundenes behov. Og nettopp derfor er potensialet så stort, fordi sammenlignet med konsumentmarkedet er norsk industri svært ineffektiv sett i et større digitaliseringsperspektiv.

Hva er grunnen til at konsumentmarkedet er milevis foran industrimarkedet? Ett av svarene er API-er (programmeringsgrensesnitt), og at verden baserer seg mer og mer på dem. Mange applikasjoner interagerer via API-er, som hovedsakelig betyr at de kan sende og motta deler av programvareinformasjon som gjør at spesifikke deler av én programvare kan aktiveres fra en annen programvare. Reiseapplikasjonen Ruter, for eksempel, har en åpen API som tillater

privatpersoner tilgang til sanntidssystemet deres. Dermed kan det utvikles applikasjoner som kan bruke akkurat disse dataene fra Ruter til å vise når bussen går. API-er blir en stadig viktigere del av IT-systemer, og selskaper bruker denne teknologien både innad og utad. For industrien, derimot, er dette nesten umulig.

Den største bremsen er gamle systemer og vertikal integrering. Komponenter klarer ikke å prate sammen hvis de ikke er rigget for det fra begynnelsen av. Man kan heller ikke implementere maskinlæring eller kunstig intelligens uten nok tilgjengelige kilder, og i store deler av industrien er de tungt tilgjengelige. Derfor kan selv enkle analyseoppgaver være vanskelige å utføre. Likevel kommer flere og flere av teknologiene som er utviklet i konsumentsegmentet nå inn i industrien. Skytjenester, datakraft, prosessering, båndbredde, lagring – alt er blitt billigere, og med det tilgjengeliggjøres også programvare, algoritmer, sensorer, droner, utvidet virkelighet(AR), virtuell virkelighet (VR) og mer.

Ifølge daglig leder og grunnlegger av Cognite, John Markus Lervik, vil databehandling være avgjørende for industribedrifters konkurransedyktighet fremover. Oppgaven blir å redusere kostnad, predikere vedlikeholdsbehov, utnytte maskinenes fulle potensiale, samt endre arbeidsprosesser for mennesker. Vedlikeholdet må og kan reduseres og optimeres ved hjelp av for eksempel sensorer. Disse kan danne grunnlaget for både prediktivt og tilstandsbasert vedlikehold på grunn av de store datamengdene de kan sende videre til programvare som tolker, kobler og ser data i en relasjon vi mennesker ikke klarer. Plasto AS, som spesialiserte seg på sprøyttestøping av plast, er langt fremme på dette området og har nå flere roboter enn ansatte i sine lokaler i Åndalsnes (43). Bruk av roboter i produksjon blir stadig viktigere for norske industribedrifter, spesielt for å holde utenlandske konkurrenter unna, samt holde produksjonen på norsk jord, og ikke minst ta tilbake produksjon vi har plassert ut i markeder med billig arbeidskraft. Derfor er det viktig at maskinene utnytter sitt fulle potensial. Mange steder kjører utstyr nemlig langt under kapasitet fordi det kjører på teoretiske data, ikke reelle data, og det oppstår unødvendig bruk av menneskelige ressurser. Arbeidsprosessen for mennesker må nemlig også endres. Til syvende og sist er det vi, ikke maskinene, som har siste ord.

I dagens industri er det denne delen av digitaliseringen som må være med å samle, lagre og tilgjengeliggjøre data slik at det blir like nødvendig som oksygen i luften. Det er digitale utveksling av informasjon som vil muliggjøre tids- og kostnadseffektivisering i norsk industri, være seg utvikling eller operative jobber. Spesielt kommer sistnevnte mer inn i industrien nå, der man fjerner mennesket i kjeden og heller bruker mennesker til de kreative og overordnede oppgavene. I en rapport fra Statistisk sentralbyrå omtalt i TU i 2015 spås det at en tredjedel av den norske sysselsettingen i stor grad vil bli utsatt for automatisering i løpet av de neste tyve årene (44). Et eksempel på dette er Ivar Aasen-plattformen. Sammen med Aker BP har Cognite i løpet av det siste året brukt denne til å teste kravspesifikasjoner til en stadig mer autonom oljeproduksjon (45). En viktig del av autonomiseringen fremover er visualisering, og i oljeindustrien utvikles det nå løsninger for å bruke denne på en operativ måte. Selskapet Visco lager programmer for navigering på komplekse installasjoner, med et brukergrensesnitt så intuitivt at man verken trenger manualer eller ingeniørutdanning for å navigere seg rundt (46).

Kort vei fra test til produkt

Det er altså ikke et spørsmål om den digitale revolusjonen vil gjøre fullt inntog i industrimarkedet, men *når*. Allerede finnes det eksempler på selskaper som, ved å utnytte data

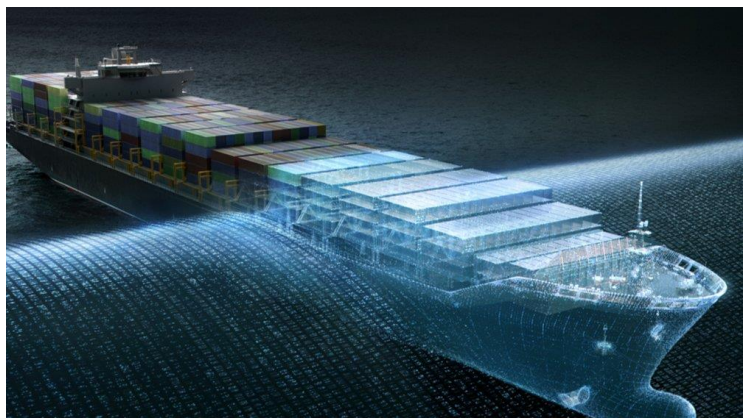
og datakapasitet, har snudd opp ned på tids- og kostnadsregnestykket i rigide industrier. SpaceXs arbeid med å gjøre førstetrinnsraketter gjenbrukbare ved at de kommer tilbake og lander på Jorden, er et godt eksempel (47). Etter en rekke mislykkede forsøk klarte selskapet i 2016 å lande førsteinnet, og siden har systemet vært tilnærmet stabilt. Dette er resultatet av prøving og feiling gjennom data frem til stabilitet er oppnådd – en utfordring man ikke kan løse kun ved hjelp av ingeniørarbeid på så kort tid. Hver krasjlanding har av selskapet vært omtalt ikke som et mislykket forsøk, men kostnaden ved å få gode data. SpaceX sin bragd med førstetrinnet er på mange måter essensen av slik vi må oppfatte digitaliseringen i dag: med riktig teknologi kan man effektivisere utviklingsprosesser, teste oftere, og lære mye mer av forrige forsøk.

Kilder fra Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) beskriver utviklingen av teknologi i dag som mer prosesskvalitativ enn før. Tidligere har man i større grad vært fornøyd med å bare få til noe, men i dag er man bevisst på kvalitet i prosesser, mye fordi det er tydelige krav til forventet kvalitet gjennom levetiden til et produkt i dag. Det stilles krav til kvaliteten på teknologiutviklingen fra brukerne, noe som også gjenspeiles i de ekstremt høye kravene til kvalitet en sektor som forsvarssektoren jobber etter. Utviklingen av JSM (Joint Strike Missile) er et slikt eksempel, der utviklingen startet for snart 16 år siden, og siste kvalifiseringstest ble utført i sommermånedene 2018 (48). I likhet med Falcon Heavy vil også JSM være klart for markedet så snart alle tester er komplette, fordi kundene selv har vært aktivt med i prosessen med å utvikle produktet og da selv definert egenskapene. Digitaliseringssessensen man kan trekke ut av eksempler som Falcon Heavy og JSM er at store mengder data, og riktig behandling av den, muliggjør prøve- og feilemetoden i stor skala. Feil gir større datagrunnlag, og større mulighet for å lykkes neste gang.

Digitale tvillinger

Den digitale tvilling-teknologien har eksistert siden tidlig 2000-tallet, men har ikke før de siste årene vært et kostnadseffektivt verktøy for industribedrifter. Dette takket være tingenes internett, som er en stor del av blant annet oljebransjens digitaliseringsagenda, der effektivisering må ta plass som følge av lavere oljepriser (49). Så hvorfor, og hvordan, er den digitale tvilling- teknologien så viktig for effektiviseringen?

Man kan se på en digital tvilling som en slags bro mellom den fysiske og den digitale verden, der man har en tro, programvarebasert virtuell kopi av en fysisk gjenstand som er full av sensorer. På denne måten kan man teste ut hvordan en ting vil fungere uten at konsekvensen av potensielle feilskjær blir stor. Spesielt i skipsindustrien jobbes det med å tilby disse tjenestene, og det finnes allerede enormt mange sensorer om bord på skip som genererer store mengder data. Dersom disse samles inn og analyseres på riktig vis vil man kunne bygge opp en digital modell av skip på land. I tillegg til uttesting av nye komponenter vil denne kopien også fortløpende vise skipets drift, drivstofforbruk, energiflyt, tilstand på utstyr og



En digital tvilling av et skip, her illustrert av Rolls-Royce.

vedlikeholdsbehov fordi alle oppdateringer er tiltenkt å foregå i sanntid. Flere store aktører, som Wärtsilä, Kongsberg Maritime og Rolls-Royce tilbyr allerede slike tjenester for sitt utstyr. Et konkret eksempel på dette er KognifAI, en plattform utviklet av Kongsberg Gruppen (50).

Dette skal være grunnlaget for et helt økosystem av digital samhandling og vil kunne utnytte alt som er av sensorer, tingenes internett, kunstig intelligens, maskinlæring og autonomi. Ifølge uttalelser gjort av administrerende direktør i Kongsberg Digital, Hege Skryseth, i TU.no i mars 2017 vil applikasjonen åpne for samarbeid mellom flere. Alle applikasjonene på plattformen er nemlig integrert slik at brukere kan samle, lagre, kombinere, analysere og ta i bruk data de generer. Flere pilotkunder har testet plattformen, deriblant et containerskiprederi som har prøvd ut både fjernovervåking, integrert navigasjon og ruteplanlegging. Foreløpig har Kongsberg levert sensorer, utstyr og komponenter, samt kontroll- og automasjonsutstyr, til 18 000 skip.

Potensialet for smartere bruk av data i skipsindustrien er stort, og DNV GL tar også del. De tilbyr en leverandøruavhengig digital plattform for digitale tvillinger (51). Med plattformen Veracity er målet også å bruke data og programvare til å analysere og kombinere informasjon slik at man får økt kunnskap og innsikt. Faktisk jobber også DNV GL, sammen med Rolls-Royce Marine, NTNU og Sintef, nå med å utvikle en Open Simulation Platform (OSP) (52). Plattformen skal ha åpen kildekode og skal brukes i utvikling og drift av nye skip. En av utfordringene i dag er nemlig at alle leverandører av komponenter og systemer har sin egen programvare med lukkede lisenser. OSP vil ha som oppgave å bygge en digital bro mellom disse og med det åpne for en helt ny måte å simulere og gjøre endringer på både deler og systemer.

Med delte digitale plattformer vil man med digitale tvillinger oppnå gevinster ikke bare på tvers av selskapets avdelinger, men på tvers av selskaper i industrien. Fremtiden er plattformbasert, og nøkkelen til å overleve baserer seg i stor grad på å adoptere teknologier raskt. Men, disse teknologiene er fortsatt i en tidlig fase, og noen utfordringer har det vært (53). Som Inge André Sandvik, direktør i digitale tjenester i Wilhelmsen, uttaler på TU.no i mai i år: «Vi får bare analysert 1,5 prosent av alle dataene vi får inn, og mengden øker eksponentielt». Skipsindustrien lener seg mer og mer mot det autonome, og tar med det i bruk mer sensorteknologi. Dette fører til en endeløs samling av data, der mye ikke er relevant, og man må derfor skille ut hvor forskjellige data sendes. For eksempel må kritisk viktig analyse skje om bord og løsningen kan være å overføre kunnskapen de skybaserte tjenestene har tilegnet seg via maskinlæring og kunstig intelligens.

Fjernstyring

I det omfattende begrepet fjernstyring ligger det mye historie, både i norsk og internasjonal industri, noe som kan forlede noen til å misforstå den rivende utviklingen som skjer på feltet. I industrien har fjernstyring av systemer ofte blitt illustrert med kontrollrommet i prosessindustrien, der operasjonene styres og overvåkes. Disse systemene har i mange tiår belaget seg på enkle sensorer for overvåkning og aktuatorer for utføring av oppgaver. Det typiske eksemplet er et anlegg der trykk og temperatur overvåkes for så å kunne korrigeres med ventiler og styring av varmeanlegg.

Det går en rød tråd fra det tradisjonelle kontrollrommet til fremtidens visjon av hva fjernstyring innebærer. Først og fremst involverer det langt flere industrier enn prosess- og

energiindustrien. Derneft involverer det langt mer avanserte sensoriske instrumenter og utføring av arbeidsoppgaver. Vi kan dele opp utviklingen i tre områder:

- 1) En utvikling i sensorenes muligheter og nøyaktighet. Fra enkle elementer som blir påvirket av relativt ensidige faktorer, termoelementer som kun påvirkes av temperatur, har man nå gjerne grupper av sensorer som til sammen leverer sensordata. Det kan være vanlige sensorer slik man kjenner de fra prosessindustriens historie, eller moderne sensorer som bildebrikker for video, infrarøde sensorer og liknende.
- 2) Utvikling i transportlaget mellom sensorer, kontrollrom og aktuatorer. I begynnelsen av prosessindustrien bestod dette av enkle linjer der informasjonen ble transportert elektrisk, for eksempel ved å formidle motstanden i et termoelement ved temperaturendring. Med digitale nettverk endret transportlaget seg radikalt og kapasiteten for overføring av data ble øket med mange størrelsesordener. Samtidig åpnet man for nye sensorer for video, og etterhvert høyoppløselig video. Transportlaget gjorde det også langt enklere å gjøre kommunikasjonen toveis, over samme linjer.
- 3) Økte mulighet for overvåkning og handling. Med digitaliseringen økte muligheten for å kunne gjøre flere oppgaver parallelt, og skape bedre miljø for overvåkning og fjernstyring. Spesielt automatisk rapportering av avvik og unormale hendelser i et anlegg mangedobler kapasiteten til de ansatte. Igjen kommer bildesensorer inn som et paradigmeskiftende element i bransjen, som illustrert i eksemplene under.

Kongsbergs fjernstyrte våpenplattform som omtales i kapittel 2.1.4 (54) kombinert med norsk missilteknologi (55) var starten på det som kan bli en standard for fjernstyring av komplekse systemer. Et godt eksempel er luftfart, der sensorikk som radar og manuell styring av fly har konsolidert overfart, men takeoff og landing krever at kontrolltårnet er bemannet på flyplassen. Ved å bruke fjernstyrte tårn med høyoppløselig video og andre sensorer, kan flere flyplasser betjenes fra et sentralt kontrollrom. Pilotprosjekter på dette er underveis i blant annet Bodø (56) og kan føre til store innsparinger i luftfarten, samt gjøre tilbudet bedre for de mange små flyplassene i landet.

Oljesektoren er en bransje godt kjent med fjernstyring av anlegg, noe som til nå har vært vanskeligere offshore. Nå tas fjernstyring i større og større grad inn i offshore også, og tar over stadig flere oppgaver som tidligere krevet personell på stedet til å observere, rapportere og utføre oppgaver. Selv på boredekket kommer fjernstyring og automatisering inn i form av roboter som kan utføre fjernstyrte oppgaver (57). Innen maritim sektor kommer en rekke oppgaver til å fjernstyres for økning av effektiviteten i bransjen. I Danmark er en fjernstyrt taubåt under bygging, en båt som skal utføre vanlige oppgaver for taubåter i havnebassenget (58). Fjernstyring av oppgaver avgrenses mot autonomi, der mennesket er delvis eller helt koblet ut av prosessen med å hente inn, behandle og handle på data. Kort oppsummert kan fjernstyring forklares som maskinvaredelen av et system, mens autonomi er et ekstra lag med programvare på toppen av det samme systemet. Et system som fullt ut kan fjernstyres er i prinsippet klart for neste innovasjon i automasjon.

Kyberkrig og digitale trusler

Internettet åpner for at stadig flere enheter, prosesser og tjenester kobles sammen. I tillegg blir det mer og mer vanlig å kvitte seg med datarommet til fordel for skyløsninger – både «hjemme» og i andre land. Selv om dette fører med seg store digitale muligheter, har de samme trendene som gir dette fotfeste også dannet en plattform for digital krigføring og kyberangrep mot både stater og bedrifter.

Konsekvensene av et ondsinnet angrep kan være enorme. Ta WannaCry, for eksempel, viruset som i 2017 rammet over 120 land og satte viktige samfunnsinstitusjoner som sykehus ut av spill (59). Nasjonal Sikkerhetsmyndighet (NSM) mente den gang at Norge slapp lett unna fordi vi er et land med relativt høy IT-sikkerhet, med nye maskiner og nye systemer. Likevel viser NSMs ferskeste risikorapport at Norge står overfor en økende risiko for å bli rammet av sikkerhetstruende hendelser (60). Rapporten beskriver en negativ utvikling av trusselbildet, og støtter opp under en undersøkelse gjort av PwC i 2017, der 74 prosent av de over 300 bedriftslederne, IT-lederne og sikkerhetsspesialistene forteller at de ble utsatt for phishing-angrep de siste 12 månedene (61).

I Norge kjenner vi på de stadig økende cybertruslene. I 2014 ble norsk olje- og energibransje utsatt for det mest omfattende hackerangrepet noensinne, ifølge NSM (62). NRK rapporterer at bare i fjor ble det utført 5000 reelle cyberangrep mot Norge, en økning med 15 prosent fra året før, og PST og E-tjenesten forteller om økende trykk fra Russland mot norske nettverk. Tidlig i 2018 iverksatte PST etterforskning av nettverksangrep mot datasystemene til Helse Sør-Øst med mistanke om at noen til fordel for en fremmed stat samler inn opplysninger som kan skade nasjonale interesser om samfunnets infrastruktur. Dette førte til at Helse Sør-Øst gikk ut av en kontrakt om utflagging av sin IKT-infrastruktur, nettopp fordi trusselbildet for datasikkerhet har endret seg så drastisk de siste årene (63). I april 2017 opplyste svenske sikkerhetsmyndigheter om avsløring av et omfattende angrep rettet mot flere store IT-selskaper i Europa, der Norge var et av de utsatte landene (64). Opprinnelsen av angrepet, kalt Cloud Hopper, var trodd å komme fra Kina, med dette kan ikke sies sikkert da angriperne kan ha plantet spor for å villedde etterforskerne (65).

Så hvordan forholder vi i Norge oss til dette trusselbildet? Med det oversiktsbildet mange Digi.no-journalister har på området, peker de på Norges bemanningssituasjon som en av årsakene til resultatene i NSMs rapporter. Mange mener at dersom man tar seg en utdanning innen IT-sikkerhet i dag vil man være sikret jobb for resten av livet. Foreløpig er det derimot for liten kompetanse på IKT i landet, det viser en undersøkelse utført av IKT-Norge i fjor (66). Her kommer det blant annet frem at 38 prosent av norske IT-bedrifter i 2017 hadde ledige IT-stillinger de ikke fikk besatt, og at bare 10 prosent outsourcet som følge av dette. Undersøkelsen viser også at en av de største utfordringene med å få tak i den rette IT-kompetansen i Norge er at søkerne mangler spesifikk spisskompetanse. I en artikkel på Digi.no publisert i mars 2018 heter det at «Norge mangler i dag 2000 personer med kompetanse i IKT og datasikkerhet, som universitetene burde utdanne» (67). I uttalelser fra Abelia-sjef Håkon Haugli, i samme artikkel, anses det som en god idé å innføre økonomiske incentiver for at universiteter og høyskoler skal utdanne arbeidstakere samfunnet har behov for. Ifølge en rapport fra Nordisk institutt for studier av Innovasjon, Forskning og Utdanning er det igangsatt særskilte satsninger for å styrke utdanning og forskning innen IKT-sikkerhet (68). NTNU, Universitetet i Bergen og OsloMet er noen av universitetene involvert. Et annet tiltak som regjeringen jobber med, er å utrede mulighetene for et digitalt grenseforsvar (DGF) (69). Dette dreier seg i hovedsak om at all datakommunikasjon som passerer Norges landegrenser over fiberkabler skal lagres.

Målet vil være å forebygge terror og beskytte mot digitale trusler, med blant annet å gi adgang til E-tjenesten, som skal foreta målrettede søk etter godkjenning fra en domstol. Av daværende forsvarsminister Ine Eriksen Søreides innlegg på regjeringen.no i 2017 lyder følgende: «De mest avanserte digitale truslene mot Norge har vi i dag ikke muligheten til å avdekke. Våre systemer er ikke laget for å fange opp disse. Norge trenger et digitalt grenseforsvar!» (70).

I dag er det mulig å sette et land i knestående uten å bruke våpen gjennom kyberkrigføring. Det kan være skremmende, men er en realitet. Heldigvis finnes det flere aktører som er langt fremme på utviklingen av cybersikkerhet. Cisco er for eksempel nå de første i verden som, ved hjelp av maskinlæring, klarer å analysere kryptert datatrafikk ved bruk av noe de kaller Encrypted Threat Analytics (71). Dette betyr at et ondsinnet angrep ikke lenger kan gjemme seg i datatrafikken mellom brukeren og tjeneste-serveren – et sikkerhetsbrudd som vil stikke kjepper i hjulene for angripere fremover. Et trusselbilde med en økningstakt og forandring lik den vi ser akkurat nå krever at staten utvikler nye måter vi kan beskytte oss på.

Energi

Energi kan verken skapes eller ødelegges, kun overføres fra én form til en annen. Med oppfinnelsen av dampmaskinen gikk startskuddet for et teknologikappløp allerede på 1700-tallet. Oppfinnere verden over søkte muligheter til å utnytte denne kontrollerbare kraften. Paradigmeskiftet kom da man fant ut hvordan dampkraften kunne brukes i en dampmotor, en oppfinnelse som var fundamentet for den industrielle revolusjon. Med oppdagelsen av olje- og gassbasert energi utover 1800-tallet hadde mennesket en mer fleksibel og anvendbar energikilde enn ved og kull i en dampmotor, men det var først med utbredelsen av elektrisitet at vi mennesker virkelig fikk kontroll på energien slik vi er vant med i dag.

Elektrisitet gjorde at vi hadde en energikilde som i større grad kunne styres, ved at den relativt enkelt kan overføres over lange avstander, gjøres disponibel i stikkontakten akkurat når vi føler for det, og brukes til nesten hva som helst. Uttaket av energi gjennom elektrisiteten gjorde også at to andre energikilder mennesket kjente til, vann og vind, ble langt mer anvendbare.

Med god tilgang på elektrisitet fikk vi raskt en holdning til og avhengighet av at energi alltid er til stede, disponibelt for oss slik vi selv ønsker, uansett kilde. En holdning som er fundamentet til vårt forhold til energi i dag, og utviklingen videre.

På verdensbasis er fossile energikilder som kull, gass og olje dominerende, men vi lever akkurat nå i et tydelig skifte mot fornybar energi. Norge er har god tilgang på olje, gode forhold for vannkraft, gunstige vindforhold flere steder i landet (72), og vi har gode forutsetninger for solenergi. Spesielt den tidlige tilgangen på vannkraft gjorde at Norge kunne bygge ut kraftkrevende industri tidlig på 1900-tallet, som er en viktig grunn til at nordmenn nå er blant verdens mest elektrifiserte forbrukere (73). Innen alle fornybare felter jobbes det med teknologiutvikling som driver skiftet mot fornybare energikilder stadig fremover. Flere av de fornybare kildene har et fortrinn i at de flyter rundt oss hele tiden, og ikke krever massive investeringer for å hentes ut fra en lagret tilstand – slik olje og gass må. Solceller blir stadig mer effektive, men ikke minst billigere. Vindkraften kan nå høstes langt til havs og fra høyere master enn før. Selv om sprangene ikke er like store for vannkraft, blir teknologien stadig mer effektiv, og det samme magasinet kan da produsere mer energi.

Parallelt med arbeidet som gjøres for å finne bedre måter å høste fornybar energi, jobbes det iherdig med å finne nye metoder for å lagre elektrisk energi på, og ikke minst hvordan energien nå skal distribueres som en konsekvens av at de fornybare kildene som oftest har en mer variabel og lokal karakter enn de fossile. En av utfordringene med de nye fornybare, og dels de fossile, energikildene er at vi ikke nødvendigvis kan slå dem av og på når vi trenger dem. Et gasskraftverk trenger gjerne timer for å starte opp om forbruket brått øker, og et vannkraftverk minutter. Vind og sol er umiddelbare, men de er styrt av at vinden ikke alltid blåser og solen ikke alltid skinner.

For å gjøre skiftet til fornybar energi komplett forskes det på nye metoder for å lagre energien, slik at denne kan konsumeres i nettet når produksjonen er lav, eller for å ta unna kraftige toppler i forbruket. Dette er tverrfaglig forskning som krever innsats fra en rekke disipliner. Energitypene er både flytende og lagret, produksjonen er lokal og sentral, og forbruket av energi blir stadig mer ujevnt gjennom døgnet. Og midt mellom alt dette er det naturens lover som setter rammene, der er vann tyngre enn luft, tyngdekraften tilnærmet konstant og kjemiske forbindelser som kan holde nøkkelen til en grønn fremtid.

Med skiftet til fornybar energi har det også fulgt en mer distribuert produksjon av energien, en trend som har sammenfalt med at også energibransjen for alvor digitaliseres. Med smarte strømmålere, distribuert kraftproduksjon og batteriteknologi som kommer under et kritisk prispunkt står vi foran opptil flere paradigmeskifter som potensielt kan inntreffe samtidig.

Datagrunnlag: Artikler som er sitert i teksten, samt intervju med Odd Richard Valmot, Roald Ramsdal, Marius Valle, Ina Steen Andersen og Jannike Nilsen, alle journalister i Teknisk Ukeblad – samt Andreas Thorsheim, CEO i Otovo

Fornybare energikilder i rask vekst

I dag er det ikke lenger tvil om at verden skifter mot fornybare energikilder. I hjemlige strøk er Tyskland et godt eksempel. Som en tidligere kull- og atomkraftnasjon har landet vært gjennom en tydelig transformasjon. I år produserte landet for første gang i løpet av ett bestemt døgn nok fornybar energi til å dekke hele landets forbruk (74) inneværende døgn, og det kun fem år etter at de dekket halve forbruket sitt (75) innenfor et døgn. Det er riktig nok et godt stykke til at forbrukes kan dekkes gjennom et helt år, men utviklingen er tydelig. Landet har i likhet med flere andre land vedtatt å stenge alle sine kjernekraftreaktorer, innen 2020, og landet har satt ned en kommisjon som skal legge en plan for å få faset ut all kullkraft. I 2015 ble det i EU bygget mer vindkraft alene enn kull og gass til sammen (76). Ifølge en studie utført av NVE var vindkraft samme år billigere å produsere enn kull- og kjernekraft. Men vannkraft er fortsatt den billigste måten å produsere energi, med omtrent halve prisen av kull (77). Store deler av verden har en større overgang foran seg enn Norge, da fornybare energikilder i lang tid har vært dominerende her. Det er imidlertid en også andre temaer enn den rene energikilden som gjør at også Norge må innovere og utforske andre former for fornybare energikilder.

Nordmenn er storbrukere av strøm, og da spesielt til oppvarming. Mange eldre boliger varmes opp med panelovner i stedet for mye mer effektive varmepumper og mange har vesentlig dårligere isolasjon enn nye boliger. Kombinerer man høyt forbruk av elektrisk energi til oppvarming med bevisstheten rundt energiforbruk, inneholder forbruket i norske boliger en stor energireserve (78). Akkurat derfor har myndighetene fremmet programmer som ENØK, der man gjennom holdningskampanjer og tilskudd ønsker å redusere unødvendig energibruk (79). I Norge er det anslått at energireserven i bygg ligger på mellom 20 og 40 TWh, altså 15 % - 30 % av energibruken. Gjennom ny teknologi, prismodeller og bygningskrav kan forbruket reduseres, noe som er et viktig og ofte glemt komponent av energidebatten. Samtidig eksisterer det allerede teknologi som med enkle grep kan redusere forbruket, slik som varmepumper som gir mye varme per kilowatt.

Når man kobler energisparing med de teknologiske trendene dette kapitlet tar for seg, og ny får endepunktene i strømmettet, nodene, en økende grad av «makt» i forhold til navene. Prusbildet og politiske avgjørelser virker også inn, som EUs energipakke (80) og eksisterende incentiv i Norge som gagnar lokal, fornybar produksjon mer enn store kraftverk.

Teknologiutviklingen i seg selv vil etter all sannsynlighet gi viktige knekkpunkter for fornybare energikilder i løpet av de neste årene, som sammen drar prisen av «nye» former for energi betydelig ned. Prisen på solceller nærmer seg nå et så lavt nivå som lar den utkonkurrere flere energikilder store deler av døgnet. En grunnleggende motstand mot solenergi stammer fra en historie der vi måler alt i sammenheng med vannkraften, men vannkraften er en eksepsjonelt billig form for kraft (81). Solcellene kan konkurrere i all den

tid de legger seg under kull og gass, noe de nå er nær ved å gjøre i stadig større deler av døgnet (82), og er nå den raskest voksende energikilden i verden (83).

Virkningsgraden og produksjonseffektiviteten blir også stadig forbedret, blant annet gjennom arbeidet som SINTEF og NorSun gjør på sistnevnte fabrikk i Årdal, som nå ønsker å tidoble produksjonen etter ny forskning (84). En av Norges fremste eksperter på området mener at kraftbransjen nå møter sin største endring på 100 år primært som en følge av slik desentralisert kraftproduksjon, hvor selskap spesialiserte seg for eksempel på å distribuere strømmen for tusenvis av privatboliger som har montert solceller på taket (85).

Vindkraft har også et betydelig fotfeste nå, og slår sentralprodusert kraft fra gass, kull og atom på pris med god margin, og marginen vil i løpet av noen år være god nok til at man kan utvikle så mange vindkraftfelt at det vil utjevne det at vind er en ustabil kilde gjennom døgnet (86). Dette kommer både av en generell utvikling av teknologien, og nye kvantesprang. På land monteres det nå stadig større og kraftigere turbiner, snart på opptil 10 megawatt. På landjorda er imidlertid tilgjengelig areal en begrensende faktor, både rent teknisk, av lokal motvilje til å ha møllene i bakgården og av miljøhensyn (87). Det store prisfallet fra vindkraft kommer imidlertid nå mest av ny teknologi som lar en bygge vindkraftanleggene på en annen måte. I Sverige skal vindparken Årjang utvides med den neste generasjonen landbaserte vindmøller, som primært kjennetegnes ved at de er rundt 250 meter høye (88). Disse vil levere en vesentlig høyere effekt, uten at investeringen er spesielt mye større enn tidligere. Den store fordelene med slike vindmøller er at man kan plassere de midt i skogkledde områder, der møllene rager høyt over tretoppene. På den måten får vindmøllene jevnere vindforhold enn de gjør plassert mellom fjelldaler eller langs kysten. Samtidig har det nylig skjedd betydelige gjennombrudd for havvind. En teknologisk milepæl her er det norskutviklede Hywind-anlegget utenfor Skottland. Siden vindmøllene flyter i vannet kan de anlegges i vindgunstige områder selv om disse er i havområder med store dyp (89). Havvind er foreløpig dyrere enn landvind, men ifølge en rapport fra det internasjonale energibyrået kan den bli billigere enn både landvind og solkraft i løpet av få år (90). Vindkraften i Norge passerte i fjor 1 gigawatt installert kraft, et nivå det tok oss 15 år å komme til, men allerede i år er det forventet at dette tallet har doblet seg. Årsaken til denne utbyggingstakten er i stor grad at vind i flere og flere tilfeller er billigere enn vannkraft, ifølge NVE (91).

Flere nye metoder for høsting av fornybar kraft er også under utvikling eller på forskningsstadiet. Blant disse finner vi bølgekraft (92), termoelektriske elementer (93) og piezoelektriske elementer (94). Også her er driveren ny teknologi, som senker den totale levetidskostanden av et anlegg.

Det tredje viktige knekkpunktet i teknologiutviklingen som vil presse frem skiftet mot fornybar energi er utviklingen av batterier. Batterier har gått gjennom en jevn utvikling som har forbedret kapasiteten og egenskapene, men i likhet med solceller er det et solid prisfall som gir teknologien et fotfeste. Mer spesifikt er batterier nå en viktig teknologidriver fordi de oppnår «grid parity», altså at strømmen fra en batteripark koster det samme som strømmen i nettet. Det gjør at billig, lokal kraft kan slå andre former for energi, og at fornybare kilder som ikke er konstante gjennom døgnet kan få nettopp den egenskapen fordi batteriet jevner ut strømforsyningen.

I sum ser vi altså en serie teknologiske innovasjoner og utviklinger som har gitt fornybare kilder nye egenskaper, bruksområder og ikke minst et prisfall. Samtidig har politikken vært en betydelig driver og, gjennom ambisiøse klimamål og krav fra myndighetene, både nasjonalt

og internasjonalt, herunder forventning om stadig økende kvotepriser på karbon som vil gjøre fossil energi mindre lønnsomt. Kombinert med utviklingen av billigere og bedre teknologi for lagring eller bæring av energi er mye av fundamentet nå på plass for en fornybar fremtid som kan utkonkurrere fossile og fissile former for energi. Samtidig er en betydelig del av fremtidshistorien om overgangen til fornybare kilder også en historie om en overgang til mer lokal produksjon.

Et sentralt fordelingsnett eller lokal produksjon

Utvidet bruk av solceller og vindkraft gjør det mulig at stadig mer av kraftproduksjonen kan skje mer lokalt enn hva den gjør med vannkraft. I en potensiell fremtid med en vesentlig større andel lokal produksjon, kommer vi da dit at vi ikke lenger trenger et sentralt høyspentnett slik vi kjenner det i dag, men heller flere distribuerte, lokale nett? Blir det flere noder, og færre nav i energinettet? Kan vi på den måten gjøre noe med det massive effekttapet et strømmnett har gjennom at det transformerer spenningen opp til 420 000 volt for høyspentlinjene og i enkelte forbrukssituasjoner ned til under én volt?

Den totale produksjonskapasiteten i Norge lå i 2017 på 33 gigawatt, og det høyeste dagsforbruket vi noen gang har hatt er rundt 24 gigawatt (95). Selv om vi altså i beste fall bare bruker 75 % av vår produksjonskapasitet, betyr ikke det nødvendigvis at det er et overskudd på 25 % i hele landet. Strøm må i utgangspunktet produseres akkurat samtidig som forbruket skal skje, og den skal helst produseres relativt nære der forbruket skjer. Det nytter ikke å produsere strøm i Finnmark om det er overforbruk i Agder, fordi avstanden er for stor. I enkelte områder kan forbruket være 100 % av kapasiteten, i andre 50 % (96). Samtidig produseres det også ekstra med strøm for eksport.

Spesielt industrien trekker store strømlaster, og er avhengig av å ligge i nærheten av kraftverkene. Vemork kraftstasjon på Rjukan er et eksempel, som ble bygget av Hydro og satt i drift i 1911 for å forsyne saltpeterfabrikken på Rjukan med strøm, og Hydros aluminiumsanlegg på Vestlandet ligger også tett knyttet til vannkraftverk. Når selskapet skal fremstille aluminium trenger de store mengder effekt, og den effekten må være stabil. Vi har et godt strømmnett i Norge som leverer fornybar energi, men det er i strømmens natur at den ikke kan reise uendelig langt uten betydelige tap. Derfor er det et underliggende ønske om å utnytte kraften der den er, om den så kommer fra vann, vind eller sol, men det er vanskelig å gjøre dette kontinuerlig i praksis – og der kommer fordelingsnettet inn, altså det nasjonale høyspentnettet. Med utbredelse av nye teknologier, som elbiler, solcelleanlegg på private hjem og AMS-målere, vil behovet for en måte å fordele strømmen utover landet om noe kanskje bli viktigere, men da på en helt annen måte enn før.

Med elbilene som nå kobler seg på nettet i tusentall hver ettermiddag, og drar til seg store mengder strøm samtidig, fra alle mulige noder i nettet, møter strømmnettet et scenario det i utgangspunktet ikke var designet for mange steder. Som eksempelet skal illustrere er det lokale nettet i Oslo i utgangspunktet ikke designet for store, samtidige laster fra hver eneste boenhet (97).

Et sentralt spørsmål er da hva som skjer på *forbrukssiden* av energinettet om hele nabolaget får elbil. 66 % av nybilsalget i 2017 var biler med lademulighet, altså både hybrider og helelektriske (98). NVE har i en studie tatt for seg Nasjonal Transportplans «disruptive scenario», et scenario der alt virkelig skal klaffe for elbilene. Det innebærer at det er 1,5 millioner elbiler i 2030. Det gir et energibehov på 4 terrawattimer (TWH) årlig. Med en

årsproduksjon på drøyt 130 TWH i dag utgjør altså selv dette scenarioet bare rundt 3 % av det totale forbruket. For øvrig er det også 8,5 TWH ny vindkraft under utbygging i Norge i dag, som altså er mer enn det dobbelte av hva vi trenger til et ekstremt elbilsscenario (99). Når all transport, fra ferger, tog og trikk til personbiler og lastebiler regnes inn, er det snakk om et behov på 13 TWH. Fortsatt bare rundt 10 % av forbruket vårt. I det store bildet er det ikke så mye, men det er likevel et fordelingsproblem (100). Dette har allerede blitt synlig i enkelte gater i storbyene, der mange elbiler starter ladningen samtidig, men er spesielt gjeldende for blokker i for eksempel Oslo (101). Med en parkeringskjeller med for eksempel 100 biler vil det i få tilfeller være mulig at alle kan lade samtidig direkte fra strømmettet, fordi mange trafostasjoner kan bli overbelastet. Investeringer må gjøres over tid, men heldigvis sammenfaller nordmenns elbil-forelskelse med digitalisering og ny teknologi som gjør utfordringen mindre. Med ny teknologi for dynamisk energistyring legges et smart lag på toppen av nettet, slik at toppeksplosjonen i forbruket kan distribueres og jevnes ut. På den måten kan de 100 parkeringsplassene komme unna med en tilgjengelig kapasitet tilsvarende en tiendel eller mindre av totalen, fordi teknologien fordeler belastningen automatisk ut fra tilgjengelig kapasitet (102). Slike teknologier kommer parallelt med at myndighetene og energiselskapene nå utforsker om det skal innføres effekttariffer, der strømmen er dyrere i perioder med høy belastning, og AMS-målere, som vi dekker senere i denne rapporten.

Over en periode på bare noen år har mye av posisjonen til fordelingsnettet endre seg, men ikke bare fordi forbruket trekker mot et annet mønster enn tidligere. De fornybare energikildene, og da spesielt solkraft, driver frem høyere andel lokal produksjon, som bidrar også til at det kan bli flere noder og færre nav i nettet. Både i form av mindre, lokale kraftverk, men ikke minst at strømkundene selv blir produsenter. Med solceller på taket, et eget batteri i kjelleren, og et enormt batteri på fire hjul, har en privatperson egentlig det som trengs for å være sin egen, lokale produsent av høykvalitetsenergi. Teknologien er der, men nå har også myndighetenes reguleringer begynt å omfatte dette. EUs fornybardirektiv slår fast at privatpersoner, lokale myndigheter, små bedrifter og kooperativer skal kunne produsere, bruke, lagre og selge solenergi uten å betale urimelige skatter og avgifter (103). I konsumentmarkedet får utviklingen også fart gjennom at privatpersoner ikke må investere hundretusener for å få et privat solcelleanlegg, men kan ta opp billige solcelle-lån, eller kjøpe dem med leasing (104).

I Fredrikstad, byen som først tok i bruk elektrisitet her til lands, er også en av de første stedene i Norge der den lokale strømlleverandøren kjøper tilbake overskuddsstrøm fra private solcelleanlegg i et nytt boligprosjekt. Sammen skal de nye boligene produsere rundt 215 000 kilowattimer med strøm i året på egenhånd, mens behovet er på rundt 180 000 kilowattimer. Overskuddet kjøpes av den lokale leverandøren, dog til lavere enn markedspris, som også sørger for at husene har strøm i perioder der solcelleanlegget har lavere produksjon (105). Prosjektet er et eksempel på hvor teknologien tar oss i fremtiden, men det er likevel ikke det fremste eksempelet. Land som Tyskland, Danmark og Sverige har kommet lenger enn oss. Den svenske byen Simris brukes nå av E-On som en testlandsby. Målet er at de skal kunne leve helt adskilt fra strømmettet ved hjelp av sol- og vindkraft, med en biogenerator som backup, noe de har klart i totalt 150 timer i første halvdel av 2018 (106). I praksis fungerer testprosjektet slik at byen er selvforsynt hver femte uke, en uke om gangen. Prosjektet gjør det mulig å høste erfaringer om hvordan et såkalt «microgrid» oppfører seg i praksis og i samspill med forsyningsnettet, noe som har bydd på en rekke utfordringer. Det er snakk om store effekter som forsyningsnettet i utgangspunktet ikke har vært designet for å håndtere, men batterier og ny teknologi har gjort prosjektet mulig. Spesielt går dette på arbeidet med å holde frekvensen stabil på 50 Hz, som er sentralt i et hvert strømmett. Med et batteri på 833

kilowatt, som i denne sammenhengen ikke er spesielt stort, kan batteriet brukes som en buffer og sørge for at frekvensen ikke avviker med mer enn 0,5 Hz. Det tar imot overskuddsstrøm for å hindre frekvensen fra å øke, og lader seg ut i korte perioder når det er underskudd for å hindre frekvensen fra å falle. Med et spekter av kontrollsystemer, og også muligheten til å fjernstyre flere av landsbyens private varmepumper og varmtvannstanker, klarer E-On å holde strømmettet stabilt. Utviklingen innen batterier er på mange måter en forutsetning for skiftet til mer distribuert og lokal produksjon av energi. Frem til nå har det vært vanskelig eller dyrt å lagre strøm for å jevne ut variasjoner i produksjon og forbruk, men batteriteknologien har imidlertid nå kommet dit at den kan og begynner å være en løsning på utfordringen.

Norge har riktig nok vært godt skjermet for slike utfordringer fordi vi alltid har hatt fornybar energi fra vannkraft, som kan slås av og på etter behov. Australia har i nyere tid hatt en motsatt situasjon, et land som er en stor kullprodusent og som har en av verdens største utslipp av klimagasser per innbygger (107). Sør i landet opplevde et område store svingninger i nettfrekvensen som ga «blackouts». Kombinert med et ønske om å få mer fornybar energi inn i energimiksen ble et gigantisk batteri bygget. Kort tid etter svarer batteriet på sin største prøve da et kullkraftverk ble stengt ned. Selv om batteriet lå 1000 kilometer unna reagerte det øyeblikkelig på den fallende frekvensen og leverte energi til nettet. Batteriet er bygget i tilknytning til et stort vindkraftanlegg. I tillegg til å bedre sikkerheten- og stabiliteten i nettet gir batteriet gode inntekter. Med de store svingningene i strømprisen ved inngangen til 2018 tjente eieren av batteriet seks millioner kroner på ett døgn (108). En alternativ løsning for utkoblings-problemene i Australia ville vært å starte opp et gasskraftverk når problemet inntreffer. Det tar imidlertid flere timer å starte en gassturbin, og det er ikke en fornybar løsning. Igjen er vannkraften også her sterkere, da den både er fornybar og kan spinnes opp på minutter. Batterier reagerer på millisekunder, og gir på den måten fleksibilitet også til områder som av naturlige årsaker ikke kan nytte vannkraft. I et område med dårlig strømforsyning gjør prisen på batterier det nå aktuelt for et strømselskap å gi støtte til privatpersoner, slik at de kan installere et hjemmebatteri fremfor at strømselskapet må investere i nettet (109).

Selv om batterier fra den teknologiske siden ikke har utviklet seg spesielt mye over de siste årene, skjer det forskning. Dagens batterier er litium-ion-basert, og det jobbes nå med en rekke alternativer som kan ta over i fremtiden. Mulighetene er mange, fra litium-oksygen som har høy energitetthet og andre varianter av batterikjemi basert på litium, som trenger videre utvikling for å gjøre dem stabile (110), til mer miljøvennlige biologiske batterier (111). Store deler av bransjen virker imidlertid orientert mot at solid state-batterier (faststoffbatterier) blir den neste generasjonen. Disse kan både lages billigere, lagre mer strøm, lade raskere og være sikrere (112). Nøyaktig når teknologien er kommersialiserbar og i masseproduksjon er noe usikkert, men flere produsenter av elbiler mener nå at de kan ha produkter ute med teknologien i første halvdel av 2020-tallet (113).

Alternativer til energilagring, som er utforsket og i mindre skala satt i drift rundt om i verden, er blant annet å lagre overskuddsstrøm som pumpekraft i eksisterende vannkraftverk (114). Ved lav kraftpris brukes energien til å pumpe vann opp igjen i magasinet, som så hentes ut igjen når prisen er høy. En slik lagring kan også skje på tvers av landegrenser, og det er spekulert i om Norge kan være Europas grønne batteri ved at vi for eksempel importerer tysk overskuddskraft fra vind og lagrer den i norske magasiner. Slike løsninger krever imidlertid enorme investeringer (115). Tross disse metodene, og andre, er teknologiutviklingen innen batterier sentral. Med pris- og teknologiutviklingen later batterier til å være det mest realistiske scenariet for å lagre overskuddsstrøm, som igjen driver frem lokal produksjon av

energi. Et batteri er i et slikt scenario egentlig bare mellomlagring av strøm på en smart måte som virker positivt på et lokalt nett. Koblet sammen med en AMS-måler kan batterier og solceller være en aktiv komponent man styrer lokalt, men også en kapasitet man stiller til rådighet for nettet (116).

Inn fra sidelinjen kommer det imidlertid en energibærer som kan fungere som et meget godt batteri, nemlig hydrogen. Som et eksempel kan overskuddsenergi fra solceller eller vindmøller lagres i hydrogen gjennom elektrolyse, og så konsumeres som likestrøm fra en brenselscelle. Forskningen på hydrogen som energibærer viser stadig flere lovende tegn, og dekkes derfor som et eget kapittel i denne rapporten.

Vekselstrøm og likestrøm til energitransport

For å transportere elektrisk energi finnes det to former for strøm; likestrøm og vekselstrøm. I motsetning til likestrøm kan vekselstrøm enkelt transformeres opp til en veldig høy spenning, som da kan flyttes over meget lange avstander før den transformeres ned igjen til 110 volt som forbrukerne konsumerer. (117). Det er hovedgrunnen til at vekselstrøm i dag er den dominerende formen for transmisjon av elektrisk energi over hele verden. Det nasjonale kjernenettet i Norge, altså de store høyspentmastene, er på 420 000 volt for å kunne overføre store strømstyrker uten at kabelverrsnittene blir for store over lange strekninger, og det benyttes tre ledere i en kabel. Deretter transformeres spenningen ned i flere trinn til den ender som 220 volt eller 400 volt før den går inn i sikringsskapet hjemme hos forbrukeren. Med utviklingen av ny teknologi både innen distribusjon av elektrisk energi, og ikke minst forbruckerprodukter som digitalelektronikk som datamaskiner, mobiler eller LED-pærer forbrukes det stadig mer likestrøm hos sluttbruker. På korte avstander, gjerne regnet i centimeter og meter, er likestrømmen meget god, og digitale maskiner er avhengig av den.

Mye taler nå også for at likestrømmen kan få en ny rolle også på veldig lange strekninger, fordi de ny teknologi har gjort transformasjonen av likestrøm billigere gjennom at energitapet i hver ende av kabelen minimeres. Et eksempel på dette finner vi i Kina, der det nå bygges en transmisjonslinje på hele 1 300 000 volt likestrøm, altså omtrent tre ganger så mye som Norges høyspentnett på 420 000 volt vekselstrøm. Overføringskapasiteten er på så mye som 11-12 gigawatt, noe som er rundt en tredjedel av hele den potensielle norske produksjonskapasiteten, og kabelen skal flytte strømmen over 300 mil – mye lenger enn Norge er på sitt lengste. Prosjektet er iverksatt for å kunne transportere fornybar solenergi fra solrike områder i vest til forbruk i øst av landet, noe som ikke ville vært mulig hadde det ikke vært for teknologiutviklingen (118). En slik likestrømsoverføring koster mye i kraftelektronikk i hver ende av kabelen som konverterer strømmen fra likestrøm til vekselstrøm. På lange strekninger er det verd det fordi man sparer kostnaden av at likestrøm kun trenger to mindre ledere, ikke tre slik vekselstrøm gjør, og man får et vesentlig mindre energitap. I en vekselstrømskabel vil man gjennom fysikkens grunnleggende lover også ha et *reaktivt* tap av energi. Denne utfordringen er ikke tilstede i et likestrømsnett, som kun taper effekt gjennom motstanden i kabelen – en utfordring vekselstrøm også har. Det er imidlertid et tap i konverteringsstasjonene i hver ende, men med ny teknologi er tapet i disse nå nede til bare 1,5 % i hver. På korte distanser vil prisen på stasjonene og tapene favorisere AC, men jo lenger kabelen er, og jo høyere effekt som skal overføres, vil DC være billigere.

Utviklingen innen likestrømsteknologi for transmisjon gjør det derfor mulig å tenke annerledes rundt energiproduksjon, som har sammenheng med hvordan energien skal fordeles utover i landet til et gitt forbrukspunkt (119). Med en overgang mot stadig mer sol- og

vindkraft i energimiksen blir slike konsepter, og flere rapporten skal komme inn på, stadig mer aktuelt, selv om de rent økonomisk neppe blir relevant for innenriks overføring i et land med en befolkningstetthet som Norge. Likestrømskabler er imidlertid i bruk i flere av de nyeste sjøkablene mellom Norge og Nederland, Danmark, Tyskland og (120), selv om både spenning, kapasitet og lengde er vesentlig kortere enn eksempelet fra Kina.

Parallelt med at ny teknologi åpner for større muligheter for høykapasitets DC-overføringer, settes hele konseptet med overføring over lange avstander under press fra en annen trend som vår overgang mot fornybare energikilder har gitt. Dagens energitap i både overføring og forbruk fører med seg en økt kostnad. For å redusere energitapet i overføringer er det god hjelp i å redusere avstanden mellom produksjon og forbruk. Teknologikutviklingen som dette kapitlet vil belyse, kombinert med et formål om å redusere energitap og kostander i nettet, er en vesentlig driver mot lokal produksjon og dermed også *lokal distribusjon* av energi. Overgangen til fornybare kilder som sol og vind på produksjonssiden, og elektrisk drivkraft på forbrukssiden – som elbiler, driver utviklingen fremover. I prinsippet tillater dette at hver enkelt huseier med solceller på taket og et batteri i garasjen kan være sin lokale energiprodusent, som lagres og distribueres lokalt, i et samspill som går tett inn mot delingsøkonomien.

Samtidig er det store mengder med wattimer tilgjengelig i både vind, sol og vann som ikke er utbygget i dag, som kan være et grunnlag for eksport og industri, i all den tid vi har god overføringskapasitet til andre land. På den måten kan vi i større grad nyttiggjøre energien vår. NVE beskriver den samfunnsøkonomiske nytten i utenlandskabler som god. Selv om kraftprisen går opp (121), til produsentenes fortjeneste, går den opp fra et internasjonalt sett lavt nivå (122). Utenlandskabler, eller lange nasjonale kabler, kan også åpne opp for å tenke nytt rundt produksjonen. Finnmarksvidda har for eksempel ideelle forhold for vindkraft. Vindkraftverkene vi har nord i landet har allerede bedre produksjonsstatistikk enn alle andre land. Men det er langt til Finnmark, og et slikt scenario vil kreve en massiv investering i infrastrukturen av en lignende type som eksempelet fra Kina. Alternativt kan man tenke helt annerledes; lokal vindkraftproduksjon i nord, uten kobling til et sentralt nett, der billig vindkraft brukes til å produsere hydrogen som så sendes på skip ut i verden (123).

[Et smartere nett for fremtiden](#)

Energi Norge har nylig gjennomført en spørreundersøkelse blant nettselskapet, der de på bakgrunn av svarene anslår at nettselskapene skal gjøre investeringer på 7 milliarder kroner i distribusjonsnettet og 3,5 milliarder kroner i regionalnettet (124) i år. Ifølge nettselskapenes investeringsplaner, er det forventet investeringer for 140 milliarder kroner mellom 2016-2025 (125). Kostnadene er massive, og det er klart at det er både forbrukerne og samfunnet som helhet som til



I noen timer på formiddagen og noen timer på ettermiddagen har vi effektopper i det norske strømforbruket. Som illustrert her med time for time-strømforbruk en kald dag i februar. Nå ønsker NVE å prise nettleien slik at man blir straffet for ditt overforbruk. Montasje: TU.no

syvende og sist må bære disse kostnadene, og ethvert sparetiltak som gjør at nettselskapene kan utsette investeringen er godt for alle. Noe av kostnadene kommer av energireserven i norske boliger, som kan begrenses med enøk-tiltak, og noe av det kommer av at forbruket vårt er ujevnt gjennom døgnet. I en situasjon der en større andel av energimiksen vår er basert på vind og sol vil også produksjonen være mer ujevn sammenlignet med fossile kilder. For å unngå høye topper i strømforbruket, vil Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) at kundene skal motiveres med lavere nettleie for å spre forbruket, som sagt på en annen måte betyr at strømmen blir dyrere om man bruker mye på én gang, og mer enn tiltenkt. Effekttariff er allerede i bruk som testforsøk flere steder i Norge (126), noe som har blitt mulig med innføringen av AMS-målere, der strømforbruket kan rapporteres automatisk hver time. Målet med slike løsninger er å skape bevissthet, slik at forbrukerens vaner i større grad vil jevne ut belastningen i nettet, og på den måten gjøre det mulig å slippe massive investeringer.

Parallelt med innføringen av AMS har teknologiutviklingen også kommet dit at en rekke tekniske løsninger også kan bedre situasjonen, slik at forbrukeren slipper å endre sine vaner. Mye taler for at et hjemmebatteri er den mest effektive løsningen. Batteriet kan lade seg når belastningen er lav, for eksempel om natten. Når man da kommer inn i en effekttopp henter man energi fra batteriet og ikke nettet. Prinsippet er allerede i bruk i den mer energitunge industrien. Ved BMWs fabrikk i Leipzig, som blant annet produserer selskapets elektriske biler, er det nå installert 700 brukte bilbatterier. Disse lagrer energi fra vindturbiner, som brukes for å ta unna midlertidige, store effektuttak ved fabrikken (127). Testprosjekter, spesielt ett i Hvaler kommune utenfor Fredrikstad, har også vist noe så enkelt som et display i hjemmet som viser strømforbruket og pris, kombinert med en prismodell som favoriserer sparing. Det har både redusert strømforbruket med rundt 25 %, i tillegg til at effekttoppene ble senket tilsvarende (128).

Teknologien kan imidlertid tas lenger enn slike relativt enkle og stort sett passive løsninger. På et tidspunkt, ikke veldig langt inn i fremtiden, kan for eksempel elbiler lytte til AMS-måleren din, slik at den lader seg når strømprisen er lav. Samtidig kan bilen også selge strøm automatisk tilbake til nettet når prisen er høy, og på den måten potensielt finansiere sitt eget forbruk. Flere bilprodusenter jobber aktivt med dette, gjennom at bilen har en vekselretter om bord. I et prøveprosjekt i Danmark med en slik løsning var elbilene da med å på å stabilisere nettet, ikke bidra til ubalanse slik de gjør i mange byer i dag (129).

Paradigmeskiftet for selve strømmettet vil imidlertid trolig komme når det blir et fullt og helt «Smart Grid», teknologi en rekke selskapet nå jobber med å innføre. AMS-målerne er startskuddet, og er på mange måter en overordnet løsning på effektutfordringen for å spare milliarder i investeringer. Ved å innføre et digitalt lag på toppen av nettet, og ta i bruk alle teknologiene som underbygger digitaliseringen, fra big data og IoT til kunstig intelligens, kan strømmettet for første gang bli et toveis-nett. Det skal ikke bare pumpe strøm fra kraftverket til forbrukeren, men også forutse hva forbrukerne vil gjøre og justere seg automatisk etter dette. Det betyr imidlertid at nettet må takle en oppgave det opprinnelig ikke var bygget for. Men med moderne sensorikk og algoritmer er det mulig. Målet er mer effektiv drift, reduserte kostnader og bedre oppetid, men en bieffekt av «Smart Grid» er også at det i større grad blir tilrettelagt for at privatpersoner med solceller på taket kan selge overskuddsstrøm, at elbiler kan fungere som en lastbalanser i nettet og mye mer (130). Et slikt nett skal i prinsippet forutse når forbrukeren slår på vannkokeren, og rigge om kapasiteten deretter. I en rekke prøveprosjekter er det også lagt opp til at nettleverandøren kan styre varmepumpe og varmtvannsbereder hjemme hos kundene, og på den måten også regulere forbruket uten at man merker det, på samme måte som en «smartladning» av elbilen. Varmtvannsberederen må

tross alt ikke holde vannet varmt hele døgnet, spesielt ikke om ingen er hjemme. Kunden sparer strøm, og nettselskapet reduserer effekttoppene.

Mye av fordelene med et smartnett kommer av at store datasett fra et stort antall sensorer i nettet analyseres av avanserte algoritmer med kunstig intelligens. AMS-målerne gir i utgangspunktet bare en mer presis strømregning. Den egentlige gevinsten er når man kan bruke disse dataene til å rasjonelt regulere kapasiteten i nettet ved å predikere hvor mye strøm et område kommer til å trenge den neste timen eller minuttet, og så gjøre justeringer i nettet i forkant ved å koble inn og ut utstyr i nettet. Dette er blant annet testet med en løsning levert av EsmartSystems i Fredrikstad, der 90 000 strømkunder spredd utover hele Østlandet overvåkes, og løsningen klarte å dempe de største belastningene i nettet (131).

Videre inn i fremtiden jobbes det nå med teknologi, basert på kunstig intelligens, som har kontroll på både produksjonsledd, forbruk og lagring av energi, der man i praksis får en «energisky». Teknologien lærer seg forbrukerens typiske forbruk, anslår hvor stor forbrukerens egen strømproduksjon vil bli basert på værmeldingen dagen, og styrer automatisk når strøm fra solcellene selges til nettet, når den lagres, og når man starter for eksempel vaskemaskinen og ladning av elbilen. Ut av dette kan det da komme deletjenester for strøm der kunden betaler et månedlig beløp, produserer selv strøm og energioverskudd sendes opp i «energiskyen». Hvis forbrukeren for eksempel har elbil og vil lade bilen hos en venn, der han ikke har egne solceller, henter man strøm fra det personlige overskuddet i skyen (132).

Teknologiutvikling som dette, og medfølgende trender, driver frem en rekke nye diskusjoner som bare fremtiden kan gi et svar på. Om forbrukeren selv produserer overskuddsstrøm med egne solceller på eget, som naboen ikke har vært villig til å betale for, eller ønsker å ha på sitt eget tak fordi det ikke ser pent ut, vil folk flest akseptere at de «tar en for nabolaget»? Hvordan vil privatpersoner stiller seg at naboen sliter ut levetiden til batteriet i elbilen, fordi elbilen brukes som et batteri i lokalnettet? Også innenfor energisektoren er det tydelig at eierskap sett opp mot delingsøkonomi vil bli en faktor, men omfanget er vanskelig å spå. Om noe vil de konkrete teknologiene som er omtalt over tegne opp noen av mulighetene.

Hydrogen

Da drivhuseffekten virkelig ble et tema utover 1990-tallet var hydrogen en av de første løsningene man begynte å se nærmere på. Batteriteknologien var da langt unna noe som kunne erstatte bensin, og hydrogen så ut som den opplagte veien videre. Det viste seg imidlertid å være et langt lerret å bleke, og i mellomtiden har batteriteknologien om noe kjørt forbi hydrogen. Hydrogen er likevel ikke akterutseilt av den grunn, da det fortsatt er en høyaktuell energibærer. I transportsektoren kan hydrogen ha bedre egenskaper enn et batteri, fordi det tar kort tid å fylle og det er lettere å transportere med seg mye energi enn det er med batterier (133). Flere store aktører i energibransjen, samt bil- og båtnæringen, forsker derfor aktivt på hydrogen som en energibærer. I tillegg kan hydrogen brukes på en måte som lar oss lagre fornybar energi i store kvantum, som et batteri, og transportere det over store avstander til forbruket.

Den store utfordringen ligger i hvordan man utvinner stoffet, som primært skjer på to måter. Den «enkle» er å bruk strøm til elektrolyse av vann, der mye av energien som trengs til produksjon frigjøres tilbake når hydrogenet forbrennes og da går tilbake til vann. I prinsippet har denne metoden en virkningsgrad på rundt 80 %, men brenselcellen i en bil har stort sett

en virkningsgrad på rundt 60 %. Det gjør at summen av produksjon og forbruk gir en virkningsgrad på rundt 40 %, som er på linje med markedets mest effektive dieselmotorer. En annen måte å utvinne hydrogen er dampreforming. Ved å ta naturgass gjennom en kjemisk prosess får man ut hydrogen, vanndamp og CO^2 (134). Ulempen med denne løsningen er at man altså slipper ut mye CO^2 , og sånn sett er den ikke veldig miljøvennlig før vi finner en effektiv måte å lagre CO^2 på. Det kommer vi tilbake til i neste delkapittel. I begge metodene frigjøres varme. Det er energi det ofte er lett å utnytte og som vil bidra til å bedre bildet av virkningsgraden. Elektrolysen produserer også oksygen som ofte har en verdi. Det jobbes også med nyere metoder for å hente ut hydrogen av naturgass, som separering med bruk av membraner (135).

Hydrogen som energikilde virker å være mest sentralt for transport til sjøs. I lange strekk, eller for å få større fleksibilitet av rutevalg, trenger man mer enn batterier, og hydrogen er per i dag det mest lovende alternativet nettopp fordi man kan lagre veldig mye av det om bord (136). Hydrogen er også vurdert for togtrafikken på baner som ikke er elektrifisert, har lav frekvens og lange strekninger, som det da ville blitt uforholdsmessig dyrt å bygge om til klassisk elektrisk drift – for eksempel Nordlandsbanen (137). Like fullt er det viktig å huske at hydrogen kun er en energibærer, og at prosessen i et kjøretøy uansett krever et batteri. Sånn sett er hydrogen alltid en hybrid løsning, der virkningsgraden varierer med belastningen. Derfor er det ikke utenkelig at hydrogen i fremtiden benyttes i et samspill med batteridrift, for eksempel ved at en båt går elektrisk lokalt, men på hydrogen står de store havene skal krysses. For transportnæringen er det likevel noen underliggende prinsipper som gjør seg gjeldende i valget av drivstoff. I en motor blir energikilden i hovedsak omgjort til fremdrift og varme, der varmen er en form for tap. I en diesel- og bensinmotor er andelen varme større enn andelen fremdrift. Elektrisk fremdrift er sånn sett overlegent da virkningsgraden per kilometer er mye høyere, selv om også disse har tap i både batteri, motor og invertere. Samtidig har elektrisitet større verdi enn andre typer drivstoff nettopp derfor, og fordi elektrisiteten er så allsidig at den både kan kjøre deg til jobb og la deg lytte til musikk. Det kan ikke diesel. For enkelte tilfeller trenger man imidlertid den rene energitettheten som bensin og diesel gir, og det kan hydrogen møte bedre enn batterier.

Et alternativ som ofte kommer opp i energidiskusjonen, og da spesielt innen transport, er biogass laget av for eksempel søppel, matavfall og kloakk. Mennesket har i lang tid visst at når vi kaster søppelet vårt så skjer det en fermenteringsprosess som lager biogass og CO^2 . Under utvinningen av biogass gjør vi nettopp dette kontrollert i en reaktor, i form av en råtnetank der matavfall og kloakk ligger noen uker før man henter ut metangass og et gjødselprodukt som ikke slipper ut metan. På den måten sørger altså biogassutvinnelsen for at vi får kontroll på metan, som er en mye sterkere drivhusgass enn CO^2 . Søppel, matavfall og kloakk er imidlertid en begrenset resurs. Alternativet er å utvinne metanet fra mais, raps og andre produkter som egentlig skal brødfø folk, noe som er et vanskelig tema (138). Biogass er sånn sett et



Figur 1- Råtnetanker som utvinner biogass fra kloakk, ved VEAS i Asker.

drivstoff vi bør utvinne for alt vi kan av fra søppel og kloakk, men det ikke nok til å drive hele verdens transport.

Hydrogen kan imidlertid ha potensialet til å også løse langt større utfordringer enn transport; det er økende optimisme for hydrogen som en energibærer i storstilt skala. Godt hjulpet av utviklingen innen karbonfangst og –lagring, som vil gjøre det mulig å gjøre naturgass om til hydrogen uten utslipp (139). Enkelte sterke stemmer på feltet mener at vi faktisk vil få utfordringer med eksporten av vår naturgass i fremtiden, om vi ikke lykkes med å hente ut og fjerne karbonet fra naturgassen. Europa skal avkarbonisere sin energiforsyning, noe som har startet med kull og trolig snart kommer til naturgass. Samtidig ligger det en stor fordel i å sentralt avkarbonisere naturgassen, som er en enkel industriell prosess der man får ut CO² relativt konsentrert. Om CO² skal fanges på eksossiden av kraftverk eller andre forbrukspunkter, blir det langt vanskeligere fordi gassen er fortynnet (140). Samtidig har hydrogen potensialet til å fungere som en viktig energibærer og lagringsmedium i en fornybar energimiks. Overskuddsenergi fra de ujevne kildene sol og vind kan lagres i form av hydrogen, gjennom at energien benyttes til prosessen for å utvinne hydrogenet. På den måten er hydrogen et supplement i energisystemet som gir økt fleksibilitet og økt utnyttelse, etter samme prinsipp som et batteri. I motsetning til et batteri har hydrogen i komprimert eller flytende form høyere energitetthet og kan enklere transporteres over store avstander, for eksempel med skip (141). Det gjør det mulig å utnytte fornybare energiresurser som i dag er begrenset av at de ligger langt unna forbruket, for eksempel vindkraft i Finnmark. På Ragovidda i Finnmark gir eksisterende turbiner 50 % mer kraft enn gjennomsnittet i Norge, fordi forholdene er spesielt gode, men nettkapasiteten gjør det umulig å flytte store mengder energi til andre markeder. Med hydrogen som er en energibærer kan man i prinsippet produsere hydrogen i Finnmark fra vindkraft, og transportere det på skip til hele verden, eller til andre steder i Norge, og på den måten utnytte naturressursen (142).

Hydrogen er også fordelaktig fordi gassen i praksis kan være en uendelig, fornybar ressurs. I prinsippet kan hydrogen utvinnes fra vann eller naturgass ved hjelp av strøm. Så lenge strømmen kommer fra fornybare kilder, og teknologien tar oss dit at vi løser CO²-lagring, er prosessen effektiv og miljøvennlig

CO²-fangst

I Norge har CO²-fangst lenge vært et omstridt tema, men også en mulighet for utvikling av ny teknologi og kommersialisering. Mye av debatten ble preget av det som skulle være Norges «månelanding», et massivt teknologiprojekt på Mongstad for produksjon av fossil energi, med CO²-fangst fra utslippene som medfølger. «Månelandingen» ble kansellert i 2013, men det har ikke hindret norsk industri i utvikling av alternative måter å fange CO², og lagre den. I begrepet CO²-fangst ligger alle strategier for å hindre økte utslipp av CO² i atmosfæren, og i fremtiden kanskje også fangst av overskudds-CO² for å redusere CO²-nivået på jorden. Å fange CO² for lagring eller omdannelse er teknologi som har vært brukt i mange år på norske oljefelt, og flere prosjekter utover Mongstad-prosjektet er igangsatt på norsk jord. Nå ser industrien fremover og utviklingen tar seg opp (143), men de virkelig store fremskrittene innen CO²-fangst ligger fremdeles flere tiår frem i tid. Lave kostnader forbundet med CO²-utslipp i dag gjør at industrien ikke har nok insitamenter for å løse problemet (144).

For å redusere utslipp av CO², og nå FNs klimamål på mindre enn to grader økning sammenliknet med førindustrielt nivå, er det to områder man må angripe samtidig hvorav det ene er lettere å håndtere enn det andre. De betydelige utslippene fra sentrale kilder som

kullkraftverk, sementindustri, raffinerier og andre store anlegg kan gjøre det enklere å fange CO² enn fra forbrukspunktet, som i en bil, da utslippene er samlet på ett enkelt sted og systemer for fangst kan iverksettes på stedet i stor skala. På teknologiseret Mongstad skal for eksempel CO² skilles ut fra produksjonen i nær fremtid og sendes til et drivhus, som er en del av et forskningsprosjekt ved Universitetet i Bergen.

CO²-fangst må sees i sammenheng med den generelle utviklingen i energimiksen, der fornybare kilder stadig vekk utvikles videre samtidig som CO²-fangst har en tregere utviklingskurve. For elektrisitet anslås produksjonen å stå for halvparten fossil energi i 2050 med resten som fornybare kilder. Slike prognoser kan endre seg ved teknologiske gjennombrudd. Selv om CO²-fangst på sentrale kilder vil være viktig for energimiksen, er andre CO²-kilder også viktige å få bukt med. Hovedsakelig sementproduksjon, der den raske veksten i byggeprosjekter verden over gjør sementindustrien til en av de største kildene for CO²-utslipp. Ett prosjekt for reduksjon av CO² i sementproduksjon er nå underveis på Norcem i Brevik, med fornyet mandat til å undersøke metoder for reduksjon av sine CO²-utslipp (145). På Klemetsrud i Oslo jobber Fortum med CO²-fangst fra avfallsanlegg, og i Porsgrunn jobbes det med håndtering av den samme problematikken på kunstgjødselanlegget til Yara (146), men dette prosjektet står nå på vent (147). Andre norske prosjekter ser på muligheten for lokal CO²-fangst i Norge, der hydrogen for eksport til Europa utvinnes fra naturgass, og CO² pumpes tilbake til ekstraheringsområdet for lagring (148).

Utslipp fra mindre, men mer spredte kilder som lufttransport, skip og biler, er langt vanskeligere å håndtere med CO²-fangst. Derfor ser disse bransjene mer mot alternative energikilder som elektrisitet fra fornybare kilder, mot hydrogen utvunnet med CO²-fangst, eller fra fornybare kilder. Utover disse tiltakene, er det begrensning av utslippene som gjelder mest for bransjene.

Å finne en økonomisk lønnsom metode for CO²-fangst er en hellig gral i håndteringen av klimaproblemet. Det er nøkkelen til å kunne opprettholde den komfortable livsstilen jordens befolkning har lagt seg til, og som omfatter stadig flere mennesker etterhvert som fattigdommen blir et mindre problem. Å ekstrahere CO² fra energikilder, kanskje etterhvert fra luften, er teknologi som har et usedvanlig lønnsomt potensial for de som knekker nøtten. Et konservativt anslag viser til at CO²-fangstindustrien kan skape mellom 30 000 og 40 000 nye arbeidsplasser, dersom det bygges opp en satsning på CO²-fangst i Norge (149). Som det påpekes i en rapport fra SINTEF om CO²-fangst, er det en hel verdikjede av kunnskap som kan bygges opp. Det går fra separasjonen av CO² ved kilden, til transport og så nøytralisering eller lagring av den oppfangede CO².

Del 2: Teknologiutviklingen per sektor

Forsvar

Historien er full av eksempler på at teknologi har vært med på å endre verdenskart, liv og kriger. Da kineserne fant kruttet i det niende århundre, ironisk nok i utgangspunktet som en kur mot udødelighet, kunne få forstå at dette pulveret ville bli det dødeligste våpenet i mange hundre år fremover. Kruttet endret maktforhold i Asia, og skulle gjennom middelalderen forandre hele konseptet for krig. Det skulle gå mange hundre år før et nytt, overlegent teknologisk kvantesprang ble oppfunnet – da den første atombomben detonerte en julimorgen i 1945. I august samme år skulle teknologien på et øyeblikk ta livet av hundretusener, og med det være den viktigste årsaken til at andre verdenskrig ble avsluttet bare noen dager senere.

Ute på en slagmark kan tilsynelatende små teknologiske innovasjoner endre krigføringen. Vikingene var sin tids suverent beste marineinfanteri, fordi de hadde en farkost som lot dem krysse hav og invadere fra strandlinjen (150). Under Irakkrigen hadde britiske tropper med seg artilleri-radaren Arthur, som kan beregne hvor en artillerigranat kommer til å slå ned for å varsle egne styrker, og i tillegg kalkulere hvor skuddet kom fra. På sekunder leveres måldata til eget artilleri, som umiddelbart skyter tilbake. Konsekvensen av teknologien var at fienden sluttet å bruke sitt fastmonterte artilleri på grunn av faren for å bli tilintetgjort sekunder senere (151). Irakiske styrker fikk også merke vestlig teknologi på mer banale, men like fullt effektivt vis. Irakiske styrker hadde store mengder kampvogner, men da mange av disse manglet infrarødt kamera hadde de lite å stille opp med mot vestlig teknologi. Ved flere tilfeller la vestlige styrker ut røykgranater, som i praksis gjorde fiendens stridsvogner blinde. Siden vestlige angrepshelikoptre hadde infrarødt kamera kunne de terminere kampvognene gjennom røykteppet. Under den kalde krigen var mye av Norges forsvar mot et eventuelt kampvognangrep fra Russland via Finnmark at dette ville stoppes av Finnmarksvidda i seg selv, fordi russiske vogner trolig ville bryte sammen innen de kom frem til storbyene. I dag er det helt andre kriterier som gjelder. Diskusjonen om hvorvidt Norge skal styrke tilstedeværelsen av kampvogner i nord må ta høyde for at Russland i dag kan bekjempe stridsvogner med rakettangrep fra en krysser som fortsatt ligger til kai i Murmansk (152).

Krigføring endrer seg over tid, både overordnet og i detaljene. De fleste missilene var tidligere rent ballistiske, altså at det var vinkelen på våpenet da det ble skutt som avgjorde hvor det slo ned. Siden har de blitt laserstyrte, IR- og radar-heimende, og da fått en uhyre god presisjon. I mellomtiden kom geriljakrigføring, der det ble vanskelig å vite hvor man i det hele tatt skulle sende missilene siden fienden var så spredt. I tropiske strøk har det samtidig vært vanskelig for både droner og satellitt-teknologi å identifisere en fiende som skjuler seg under tretoppene, samtidig som stadig flere land har fått tilgang på atomvåpen – som i praksis kan slå ut et helt område. Denne typen dynamikk gir nye diskusjoner og taktikker der krig nødvendigvis ikke lenger handler om å ha mest mulig sprengkraft eller det største og mest avanserte våpenet. Presisjon og effektivitet er vel så viktig, og den oppnår man gjennom bedre teknologi. Det norske kryssermissilet NSM er et godt eksempel på dette, Missilet bærer relativt liten nyttelast, men er smartere og mer presist enn et kryssermissil med eldre teknologi og mer sprengkraft. Samtidig gjør ny teknologi, og da nye våpen, at spesifikke kampsituasjoner endrer seg. Et eksempel er da man «knakk koden» med lasere basert på faststoff i stedet for en kjemisk reaksjon, og fikk gjort disse mindre. Det gjorde at mobile kamplattformer som var mindre enn et skip kunne utrustes med laservåpen, og for eksempel brukes som luftvern mot droner (153). Dette blir stadig viktigere fordi små, billige droner i

praksis kan lamme et forsvar. Ved én anledning i Israel kom en drone inn fra Syria. Israelerne svarte med å sende fire jagerfly og to angrepshelikoptre i luften, for til slutt å destruere dronen med et Patriot-missil til mange millioner dollar (154). Ikke bare er kostnadsforskjellen på missil og mål enorm, men eksempelet viser også hvordan en teknologisk underlegen stat eller organisasjon kan lamme forsvaret til den overlegne staten ved å sende inn mange, billige droner. Til forskjell fra atomvåpen er nye teknologier som autonomi og kunstig intelligens lett tilgjengelig, og det utvikles sivilt. Det er den sivile sektoren som leder IT-utviklingen med giganter som Apple, Microsoft, Amazon, Facebook og Google (Alphabet) i førersetet. Amazon brukte alene over 17 milliarder dollar på forskning og utvikling i 2017 (155). Andre verdenskrig var i all sin elendighet også en spennende arena for teknologiutvikling. Radarteknologi, kommunikasjonsteknologi, atomvåpen og rakettmotorene, som noen tiår senere skulle ta oss til månen. I dag kan bare det at en nasjon er i besittelse av og kan bruke spesifikke våpen, kan utøve softkill eller hacking, vil ha en viss krigsforebyggende effekt. Teknologi kan skape en barriere for krig, men i moderne tid ser vi også hvordan primitiv krigføring på mange måter kan gjøre samme nytte. Terrorfaren er effektiv, spesielt fra statsløse organisasjoner som bruker langt enklere midler enn vestlige stormakter. Eller de kjente eller ukjente cyberoperasjonene som føres i dag. En fiende bearbeides ikke lenger nødvendigvis gjennom kuler og krutt, men gjennom hacking, terror og dreining av opinionen gjennom sosiale medier og falske nyheter. Da er ikke teknologibarrieren like stor lenger.

Selv om forsvarssektoren er sentral i mye av den generelle teknologiutviklingen, er det like ofte den sivile sektoren som driver teknologien fremover. Autonom forsvarsteknologi er i stor grad drevet frem av den sivile industrien. På den andre siden har mye materialteknologi sitt opphav i forsvarsindustrien. IT, som vokste opp på 70-tallet, ble drevet av det sivile behovet og tilpasset forsvaret, men internett ble laget ut fra et militært perspektiv og så tatt i bruk sivilt. Behovene henger sammen, og gir teknologiske nyvinninger begge veier.

Det er vanskelig å spå konsekvensen av teknologi. At kruttet skulle ha den effekten det hadde på verden, kunne neppe alkymisten som fant det forutse. Konsekvensen av å lage den første atombomben var noe klarere fordi effekten var så mange ganger større enn noe som allerede eksisterte. Likevel kan det være «krutt-potensiale» i de sterkeste driverne forsvarssektoren nå forsker på. Stordata, samhandling gjennom IT, kunstig intelligens og autonomi har alle potensialet til å gi paradigmeskifter. Selv om digitaliseringen for alvor nå setter sine første spor i forsvarsindustrien, er det også en rekke andre diskusjoner i sektoren som synlig vil påvirke hvordan vi fører krig. Skal vi ha flere kampvogner, eller angrepshelikoptre? Hvordan kan vi forsvare oss mot helt nye våpenteknologier som biologiske våpen, kjemiske våpen, genvåpen, nøytronbomber, primitiv terrorisme eller hacking? Spørsmål som dette, og skapelsen av svarene, er hele grunnen til at Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI) eksisterer – nettopp fordi både svar og løsninger er så komplekse.

På tross av kompleksiteten hersker det i forsvarsmiljøet liten tvil om at teknologisk suverenitet, og de neste kvantesprangene, er å finne innen stordata, samhandling gjennom IT, kunstig intelligens og autonomi. Årsaken er at det er viktig å få til informasjons- og beslutningsoverlegenhet, gjennom å samle inn data, evne å trekke ut informasjon fra denne hurtig og så ta bedre og raskere beslutninger enn motparten, også kjent som å få til den beste og raskeste OODA-loopen (156).

Datagrunnlag: Artikler som er sitert i teksten, samt intervju med Per Erlien Dalløkken, Odd Richard Valmot og Roald Ramsdal, alle journalister i Teknisk ukeblad, samt Jon Skjervold, forskningssjef ved FFI

Autonomi

Autonomi og selvstyrende systemer er en av nåtidens store drivere innen forsvarssektoren, og et trekk det er stor konsensus om at bare vil øke i omfang de nærmeste årene. Motivasjonen bak å gjøre forsvars- og angrepssystemer autonome handler om å redusere behovet for mennesker i kampsituasjoner, men også om å gjøre operasjoner sikrere, skape større utholdenhet, ta bedre beslutninger og ikke minst muliggjøre angrepssituasjoner der mennesker i dag ikke kan eller tør å gå inn.

Ved bruk av kunstig intelligens, algoritmer for bildegjenkjenning og stor intern prosesseringskraft kan slike teknologier i prinsippet nå skille mellom to personer med relativt stor nøyaktighet. Det store plussset med slik teknologi er at en maskin kan trekke ut langt mer informasjon langt raskere enn et menneske, informasjon som kan komme fra sensorer som har et bredere frekvensspekter enn våre øyne, og så raskt ta en beslutning og gjennomføre den. Veien til et autonomt, ubemannet system er likevel lang, og er avhengig av meget sterk prosesseringskraft, avansert kommunikasjonsteknologi og det ypperste av algoritmer for kunstig intelligens. Systemene må ikke bare kunne bruke sansene sine til å se et sanntidsbilde innen et sekund i tid, men konstant føle omgivelsene og tilpasse seg enhver tenkelig og utenkelig situasjon, sortere relevant og irrelevant informasjon, og kontinuerlig tilpasse eller legge nye planer. Sentralt innen autonomi er at datamaskiner kan se og tolke objekter som orienterer seg i forhold til hverandre. Selv om en maskin kan ta i mot langt mer informasjon enn et menneske kan oppfatte, er utfordringen i dag at maskinene må lære seg å forstå denne informasjonen korrekt, og så ta en god og korrekt beslutning. Derfor er de fleste autonome systemene i dag avhengig av menneskelig medvirkning, og derfor støtte for beslutninger som gjøres av en operatør. Etter hvert som graden av kunstig intelligens økes, vil den menneskelige avhengigheten avta og vi nærmer oss muligheten for det som mange oppfatter som skremmende – killer-roboter. Det er en aktiv politisk debatt rundt dette og fremveksten av høyere grader av autonomi, som må ha et felles regelverk og reguleringer. Dette kan være vanskelig mellom aktører/stater som er i konflikt med hverandre, og krever at de som er lengst fremme i teknologiutviklingen tar hensyn til de etiske problemstillingene.

Forskningen på autonomi innen forsvar dreier seg både om at kampsystemer, slik som kjøretøy, og våpensystemer, som et missil, ikke trenger menneskelig påvirkning i strid. Stridsvogner skal kunne bevege seg fritt i terrenget og bekjempe mål på egenhånd, og våpensystemer skal selv ta enkelte beslutninger uten menneskelig påvirkning. Mennesker vil riktig nok alltid vil være involvert på et nivå, gjennom å gi overordnede oppgaver og overvåke, med muligheten for å gripe inn. Genevkonvensjonen sier at det skal være tilstrekkelig menneskelig involvering og kontroll når liv skal tas, så når vi snakker om autonomi så er det ikke et mål om at maskinene skal slippes helt løs. Autonomi går inn i alle grener av forsvaret, om det så er i luftfarkoster, landbaserte kjøretøy eller skip. Kampsystemene er ofte komplekse løsninger, og utviklingen innen autonomi har kommet lengst på selvstendige våpensystemer. Målidentifisering og styring i slutfasen til moderne missiler og krysserraketter er allerede helautonome prosesser.

Selv om veien til autonomi har vært lang, har autonome trekk i våpensystemer eksistert i over 50 år. Utviklingen av våpensystemer til forsvar og angrep utenfor siktelinjevåpen har likevel lenge handlet om å gjøre våpen mer treffsikre. Både for å unngå skader utover det man vil ødelegge, og fordi et presist treff sørger for mest mulig skade på målet. Går vi tilbake til før andre verdenskrig, var vinkel og utskytningskraft på projektilet det eneste man kunne regulere for å rette for eksempel en artillerigranat mot målet. Et artilleri var kraftfullt, men det store tekniske problemet var at løsningen var avhengig av en observatør som så hvor skuddet slo

ned i forhold til målet. Avstanden måtte så regnes om til en ny vinkel på artilleriet, før et nytt skudd kunne avføres, en ny beregning gjøres og et nytt forsøk gjøres. I praksis gjør en slik innskytning at fienden får en varsling til å grave seg ned eller beskytte seg på annet vis. I et samarbeid mellom FFI og datidens Kongsberg Våpenfabrikk ble det utviklet et system som lot en beregne nedslagsstedet langt mer nøyaktig ved å ta inn data om været, hastigheter, vinkler og avstander. Artilleriets vinkel kunne beregnes mer nøyaktig, men prosjektilet var fortsatt «dødt» så snart det var avfyrt, og slik var det i mange år for de fleste våpensystemer (157).

Under andre verdenskrig startet utviklingen av radiostyrte missiler, og fra slutten av 60-tallet skjedde det en jevn og sterk utvikling av laserstyrte våpen. Sistnevnte fungerer ved at målet «males» av en soldat eller et fly med en laser som holder en unik frekvens som missilet kjenner igjen, og treffer svært presist. I likhet med et moderne feltartilleri økte presisjonen betraktelig, men våpensystemet var fullt og helt avhengig av menneskelig input. Parallelt med utviklingen av de laserbaserte systemene, ble det utviklet et norsk sjømissil som skulle vise seg å bli verdensledende. Med denne så vi de første eksemplene på norsk jord der et våpensystem i aktiv bruk handlet automatisk og håndterte uforutsette hendelser.

Penguin-missilet som sjømissilet heter, ble utviklet fordi norsk kystforsvar handlet om å stanse inntrengere som kommer inn i skjærgården fra åpent hav. Missiler som var beregnet for det åpne havet egnet seg ikke i den norske skjærgårdsgeografien, da de hadde grov treffsikkerhet og sprengkraft, samtidig som det var vanskelig - om ikke umulig - for missilet å skille mellom en holme eller et fiendtlig skip. Ved å ta i bruk en IR-sensor kunne missilet navigere i skjærgården og se etter fiendens varmesignatur. Det var en egenskap som passet perfekt for Norge, og senere skulle vise seg å gjøre missilet svært anvendelig i en rekke scenarioer verden over. I de siste generasjonene av Penguin fikk missilet teknologi som lot det gjøre brå og uforutsigbare manøveren i sluttfasen, altså sekundene før «det smeller», for å unngå mottiltak fra fienden. Denne sluttfasen inneholdt også tidlige steg av autonomi – det var Penguin selv som gjorde den siste identifiseringen av målet gjennom IR-signaturen, og den påfølgende målfatningen (158).

På starten av 90-tallet begynte utviklingen av det som skulle bli Naval Strike Missile, eller NSM, som mot slutten av 2000-tallet også fikk en bror i form av Joint Strike Missile, JSM, som i bunn og grunn er NSM tilpasset F-35-jagerflyet. NSM og JSM står som et sentralt eksempel på hvordan autonomien i våpensystemer har utviklet seg. NSM er per i dag et av verdens mest avanserte sjømålsmissiler, mye på grunn av den høye graden av autonomi. På mange måter er den en videreføring av Penguin, men NSM er konstruert opp fra bunnen som et helt nytt produkt. I tillegg til å ta i bruk IR-teknologi slik Penguin gjør for å identifisere mål, har NSM avansert bildegjenkjenning og laser-høydemåler. En av egenskapene missilet får takket være dette, er at den kan fly i ekstreme hastigheter rett over vann- eller landoverflaten. Med et eget, balansert sensorhus i front leser missilet terrenget eller bølgene foran seg og flyr parallelt med det



Naval Strike Missile. Foto: Kongsberg

skiftende underlaget med bare centimeters margin, helt autonomt. På den måten kan missilet nærme seg et mål langt mindre synlig, og med lavere sannsynlighet for å bli skutt ned, enn om det tok en høyere ballistisk bane mot målet. Fra et teknologisk perspektiv er det imidlertid den innebygde autonomien for målidentifisering og målfatning som gjør NSM til en representant av fremtidens missiler. Missilet har en database over alle kjente skip. Med hjelp av kunstig intelligens kan NSM kjenne igjen akkurat sitt utvalgte mål og dets svakeste punkt, og angripe kun dette (159). Teknologien i NSM gjør den så treffsikker at den bærer med seg et relativt lite sprenghode. For å ta ut et fiendtlig skip er det ikke nødvendig å «sprengne det i luften». Takket være teknologien kjenner missilet igjen det svakeste punktet, for eksempel broen, og tar ut kun denne. Om missilet ikke kjenner igjen det oppgitte målet, vil det automatisk avvike og fly til et trygt sted det kan terminere uten å volde skade. I en flytest av JSM mot bakkemål ble et falskt mål plassert på lokasjonen som missilet var programmet til å slå ut, mens det faktiske målet stod 100 meter unna. Missilet klarte selv helt autonomt å identifisere at tiltenkt mål var falskt, hvor det reelle målet var plassert, og så å angripe dette på det svakeste punktet (160).

Det er mindre og mindre aksept for tap av egne liv og siviles liv i krig. Teppebombing av byer under andre verdenskrig for å ta ut industri er erstattet av presisjon der missilene nesten flyr inn vinduet til et bestemt bygg som skal tas ut. Ønsket om presisjon og effektivitet er en av driverne for autonomi.

Det er blant missiler at ubemannet autonomi i forsvaret har kommet lengst, men takket være utvikling av informasjons- og kommunikasjonsteknologi de siste 20 årene, har utviklingen også skutt fart innen kampsystemer av en rekke slag. Gjennom FFI og samarbeid med private selskaper, spesielt Kongsberg Gruppen, utvikler forsvaret nå autonome, ubemannede kampsystemer av en rekke slag.

De konkrete prosjektene er undervannsfarkoster (AUV), båter (USV), kjøretøy (UGV) og dronesvermer (UAS).

Først ut av disse prosjektene var den ubemannende undervannsfarkosten Hugin, som nå er solgt til en rekke land og privat sektor (161). Oppgaven i Forsvaret er i all hovedsak tiltenkt autonomt minemottiltak.

Som så mye av autonomi-teknologien drives også denne

oppgaven av sikkerhet og økonomi. Minesveip og minejakt er tradisjonelt farlige oppdrag, der fartøyet må gå inn i et potensielt minelagt farvann. En sjømine vil typisk detonere når den kjenner signaturen fra et stort stålskrog, lyden av en bestemt motor eller være tids- eller fjernstyrt. Egne minejeger-fartøyer har i tiår vært spesielle skip som før i tiden hadde treskrog for å ikke utløse minene. Fartøyet måtte ta seg inn i området med miner for å destruere dem, noe som ikke bare satt mannskapets liv i fare, men også selve fartøyet. Disse skipene er dyre og tar lang tid å anskaffe, noe som vil være problematisk i en krisesituasjon da behovet er stort. Autonome droner har ikke bare lavere pris, men de er også lettere å anskaffe samtidig som de ikke setter menneskeliv i fare, og er bedre enn overflateskip til å finne miner



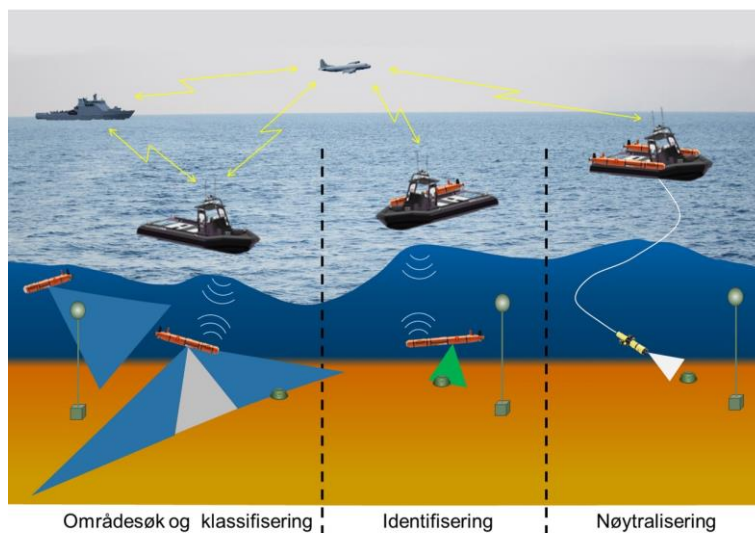
Hugin sjøsettes fra en av forsvarets minesveipere. Foto: Forsvaret

Sjøforsvaret bruker Hugin som en autonom minejeger til deteksjon, klassifisering og identifisering av miner (162). Området Hugin skal kartlegge programmeres på forhånd, men ved hjelp av kunstig intelligens og autonomi kan Hugin bruke sine sensorer til å kartlegge et område, selv tolke hva som er interessante objekter, og returnere til disse for en nærmere kikk. Denne formen for autonomitet lar en jakte etter miner i områder som det i dag er vanskelig å lete i, samtidig som autonomien nesten er en forutsetning for undervannsfartøyet. Det er vanskelig å holde kommunikasjonslinjer med fartøy under vann med mindre det er koblet til med en kabel, som i seg selv vil begrense rekkevidden. Når Hugin kan klare seg selv, takket være evnen til å selv ta automatiske beslutninger, kan den finne veien alene i et større område og avgjøre akkurat hvor en mine ligger. Hugin er allerede i ferd med å få en modernisert bror i form av Munin. Egenskapene er mange av de samme, men Munin er langt mer kompakt og mobil.



Odin, et ubemannet, autonomt overflatefartøy. Foto: TU.no, Tore Stensvold

FFI jobber også med et autonomt overflatefartøy som har fått navnet Odin. Odin er i seg selv en utviklingsplattform for å teste og utvikle autonom teknologi til minesveip og minerydning. Samtidig skal den sette ut og hente inn Hugin fra et farlig område, og være moderfartøyet for selve destruksjonen av en sjømine. Lærdommene fra Odin vil også bli tatt i bruk på utviklingen av det autonome containerskipet Yara Birkeland (163). Odin skal med tiden kunne brukes til å utføre autonome minesveip av et gitt område, ved bruk av sensorer som kan kartlegge havbunnen under, og også til å sette ut Hugin. Da vil Odin samtidig fungere som en relestasjon for informasjonen fra Hugin tilbake til et moderskip som står på trygg avstand. Denne autonome teknologien er ikke helt på plass enda, men antikollisjonssystemet fungerer. Dette gjør at Odin selv oppdager en hindring i vannet, navigerer rundt og gjenopptar sin planlagte rute uten at det går ut over kartleggingen av havbunnen. På den måten opptrer båten autonomt. Teknologien for et fullt og helt autonomt overflatefartøy er imidlertid fortsatt på et tidlig stadium, men det har



Bruk av autonome overflatefartøy og undervannsfartøy til minesveip og nøytralisering. Odin setter ut og henter inn igjen Hugin, autonomt.

et betydelig fokus fra Forsvarets side. Hugin, Munin og Odin er sentrale i Forsvarsdepartementets konseptstudier for fremtidige systemer for å finne og fjerne sjøminer. Sjøforsvaret ønsker på sin side å ta i bruk autonome og modulære systemer i størst mulig grad, så de tre fartøyene vil således være definerende for utviklingen på dette feltet (164). Norge, ved Forsvarsdepartementet og FFI, ligger langt framme på førerløse og ubemannete farkoster, mye takket være intensiv og målrettet satsing på området (165).



Olav, FFIs utviklingsplattform for autonome, landbaserte kjøretøy.

FFI har også startet og kommet et godt stykke på vei i forskningen på autonome kjøretøy for landjorda, i form av Olav. I likhet med Odin er Olav i stor grad en plattform for forskning mer enn den endelige løsningen, selv om den ombygde parkbilen allerede har fått definert konkrete oppdrag den kan løse. Områdekontroll er et godt eksempel, der kjøretøyet kan fungere som en vaktbikkje som enten patruljerer et område, eller rykker ut som en observasjonspost dersom en inntrenger er oppdaget et sted (166). Autonome kjøretøy må ta langt flere hensyn i sine beslutningsprosesser enn hva en båt må, da land byr på langt flere variabler. Bare underlaget kan for eksempel være snø, myr, asfalt eller grus, som må styres unna eller navigeres i på en spesiell måte. Eller om det er hindringer som trær, busker eller bare en plante den kan kjøre over. Situasjonene et autonomt kjøretøy må evne å kjenne igjen, tolke og ta beslutninger basert på er langt mer komplekse og varierte. Kjøretøyene vil være spesielt avhengige av et godt og avansert maskinsyn, til forskjell fra ekkolodd og sonar slik Odin og Hugin i stor grad bruker. I tillegg vil et militært kjøretøy ha helt andre krav enn de som stilles i privat sektor, mye fordi Forsvaret er avhengig av å kjøre på andre områder enn asfaltert og godt merket vei. Forskningen her er på et tidlig stadium, men Olav har allerede lagt bak seg mange kilometer på forskjellige underlag. Neste steg i utviklingen er det som kalles dynamisk ruteplanlegging, som er et mer avansert samspill mellom banefølgning og ruteplanlegging.

Autonome kampsystemer har også tatt til luften i form av droner. Disse omtales nærmere i et eget punkt, da teknologien og den potensielle anvendelsen er såpass spesiell og definerende for fremtidens forsvarsteknologi.

Uansett type farkost, og om det er et våpensystem eller kampsystem, krever samtlige av de autonome plattformene en form for kontrollering, stort sett i form av en overordnet oppgave. Det er ikke slik at Hugin bare kan slippes fra et moderfartøy, og så automatisk starte minejakten. Den trenger en oppgave, men detaljene tar den seg av selv. De må kontrolleres av mennesker som setter premissene. Det åpner opp for en serie etiske spørsmål, både nå og når vi en gang i fremtiden har helautonome systemer. Hvor i prosessen er mennesket? Hvem tar egentlig beslutninger? Hvem er det som utløser ild? Dette er store spørsmål som vil formes med tiden, og en etisk grense som vil utfordres i alle områder der det er snakk om autonomi. FFI tror at mennesket vil bestemme mål, og til syvende og sist gi ordren om at farkosten skal brukes mot et bestemt mål. Soldaten vil fortsatt være sentral i fremtidens forsvar, men det vil trolig være en glidende overgang der mennesket i større grad får fokusere på oppgaver som

mennesker er gode på, mens maskinene fokuserer på det de kan best. Maskinen kan samle inn, analysere, presentere alternativer og ta mindre beslutninger basert på komplekse data, mens den endelige og store beslutningen tas av et menneske. I praksis blir da menneskets rolle i strid en over- og sideordnet rolle der vi støtter oss på systemets autonome evner. I stedet for å ha direkte kontroll over en farkost, eller selv være i aktiv strid, kan vi fokusere på sosiale og kreative prosesser, eller fordeling av ressurser (167).

De fulle og hele konsekvensene av autonomi er det nær umulig å forutsi. Flere av intervjuobjektene vi har snakket med sammenligner det med å skulle forutsi konsekvensene av Internett tilbake i 1994. Det er imidlertid liten tvil om at fremtidens forsvar i større og større grad vil preges av autonome enheter, om de så er til sjøs, på land eller i luften. En autonom robot kan gå inn i situasjoner som er risikable for mennesker, og ikke minst kan de gå nærmere enn oss med sensorer som ser og tolker bedre enn det menneskelige øyet. Videre vil fremtidens autonome farkoster da naturlig nok være preget av at de i stor grad evner å tilpasse seg og ta beslutninger basert på miljøet de befinner seg i. I tillegg er autonomien en stor motivasjon for å bryte kostnadsspiralen forsvarsteknologien er i, der kampplattformene stadig blir dyrere. Autonome farkoster er gjerne synonymt med farkoster som i praksis er små, enkle og laget med hyllevarer. Det senker prisen, slik at flere enheter kan anskaffes, og ikke minst krymper det anskaffelsestiden. En minesveiper koster i dag milliarder og tar gjerne flere år å anskaffe. Autonome minesveipere koster et ensifret millionbeløp og kan leveres på uker. Funksjon, kostnad og leveringstid til side er det også liten tvil om at autonomien i større grad vil trekke mennesket ut fra aktive kampsoner. På den måten kan mennesket heller ha en beskyttet, strategisk og mer kreativ rolle i fremtidens forsvar.

Felles plattform for kampsystemer og stordata

I nær tilknytning til autonomi finner vi det andre store trekket av teknologiutvikling innen forsvarssektoren. Skjult bak hvert kampsystem du leser om, om det så er nye stridsvogner, ubåter, skip eller autonome systemer, jobber Forsvaret og FFI med en felles digital plattform som lar de forskjellige systemene dele data og kontrolleres på tvers.

Drivkraften bak utviklingen er at Forsvaret ønsker en felles arkitektur for autonome systemer, slik at farkoster i ulike domener kan ha et fullstendig integrert og sømløst samarbeid. De ønsker også å sammenstille sensordata på tvers av farkostene til bruk i en «big data»-sammenheng. Hovedprinsippet er at én felles arkitektur vil gjøre at man i praksis kan sitte på én kommandosentral og gi ordre til en undervannsfarkost, med et signal sendt via en drone eller stridsvogn, basert på data fra et kampfly, og at disse farkostene kan kommunisere seg imellom. Olav, Odin og de andre autonome plattformene som FFI nå utvikler skal også ha samme type «hjerne», og et felles sanseapparat, som lar dem samarbeide om å oppfatte omgivelsene rundt seg. Med felles arkitektur vil Forsvaret kunne få et nettverk av sensorer som innretter seg automatisk etter omgivelsene uten menneskelig innvirkning. Basert på informasjonen fra alle enhetene kan det trekkes en beslutning som sendes videre til et menneske eller en ny maskin for videre avgjørelse. Med et slikt nettverk blir informasjonsgrunnlaget vesentlig bedre, slik at både mennesker og maskiner kan enes om en bedre, optimal beslutning.

Denne typen teknologi er allerede i bruk i Forsvaret. Nye CV90RWS-bombekastere kan få målinformasjon fra et nett av sensorer, og bruke denne informasjonen til å stille inn siktet automatisk (168). I en demonstrasjon for pressen viste Forsvaret hvordan en stormpanservogn lokaliserte et mål 2,5 kilometer unna. Stormpanservognen var ikke kapabel til å ta ut fienden og malte derfor målet med en laser. Laseren gir avstanden, og kombineres med

stormpanservognens GPS-signal og treghetsnavigasjon for å få nøyaktig posisjon til fienden. Denne informasjonen ble så sendt til fire bombekastere i nærheten som automatisk stiller inn sitt sikte. Med et endelig klarsignal fra operatøren, bombarderer bombekasterne målet uten å selv ha identifisert målet. På sikt vil det samme systemet kunne ta imot målinformasjon fra droner, F16- og fremtidens F35-kampfly. Om for eksempel en slik bombekaster kan få måldata fra droner eller fly, betyr det at den ikke trenger å eksponere seg selv for å «se» målet. Denne typen samhandling og automatisering gjør at fienden kan bekjempes raskere, og ikke minst med større presisjon og sikkerhet.



Nye CV90RWS-bombekastere kan få målinformasjon fra et nett av sensorer, og bruke denne informasjonen til å stille inn siktet automatisk. Foto: TU, Mathias Klingenberg

Lignende former for samhandling ser vi på flere domener i forsvarssektoren, også for ubåtene til Sjøforsvaret. I en årrekke har disse vært tyskproduserte, noe Sjøforsvaret fortsetter med når nye ubåter kjøpes inn. Dette blir den største

anskaffelsen i Norge etter F35-kjøpet (169). Norge skal bestille identiske ubåter sammen med Tyskland, og har

i den forbindelse etablert et nytt selskap mellom tyske Thyssenkrupp Marine Systems, Kongsberg Gruppen og tyske Atlas Elektronik som skal være eneleverandør av kampsystemet, også kjent som et kommando- og kontrollsystem (170), til både Norge og andre ubåter som Thyssenkrupp bygger. Kampsystemer for ubåter har siden starten av andre verdenskrig handlet om å finne en mer presis måte å sikte inn en torpedo på. Ved krigens start kunne torpedoene kun gå rett frem, så man måtte sikte ved å manøvrere selve ubåten i riktig retning. Det fantes riktig nok noen forskjellige utløsermekanismer som ga torpedoen litt margin på målet, men det var først da torpedoene fikk sensorer for å sikte seg inn mot den høyeste lyden i området at de fikk en form for styring. Systemet var likevel ikke spesielt presist, og det er registrert tilfeller av at torpedoen angrep egen ubåt. På 60-tallet kom de trådstyrte torpedoene, der man via en kabel kan styre torpedoen mot målet, endre mål og kurser fra en kommandosentral i ubåten. En kjent, noe banal utfordring med de tidligste trådstyrte torpedoene var at de hadde problemer med å angi om målet var på styrbord eller babord side. Kongsberg Gruppen og FFI laget da det første kampsystemet for Kobben-klassen av ubåter, kalt MSI-70U. Med dette ble data fra periskop, sonar og radar kombinert, og presisjonen vesentlig forbedret. Systemet kunne imidlertid bare angripe ett mål om gangen, så på 80-tallet startet utviklingen av MSI-90U for Ula-klassen av ubåter som kunne følge flere mål samtidig. På noen tiår har altså kampsystemet i ubåter gått fra å ikke kunne skille høyre og venstre, til noe langt mer avansert. Detaljene om den nye generasjonen av kampsystemer som nå skal konstrueres av de tre aktørene i Norge og Tyskland er ikke kjent, men det loves å bli verdens mest avanserte (171). Den overordnede egenskapen er imidlertid klar, og den handler om det samme som i Forsvarets øvrige domener: Det skal være ett system som smelter sammen all sensorinformasjon fra omverdenen, fra en serie forskjellige sensorer. Dette skal presenteres i ett bilde hvor man kan starte ildledning, og så avfyre den våpentypen som egner seg best, være seg torpedo eller missil.

Den nye klassen av ubåter kan for øvrig også representere et noe annet teknologiskifte for Sjøforsvaret – de vil trolig være de første som bytter ut blybatterier med litiumionbatterier. Batteriene er det som holder ubåten operasjonell under vann, og litiumion gir større

effektthet, mindre vedlikehold og bedre ladeegenskaper. Denne typen batterier dominerer alle kommersielle produkter i dag, som laptop, mobil og biler, men er fortsatt en relativt «ny» teknologi for Forsvaret sammenlignet med blybatteriene. En stor utfordring med litiumion er sikkerheten ved dem, og da spesielt ved en eventuell brann. Et slikt batteri består av en katode som utvikler oksygen og en brennbar elektrolytt, som gjør at om en celle tar fyr vil det være nær umulig å slukke brannen. Det forskes nå mye på akkurat dette, da teknologien vil gi ubåter med bedre kapasitet (172).

Dronenes inntog

I tillegg til autonomi og stordata skjer det mye innen en annen teknologisk drevet utvikling, nemlig droner. Dette kan skape helt nye muligheter basert på teknologi som verden enda ikke har sett rekkevidden av. Det mangler ikke på lovord om potensiale og visjoner for hva autonome droner med stordata i ryggen kan gjøre. Som en sverm skal de kunne bryte kostnadsspiralen til Forsvaret, holde flere soldater utenfor strid, gi uovertruffen innsikt og overrumple fienden strategisk, stille og presist. Samlebegrepet som gjerne benyttes er det engelske ordet «swarming». Men hvor lang har egentlig teknologien kommet, og hvilke oppgaver kan løses på denne måten?

Droneteknologien har eksistert i noen tiår nå, og begynner å bli velprøvd på flere fronter. Privatpersoner kan kjøpe en kommersiell drone med grunnleggende autonom teknologi for noen tusenlapper i en leketøysbutikk, og Forsvaret kan kjøpe noen imponerende krigsmaskiner til mange millioner kroner. Selv om de kommersielle dronene er primitive, er de brukt av fiender i krig, blant annet av IS (173). Selv om angrepseffekten er relativt lav, har slike løsninger en betydelig effekt.

På forsvarssiden er Predator MQ-1-dronene de mest kjente. De har vært i lufta siden 90-tallet, og bare den nyeste versjonen som var operativ i 2007 har tilbakelagt over en million flytimer – det meste i strid (174). Ved siden av Predator finner vi også ofte MQ-9 Reaper-dronen, som har lignende egenskaper. Begge disse har autonom teknologi, som gjør at de kan ligge i luften og «vente» på et oppdrag. Når oppdraget starter, kommer en operatør inn og fjernstyrer farkosten. Siden disse dronene i stor grad opereres fjernstyrt regnes de fortsatt i dag som ubemannede plattformer, ikke autonome plattformer. En slik utvikling skjer også innen både tankfly og transportfly. Sentralt i denne utviklingen ligger at det skal være et samspill mellom bemannede og ubemannede plattformer. For de store kampplattformene, som kampfly og angrepsdroner, vil teknologiene trolig leve i et slikt samspill i mange tiår. Det jobbes for eksempel konkret med at Reaper-dronen skal kunne fly i formasjon med og kontrolleres fra våre nye kampfly, F-35 (175). I en slik formasjon kan de ubemannende dronene være med på å eskortere de bemannede kampflyene, de kan være en sensorplattform som deler data med piloten og de kan være en forlengelse av våpenplattformen gjennom at piloten av F-35 avfyrrer ekstra våpen på dronen. Det pågår for øvrig nå en konkurranse der målet er å få frem en tanker-drone, en ubemannet, flygende drivstoffstasjon, som kan følge kampfly ut fra hangarskip for å på den måte øke kampflyenes radius til sjøs.

Norge har også gjort sine bidrag i dronemarkedet, og spesielt merker én type seg som en nisjeaktør; nano-dronen Black Hornet fra Flir, tidligere Prox Dynamics. Den lille dronen er bare 12 centimeter lang og har en vekt på 18 gram. Likevel er den en kapabel luftfarkost, med god rekkevidde, utholdenhet og avansert kamerasensorikk. Den innebygde autopiloten gjør at den kan tåle vindkast opp til 20 knop, og med en så liten kropp og støysignatur er den vanskelig å oppdage. Summen av disse egenskapene har gjort at det i dag er 30 nasjoner som har tatt den lille, norske dronen i bruk. Nå ligger selskapet også godt an til å få utruste hele

den amerikanske hæren med slike droner, etter å ha gått til topps blant 20 konkurrenter (176). I utgangspunktet er dronen laget for at hele enheten, inkludert ladestasjon og kontrollenhet, kan bæres i vesten til en soldat, men egenskapene har gjort den attraktiv også til annet bruk. Det jobbes med et prosjekt der nano-dronen skal integreres i kampsystemer som stridsvogner. Målet er at vognføreren skal få vite mer om hva som befinner seg bak neste bakketopp eller hushjørne, uten å måtte eksponere seg selv. Dronen kan sendes i lufta på sekunder og sende direkte HD-video av området, før den så returnerer til kjøretøyet (177). I droner som dette er det mye kapasitet i en meget liten og lett forpakning.

Parallelt med diskusjonen og forskningen på ubemannende versus bemannende kampfly, har arbeidet med «swarming» intensivert. Det handler delvis om nettopp den nevnte kampfly-diskusjonen, og den tilhørende kostnadsspiralen. Med et kostnadsbilde lik det vi ser på F-35, ender man opp med å kjøpe færre enheter fordi enhetsprisen er så høy. Forsvaret forsker derfor på måter å anskaffe effektive kampplattformer som er mindre, mer fleksible og billigere. Det er her «swarming» kommer inn i bildet, der små, autonome droner på samme plattform kan jobbe sammen om å løse én oppgave.

Det er både nano-droner og spesielt mer tradisjonelle droner som utgjør utgangspunktet for konseptet «swarming», gjerne av samme størrelse som fotografer bruker. Konseptet er at disse mindre plattformene hver kommer med mindre kostbar teknologi, men er mer skreddersydd. Prinsippet er at en stor sverm jobber sammen autonomt, der én drone opererer som kamerasensor, en annen som radar, en tredje bærer med seg ren prosesseringskraft, en fjerde med beslutningstøtte og en femte er ildgivende. Det beste er hvis alle dronene kan utføre flere typer oppgaver og ikke spesialiseres for mye slik at de blir effektive og mindre sårbare for tap, samtidig som de jobber med en distribuert autonomi der enhetene forstår sin rolle og optimaliserer svermens ytelse.



Black Hornet fra Flir, tidligere Prox Dynamics, er bare 12 centimeter lang og har en vekt på 18 gram. Foto: TU.no

Teknologien er visjonær, men det jobbes iherdig med den. På norsk jord jobber FFI med et prosjekt der droner kan samhandle og fly autonomt for overvåkning og områdekontroll (178). En dronesverm kan erstatte faste kameraer og soldater som holder

vakt, og i motsetning til et menneske kan dronene jobbe døgnet rundt uten å bli slitne. I svermprosjektet til FFI utvikles teknologien på det samme rammeverket som de andre autonome farkostene de har, ubåten Hugin, kjøretøyet Olav og båten Odin. Med denne plattformen får dronene da en instruks om å patruljere et område, og så tar rammeverket og autopiloten over. På den måten får autopiloten løpende instruksjoner om hvor den må fly, om den må tilbake for å lade batteriet og om den må endre kurs for å unngå kollisjon. Systemet har i dag også logikk som gjør at dronen selv kan oppdage noe langs et gjerde som ikke har vært der før, fly nærmere og ta nye bilder for å samle inn mer presis informasjon.

Forskningen på sverm-teknologi handler også om å utvikle forsvarsmekanismer mot en fiende som selv velger å angripe med droner. Et angrep fra en dronesverm vil trolig bety et stort

antall enheter som raskt kommer inn i lav høyde. Et forsvar mot et slikt angrep er avhengig av rask responstid, og da må forsvarsdronen allerede være på plass i området. På sikt er derfor tanken at slike svermer kan patruljere kontinuerlig og lete etter andre droner og ikke bare identifisere dem, men også håndtere trusselen gjennom å ødelegge fiendens droner.

Fjernstyrte våpenstasjoner

Ubemannet autonomi er fremtiden, men før vi kommer helt dit vil forskjellige varianter av fjernstyrt teknologi og rent ubemannede løsninger bemerke seg. Disse har vi hatt med oss i tiår allerede, som de nevnte Predator- og Reaper-dronene, eller våre egne F-16 som i USA gjøres fjernstyrt til bruk som skyteskive i våpentesting (179). Som en del av utviklingen mot full, ubemannet autonomi jobber også de fjernstyrte plattformene tett sammen med bemannede plattformer, som eksempelet med F-35 og Reaper-dronen. I motsetning til fullt autonome plattformer, er fjernstyrte systemer ressurskrevende og ikke nødvendigvis spesielt mye billigere. Systemene har imidlertid såpass mange fordeler at vi vil se dem i utstrakt bruk lenge før den fullt autonome krigen. Også blant fjernstyrte våpenplattformer har Norge lenge utmerket seg, gjennom våpenet Protector RWS, som i dag eies og utvikles av Kongsberg Gruppen. Kildene vi har snakket med i forbindelse med denne rapporten påpeker alle at nettopp denne fjernstyrte våpenstasjonen er sentral når vi snakker om teknologiutviklingen i Forsvaret. Det finnes konkurrenter, men at store deler av verden velger nettopp denne løsningen taler positivt for viktigheten.

RWS ble utviklet på 90-tallet i samarbeid med FFI. Soldater på oppdrag hadde et behov for å ta ut landminer eller udetonerte bomber etter et angrep. På den tiden ble de destruert fra en bemannet våpenstasjon på toppen av et kjøretøy, men det utgjorde en risiko for personellet. FFI kjøpte inn et pansret kjøretøy, satt et gevær på toppen og lagde et fjernstyringssystem på innsiden av kjøretøyet. På den måten kunne soldaten sitte trygt innenfor pansringen og destruerende miner og bomber. RWS ble raskt kommersialisert, og med stadig bedre teknologi for stabilisering, målidentifisering og sensorer har teknologien utviklet seg til å bli en populær våpenstasjon på kampkjøretøy. 20 000 systemer er nå i bruk av 19 nasjoner (180). Med en helt ny rolle i



En RWS med våpen og en rekke forskjellige sensorsystemer montert på en norsk kampvogn. Foto: Kongsberg Protech Systems



RWS-operatør inne i en amerikansk Humvee. Bilde: Master Sgt. Michel Sauret

20 000 systemer er nå i bruk av 19 nasjoner (180). Med en helt ny rolle i

kampsituasjoner bærer RWS også en rekke andre fordeler. For det første kan soldaten sitte beskyttet bak pansring, fremfor å stå på taket, og øyeblikkelig være bedre beskyttet. Fjernstyringen sørger også for at soldaten føler seg tryggere og kan «holde hodet kaldt» i en kampsituasjon. Soldaten har bedre tid til å ta gode og reflekterte avgjørelser, fra flere datakilder som dag- og nattkamera og andre sensorer. Siden soldaten ikke sikter selv, men gjennom en datamaskin, sørger våpenstasjonen for å alltid være stabilisert og at skuddets ballistiske bane kalkuleres i sekundet før skuddet avfyres, slik at skuddet treffer akkurat der man sikter på første forsøk. Totalt sett avfyres det færre skudd med teknologi som RWS, og de skuddene som faktisk avfyres treffer der de skal. Med et noe imponerende utseende og hastighet har våpenet fått mye «gratisreklame» i amerikanske actionfilmer (181).

Selv om teknologi som RWS i utgangspunktet er designet for at det er meget kort avstand mellom våpen og operatør, er det utviklet løsninger der våpenstasjonene kan kontrolleres på langt større avstander via en fiberkabel. Kongsberg har videreutviklet RWS til det de selv kaller fremtidens vaktårn (182). Utgangspunktet er å beskytte baser i stridssoner, der man i dag har

mye god teknologi som radarer, optikk og andre sensorer for å oppdage potensielle inntrengere. Men når en inntrenger har angrepet, har det alltid vært soldater med håndvåpen som må forsvare. Med fjernstyrte, ubemannende våpenstasjoner som disse tar man i bruk den eksisterende sensorikken for å oppdage fiender, og om nødvendig utføre svært presis ildgivning uten at operatøren er i direkte fare.

RWS står som et eksempel på hvordan teknologi for fjernstyring er teknologi for flere ubemannede operasjoner. Systemene er under konstant utvikling for å få bedre sensorikk, mer presis ildgivning, større rekkevidde og nye bruksområder. Fremtiden til fjernstyrt teknologi ses imidlertid mer på som en mellomstasjon til full autonomi, enn at det vil gjennom de store teknologiske paradigmeskiftene på egenhånd.

Modulært for fremtiden

Investeringer i Forsvaret er ofte synonymt med milliardinvesteringer der leveransen skjer flere år etter at beslutningen ble tatt. Samtidig utvikler teknologien seg ofte raskere enn anskaffelsestiden, og det er forventet at kampsystemet skal leve vesentlig lenger enn teknologiens brukstid. Dette er en grunnleggende utfordring for alle som gjør store, tunge investeringer, men både utfordringen og løsningen er spesielt synlige for forsvarssektoren som på enkelte områder er teknologiledende, og på andre områder henger tiår etter andre sektorer.

Et konkret eksempel er den nevnte anskaffelsen av de nye kampflyene F-35, en investering verd 72 milliarder kroner. Da de første tre flyene landet på norsk jord i november 2017 (183),



Slike ubemannede vaktårn ble i 2013 utplassert i Afghanistan, med RWS-teknologi på toppen. Foto: KPS

var det ti år siden de første flyene ble bestilt, og det vil gå ytterligere syv år før flyene er fullt og helt operative. 17 år fra bestilling til bruk er svært lenge med dagens teknologiutvikling, og utviklingen vil ha vært enda mer ukjent og rivende innen flyene skal fases ut i 2050. Ingen kan med sikkerhet fastslå hvordan verken teknologi eller krigføring vil utvikle seg i løpet av disse 42 årene. Selv om det nå har gått ti år siden første bestilling, er det lite som tyder på at vi ville funnet alternativer som gjør samme nytten i tide til å avløse våre F-16-fly (184). F-16-flåten er oppgradert og vedlikeholdt omtrent så lenge som det er mulig (185), så det var begrenset hvor lenge man kunne vente på ny teknologi.

Da beslutningen om å kjøpe F-35 ble tatt, trodde mange at det ville være det siste bemannede kampflyet som ble utviklet, men det viste seg å ikke stemme. Utviklingen av nye fly har kommet, noe som er med på å stadfeste at bemannede kampfly har sin rolle. Samtidig tyder mye på at kampflyene allerede nå vil innta en noe annen rolle, der bemannede kampfly i større grad er en kommandosentral enn et våpen. At man har et perspektiv på 30 år eller mer, endrer hele filosofien bak konstruksjonen av de bemannende kampflyplattformene, slik at flyet kan møte fremtidens ukjente utfordringer i strid. Siden fremtiden er ukjent, må plattformene lages for å kunne oppgraderes, endres og tilpasses en annen form for krigføring. F-16 har på mange måter vært starten på denne typen filosofi. F-16 brukes i dag på en helt annen måte enn hva man så for seg da beslutningen ble tatt, og hva produsenten designet flyet for, et kjøp som på sin tid var like omdiskutert som F-35. Flyet bærer i dag med seg tyngre våpen, mer utstyr og flyr på en annen og mer pressende måte, noe som har gjort sitt med slitasjen på flåten (186). Det er nettopp slike perspektiver som gjør at F-35, og flere andre kampsystemer, nå i større grad tar inn egenskaper som en kommandosentral enn et jagerfly, og at flyene integreres med Forsvarets øvrige kampsystemer.

Ikke bare påvirker denne problematikken hvilke egenskaper man bestiller i kampflyet, men også hele kjernen av vurderingen. Skal vi kjøpe bemannede droner eller kampfly? Skal vi kjøpe kryssere eller ubåter? Skal vi kjøpe stridsvogner eller helikopter? Skal vi satse på utvikling av «soft kill»- eller «hard kill» våpen? Skal vi kjøpe nå, eller vente og se om det kommer ny teknologi om noen år? Dette er selve kjernen av beslutningsutfordringen til Forsvaret, og mye av oppgaven til FFI er nettopp å kunne svare på mange av disse spørsmålene. I virkeligheten er det ofte tilnærmet umulig å gi et klart, kontant svar med hundre prosent sikkerhet. For hvordan skal man egentlig forholde seg til slike utfordringer, uavhengig av investeringens størrelse i kroner?

Ett svar som gir like mange spørsmål er at ny teknologi i seg selv på sikt kan løse denne problematikken, som for eksempel det nevnte «swarming»-konseptet. Et mer tydelig svar, som er det både Forsvaret og FFI jobber etter, er nøye behovsvurderinger i forkant av en anskaffelse, og at løsningen som blir vedtatt er en modulær løsning. Uansett om det er snakk om kampfly, helikoptre, stridsvogner eller marine fartøy, søker Forsvaret å kjøpe kampsystemer som enkelt kan moderniseres over tid – også for det man i dag ikke vet kommer i fremtiden. Forsvaret jobber kontinuerlig med å holde en balanse mellom forskjellige kampsystemer. Vurderingen om det i disse dager skal kjøpes inn flere stridsvogner eller helikoptre er et godt eksempel. I utgangspunktet er det to helt forskjellige kampsystemer med forskjellig bruk avhengig av fremtidige forsvarsscenarioer, men felles for begge er at de trolig kan gjøres ubemannede innenfor den forventede levetiden til neste investering. Med et utgangspunkt om at neste anskaffelse da enkelt kan oppgraderes, sikrer man seg bedre mot fremtidige teknologiske paradigmeskifter.

Den modulære tankegangen som en konsekvens av teknologiutviklingen inkorporeres i en rekke våpen- og kampsystemer i dag, og Norge har på enkelte systemer vært tidlig ute. Det mest kjente er luftvernssystemet NASAMS, som i dag er NATOs mest solgte luftvern nettopp på grunn av dets fleksible systemarkitektur (187). Utviklingen av NASAMS startet på slutten av 80-tallet i samarbeid med USA, og systemet har fått mye «god» reklame både via spillefilmer og fra virkeligheten. Det mest kjente eksempelet er at det er nettopp NASAM som står på hustakene rundt Det Hvite Hus i Washington DC. Det spesielle med luftvernssystemet er at verken nyttelasten eller sensorikken er unik. Det er den komponentbaserte programvareutviklingen fra 90-tallet som regnes som det største suksesskriteriet, som gir systemet en veldig fleksibel arkitektur. NASAMS er bygget opp av moduler og består av en kontrollstasjon, aktiv radar, passive sensorer og selve utskytningsenheten. Selve utskytningsrampen er som oftest seks missiler i kasser, men takket være modulariteten er systemet bygget om til en rekke konfigurasjoner. For eksempel har det norske Forsvaret kjøpt inn Humvee-biler med NASAMS montert internt og fire raketter på taket (188), og har på den måten blitt et særs mobilt luftvern. Med den komponentbaserte programvaren i bunn kan brukere av systemet kjøpe seg en ny og kraftig sensor, eller en ny type missil, og enkelt «hekte den på» sitt NASAM-system. I Polen har man et NSM-basert kystartillerisystem med et kommando- og våpenkontrollsystem tilsvarende luftvernssystemet NASAM (189).

Norges kampvognprosjekt til ti milliarder kroner tar også i bruk modulære prinsipper. Det ble bestilt 110 nye CV90-skrog, som utvikles til forskjellige kampsystemer. I tillegg er det stor grad av gjenbruk og inkludering av eksisterende kampsystemer. Blant annet ble 16 av våre eksisterende stridsvogner bygget om til nye bombekastere, med bombekastesystemet som automatisk sikter seg inn på målet basert på sensordata fra andre kampsystemer, omtalt tidligere i denne rapporten (190). I tillegg blir tårnet på samtlige eksisterende kampvogner gjenbrukt, men de oppgraderes med helt ny innmat – blant annet Protector RWS, den fjernstyrte våpenstasjonen for maskingevær og granatkastere (191). Kampvognprosjektet gir ifølge Forsvaret CV90-flåten et solid utviklingssprang, da de mener at Hæren får tre til fire ganger så mye funksjonalitet og fleksibilitet sammenlignet med vognene som ble tatt i bruk mot slutten av 90-tallet, selv om skrogene er veldig like (192).

I en tankegang om modulære, fleksible systemer som kan ta inn ny teknologi gjennom sin levetid, er programvare sentralt. Programvare er langt på vei den viktigste og mest sentrale biten av all ny teknologi, og måten programvare både tar over et kampsystem og er bygget opp definerer på mange måter muligheten man har for å endre teknologien over tid. Et



NASAMS under en testskytning på Andøya. Foto: Kongsberg

eksempel er kampflyene, der et grovt anslag antyder at F-4 Phantom-flyet, som kom på 60-tallet, består av omtrent ti prosent programvare, inkludert programvare på bakken. F-35 er derimot rundt 80 prosent programvare (193). Ikke bare gir dette F-35 egenskaper som naturlig nok var utenkelige på 60-tallet, det gir også flyet en vesentlig bedre mulighet for oppdateringer og utvidelser gjennom levetiden. Den store graden av programvare er også

grunnen til at flyet kan oppføre seg mer som en kommandosentral enn et våpensystem, og på den måten samhandle og operere i formasjon med ubemannede droner, eller for den saks skyld kontrollere ubemannende ubåter som Hugin. På den måten gir den modulære og fleksible tankegangen ikke bare muligheten til å fysisk oppgradere et system over tid, som NASAMS og stridsvognene, slik at disse passer inn i nye kampsituasjoner. Det gjør det også mulig for kampplattformen å innta en helt annen rolle enn den tradisjonelt har vært tiltenkt. På den måten kan man ruste seg for helt nye måter å føre krig på, samtidig som man i større grad kan holde seg fast på den galopperende teknologiutviklingen.

Kunstig virkelighet

En teknologi som bemerker seg på tvers av kampsystemene er bruken av utvidet virkelighet, bedre kjent som Augmented Reality



Siktebilde uten AR (venstre) og siktebilde med AR (til høyre). Foto: FFI

(AR). Dette er en teknologi der data fra sensorer av forskjellig slag kombineres med et reelt bilde av omgivelsene. På den måten får soldaten en bedre situasjonsforståelse med ett enkelt blikk, ofte på skjermen man sikter gjennom fra før. Teknologien utvikles eller tas nå i bruk på en rekke nye plattformer, fra helikoptre og kampfly til stridsvogner og enkeltstående våpensystemer. Variantene er mange, der det for eksempel i F-35 integreres direkte i pilotens hjelm, slik at piloten får data om andre fly, missiler og nøkkelinformasjon synlig i sitt eget synsfelt (194). Det er presentert prototyper av nye helikoptermodeller der et lag med taktisk informasjon kan presenteres som et AR-lag over hele frontruten. I nye stridsvogner er det gjerne integrert i siktesystemet til våpensystemet, som for eksempel Protector RWS. FFI har forsket på gode AR-teknologier i flere år og det vurderes som sannsynlig at denne typen teknologi i større og større grad vil gjennomsyre alle grener av Forsvaret. FFI er også engasjert i et prosjekt der det jobbes med forskjellige skjerm-løsninger som kan monteres på soldatens hjelm, slik at enkeltsoldater også får presentert taktisk data om fiender og potensielt farlige områder direkte i sitt eget synsfelt (195).

Utviklingen av AR-teknologi har på enkelte vis vært enklere å integrere for kampfly, da disse befinner seg i luften med et klart og fritt siktebilde mot en fiende. Utviklingen av teknologier som kan presentere taktisk informasjon via AR på en effektiv måte har vært mer komplisert å utføre for landbaserte fartøy, fordi åser, fordypninger, busker og trær gjør det vanskelig å vite akkurat hvor i et bilde en AR-markør skal plasseres, spesielt når objektet er langt unna. Også dette begynner man nå å gå gode løsninger på.

AR-teknologien vil i praksis henge tett sammen med arbeidet som gjøres på å få en felles kampplattform i Forsvaret. Informasjonen som presenteres i siktebildet til en stridsvogn må ikke nødvendigvis stamme fra kjøretøyet selv. Informasjonen kan komme fra alle grener av Forsvaret, om det så er fra en fremskutt drone, et jagerfly eller en annen stridsvogn i felten. På den måten kan man i et AR-bilde få presentert fiender på den andre siden av en ås eller rundt neste hushjørne (196).

Forsøkene som er gjort med AR så langt viser at det bærer med seg en rekke fordeler i strid. Informasjonen fra AR-bildet gir bedre samarbeid, både i kjøretøy og for soldater til fots, samtidig som det skaper bedre kjennskap om hvem som er fiende og hvem som er venn eller sivilist. Med et AR-bilde kan man også markere opp farlige gjenstander, som veibomber og miner, eller potensielt usikrede bygninger. Kombinert med en våpenplattform gir AR også vesentlig bedre informasjon for presis ildgivning mot fienden. I likhet med fordelene av en fjernstyrt våpenstasjon, som Protector RWS, gjør det at soldatene kan ta bedre beslutninger i kompliserte og stressende situasjoner.

Norske missiler vil fortsette ledelsen

Både betydningen i kroner og øre, samt hvor unik den er på en internasjonal skala, taler for at den norskutviklede Naval Strike Missile (NSM), og dens bror Joint Strike Missile (JSM) fra Kongsberg Gruppen, fortjener et eget delkapittel. Det er en forsvarsteknologi som trolig vil være tonegivende i lang tid. Mens NSM har vært operativ i rundt fem år nå, vil ikke JSM bli operativ før i 2024 – parallelt med innfasingen av kampflyet F-35.

JSM er kort fortalt en NSM tilpasset våpenrommet på F-35, og er det eneste missilet i verden med tilsvarende egenskaper som passer til kampflyet (197).



F-35 kan bære to JSM-missiler i våpenrommet. JSM er og er det eneste missilet i verden med tilsvarende egenskaper som passer til kampflyet.

Med avslutningen av den kalde krigen stanset også mye av utviklingen av nye missiler. Siden det er missiler stort sett bare videreutviklet, ingen startet med helt blanke ark – utenom NSM.

Akkurat dét er mye av grunnen til at Kongsberg selv kaller missilet «verdens mest avanserte kryssermissil» og mener at de har 15 års forsprang på konkurrentene, rett og slett fordi ingen andre har begynt på noe enda (198). Sjøforsvaret omtaler NSM som så overlegent teknologisk sett at den er det man på militærspåk kaller «terskelbyggende», altså at en potensiell fiende må ta hensyn til at Norge har NSM om de ønsker å gå til krig.

Resultatet er blant annet en veldig avansert søker og et *smart* stridshode, som kombinert gjør at NSM ikke trenger et *stort* stridshode. Fordi missilet er såpass smart treffer det uhyre presist, og da trenger det ikke ren sprengkraft for å ta ut fienden. En annen teknologisk egenskap ved missilet er at laserhøydemåleren gir NSM en adaptiv fluktbane over havet. Laseren sitter i et stabilisert hode som peker ned på sjøen og estimerer bølgehøyden slik at missilet kan fly tilnærmet uoppdaget like over havoverflaten – selv i stor sjø. I tillegg har det lav radarsignatur og er da vanskelig å oppdage på radar, samtidig som det gjør en rekke raske, tilfeldige og autonome bevegelser i slutfasen for å navigere unna et motangrep.

JSM er bygd for at to stykker skal kunne passe i våpenrommet på F-35. Det er nødvendig for F-35 å bære missilet «innendørs» for at kampflyet skal opprettholde en lav radarsignatur. Per i dag er det ingen andre kryssermissiler som kan bæres på innsiden av F-35, som gir våpenet nok en fordel internasjonalt. Foreløpig er JSM kun solgt til Norge, men spesielt Australia og Japan har vist stor interesse, og det er sannsynlig å anta at etterspørselen vil øke i takt med at F-35 gjøres operativ fra og med 2024.

At NSM stiller meget sterkt teknologisk kan ses gjennom taktøkningen i ordreboken. Missilet er så langt solgt til Norge, der det brukes av Sjøforsvaret, som kystforsvar i Polen, og på fregatter i Malaysia og Tyskland (199). I samarbeid med den amerikanske partneren Raytheon har den amerikanske marinen kjøpt NSM til bruk på sine nye fregatter (200), samtidig som USA nå jobber med å teste NSM til bruk på samme måte som kystforsvaret til Polen, som USA vil ta i bruk på øyene sine som er for grunne for skip og ubåter (201).

Selv om NSM er operativ og JSM godt på vei, skjer det kontinuerlige videreutviklinger av våpnene, og da spesielt av sensorikken og prosesseringskraften. Samtidig får de nye bruksområder. Selv om NSM ble designet som et sjømålsmissil, testes nå JSM med suksess også mot bakkemål (202). Videre har Norge og Tyskland inngått et samarbeid for å videreutvikle et felles missil basert på NSM, for å, på sikt, gi identiske missiler i begge land som nå også skal anskaffe samme type ubåt (203).

Samferdsel

Norge er et langstrakt land med utfordrende topografi, høyt lønnsnivå og arktisk klima. Det er bakteppet alle kjenner til når samferdsel diskuteres både i offentligheten og i diskusjonene ved kaffeautomaten. Et moderne samfunn er avhengig av effektiv samferdsel som en økonomisk bærebjelke for utvikling og kommunikasjon.

Tradisjonelle kommunikasjonsmetoder som tog, bil og i nyere tid lufttransport står alle overfor store krav til utvidelse og massive endringer i nær til mellomlang fremtid. Hovedutfordringene omfatter blant annet miljøutfordringen, endringer i befolkningsmønsteret, endringer i handlemønster og store fremskritt i de teknologiske løsningene som selvkjørende biler. Trendene tilsier at elektrifisering, ikke bare av bilparken men av alle former for kjøretøy med forbrenningsmotor, er stadig økende. Autonomi og kunstig intelligens kommer inn som et lag på toppen av elektrifiseringen. Samtidig blir skillene mellom de ulike transportmetodene utvisket og overlappende. Forskning på alternative transportmetoder utforsker muligheter for elektriske vogntog eller busser som kjører autonomt og miljøeffektivt. Dette kan utfordre togenes posisjon i samferdsel på kort sikt. Et eksempel er elektrifiserte veier i Sverige, der et elektrisk spor felles ned i eksisterende vei, som kan forsyne lastebiler med kraft til turen. Slik infrastruktur kan være med på å gi godstransport med autonome, elektriske lastebiler et fortrinn i konkurranse med tog.

Norge er i en unik posisjon for overgang fra fossil til elektrisk kraft i bilparken. Globalt er det ingen andre land som gir like kraftige insentiver for elektriske biler, selv om man ser at for eksempel Kina har en svært aggressiv utskifting av fossile kjøretøy som busser på en massiv skala. Norge var tidlig ute med produksjon av moderne elektriske biler, gode insentiver fra myndighetene og forbrukerne har i stor grad tatt de gode insentivene til seg. Ikke noe annet sted i verden er elbilettheten så høy, og bruken så høy i befolkningen. Det gjør Norge til verdensledende i elbilerfaring, men samtidig er denne erfaringen kun på forbrukernivå og har ikke resultert i betydelig økonomiske gevinster for norsk industri i noen sektorer. Utviklingen av elbilteknologi skjer nesten utelukkende utenlands, foruten en mindre produsent i Oslo som benytter eldre elbilteknologi.

Det er en sentral person for mye av utviklingen innenfor norsk transportsektor. Jens Glad Balchen bygget opp Institutt for reguleringsteknikk ved NTH på femtitallet, som senere ble til kybernetikkmiljøet. Under Balchens tid ved NTH ble en generasjon kybernetikere utdannet, og grunnlaget for moderne automatisering av industrien lagt. Han var med på dannelsen av International Federation of Automatic Control, et internasjonalt fagorgan for automatisering og tildelt IEEE's Centennial Medal Award. Viktigere enn det, han var en inspirasjon til forskningsmiljøet som han dannet, samt flere store fremskritt innenfor reguleringsteknikk, havforskning, akvakultur og kybernetikk (204). Sporene av Balchens verk er synlige overalt i norsk automatiseringssektor, hans veiledning av 60 dr. ingeniører har satt preg på hele sektoren – noe dette kapitelet kommer nærmere inn på.

Datagrunnlag: Artikler som er sitert i teksten, samt intervju med Odd Richard Valmot, Marius Valle, Mathias Klingenberg og Tore Stensvold, alle journalister i Teknisk Ukeblad.

Autonomi på landjorda

For landbaserte kjøretøy finnes det en klar rangering av nivåer innen autonomi. Med autonom drift menes navigasjons- og manøvreringstekniske metoder som tar et kjøretøy eller fartøy til sin destinasjon. Autonomi er et aktuelt tema, og det kan ikke understrekes godt nok hvilket paradigmeskift autonomi i kjøretøy vil bety.

Et kjøretøys nivå av autonomi rangeres på en skala fra 0 til 5:

- Nivå 0: Mennesket har full kontroll over kjøretøyets manøvrering
- Nivå 1: Mennesket kontrollerer kjøretøyet, men én funksjon kan styre automatisk, for eksempel akselerering eller retningsstyring.
- Nivå 2: Minst ett system, bestående av både styring og akselerering, kan påvirkes av ekstern informasjon fra sensorer, og føreren kan til tider ha mulighet til å ha hender av ratt og akselerator.
- Nivå 3: Føreren har kontroll, men har en mer tilbakelent rolle i føring av bilen mens automatiske systemer som på nivå 3 utfører manøvreringen.
- Nivå 4: Kjøretøyet kan utføre alle oppgaver som er sikkerhetskritiske for fremdrift av kjøretøyet gjennom en hel tur, men kan støte på forhold som det ikke kan håndtere
- Nivå 5: Et fullt ut autonomt system som i Nivå 4, men tilpasset unormale forhold som kjøring på grusvei uten assistanse.

Det betyr at menneskeheten har operert med biler som har nivå 1 av autonomi siden femtitallet, men lite skjedde i mellomtiden frem til rundt år 2000, da sensorteknologien kunne supplere manøvreringen. I 2000 kom advarselsystemer for filskifte, altså et sensorsystem som advarte føreren om at kjøretøyet utilsiktet beveger seg i en annen fil, på lastebiler fra Mercedes. Året etter debuterte systemet i personbilen Nissan Cima. I dag er dette utviklet til et system som ikke bare advarer føreren, men også utfører manøvrer for å korrigere feilen.

De mest avanserte bilene (for eksempel Teslas Autopilot og Nissans ProPilot) i dag har en autonomi tilsvarende Nivå 2, mens de eksperimentelle bilene fra Waymo og Zoox har et nivå som tilsvarer Nivå 4. Utviklingen på dette feltet er rask, og konkurransen er sterk med mange forskjellige strategier for å nå målet.

Fra og med Nivå 4 snakker man om «selvkjørende» biler, slik det er lagt frem i visjoner fra for eksempel Ruters fremtidsplaner. Dette er taxiene som kjører like godt uten fører og har ingen lovkrav til å være bemannet med en fører. Fra dette nivået skjer paradigmeskiftet når man snakker om å gjøre store deler av transportsektoren ubemannet, som lastebiler og drosjer. Fra og med nivå fem, er det ingen grunn til å ha mennesker involvert i manøvrering av kjøretøyet siden det uansett kommer seg frem overalt (205).

Også i bilindustrien har det vært en holdningsendring med tanke på autonomi. Fra å ha en «det kan aldri gjøres»-holdning viser flere bedrifter nå frem avanserte systemer for sensorikk og manøvrering av kjøretøy. En av TUs journalister med ekspertise på feltet sammenliknet det med internettet sin spede begynnelse. Noen ser potensialet der andre avfeier mulighetene. Utviklingen skjer raskt, og vil ha stor betydning for hvordan stat og kommune tenker infrastruktur. Et konkret eksempel er behovet for tog, når det kan forventes at større kjøretøy blir autonome på nivå 4 innen den tiden det tar å bygge en ny jernbane. Dermed kan det være mer ønskelig å for eksempel bygge en miljøtilpasset motorvei for autonome og ikke-autonome kjøretøy mellom Bergen og Oslo. Et annet scenario er et stamnett av hurtigtog som

kun trafikkerer storbyene, men supplert med effektiv autonom transport fra disse og ut til mindre steder (206).

Med autonom, og halvautonom kjøring, vil kolonner av lastebiler raskt kunne utfordre tog på mange transportrekninger for flere av Norges viktigste eksportvarer som fisk og fiskeprodukter.

Ridesharing

Norge er et motstrøms land sammenliknet med mange andre i verden, ikke minst når en ser på hvordan selskap som Uber har blitt tatt imot. Det er mye man kan si om Uber som selvstendig selskap, men at de har brakt med seg behov for å se nytt på lisensieringen av persontransport er utvilsomt. Slik norsk drosjenæring fungerer i dag, er det et begrenset antall lisenser som deles ut av fylkeskommunen og det er krav til persontransportøve.

TUs fagekspert på feltet observerer at Norges drosjenæring har vært svært aktive i å stå imot en justering av regelverket så det kan åpnes for mer fleksible løsninger innenfor delt persontransport, også kalt «ridesharing». Etter en kort periode med tilgjengelighet i Norge har Uber nå lagt størstedelen av sin virksomhet på is, etter rettslige avgjørelser. De aktivitetene som fremdeles drives er mer rettet mot «selskapsvogn»-segmentet, altså leie av limousiner. Drosjeaktiviteten er ikke i drift per i dag. Dermed er det fortsatt liten reell konkurranse mellom tradisjonelle drosjer og moderne ridesharing i dette markedet.

Delt persontransport henger tett sammen med autonomi og ikke minst digitalisering. I dag står den norske bilparken stort sett stille i de aller fleste av døgnetts tider. Med autonomi kommer også muligheten for å dele personbiler gjennom programvareplattformer, og man kan dermed oppnå en langt mer effektiv utnyttelse av ressursene. En halvpart av dette systemet er allerede realitet for Uber og liknende selskaper som Lyft, DiDi og GoGoVan. Det er nærliggende å tenke at i samme øyeblikk som autonomi på Nivå 4 er en realitet, vil flere aktører trolig se et potensiale i å ta del i en slik løsning. NSB er en av aktørene som ønsker å bli med på dette løpet, ved å bli en bildelingstjeneste som er mer fleksibel enn vanlig leiebil (207).

For den norske drosjenæringen kan oppmerksomheten Uber har fått i Norge oppleves som et paradoks. De har lenge operert med kreative løsninger og vært tidlig ute med teknologisk innovasjon. Oslo Taxi opererte med SMS-basert bestilling av sine drosjer på et tidspunkt der utenlandske taxiselskaper fremdeles brukte VHF-radioer for kommunikasjon. Med utviklingen av smarttelefonen ble kostnadsnivået for drosjesentraler og løyveiere drastisk redusert internasjonalt, og applikasjonene tok over for SMS i bestilling. Oslo Taxi var tidlig ute med en applikasjon for bestilling, men den mangler vesentlige elementer som gjør for eksempel Uber attraktivt (208).

Intelligente transportsystemer

Etterhvert som bilene blir utstyrt med avansert sensortechnologi, kommer flere muligheter til å anvende sensorene i andre deler av transportsektoren. En godt utstyrt bil eller lastebil har bildesensorer, lyssensor, regnsensor, ultralydsensorer, temperatursensor, satellittposisjonering og overvåkning av kjøreforholdene. Store mengder data blir generert i løpet av en biltur, men hittil har dataene forblitt inne i bilens datamaskin (209). Samtidig er veiene utstyrt med flere forskjellige sensorer, kameraovervåket, og værforhold blir innhentet fra stasjoner langs veien.

Hvordan kan disse dataene anvendes til noe nyttig? Intelligente trafikksystemer er begrepet om systemer som tar denne typen data i aktiv bruk til å gjøre transport mer effektivt og

tryggere, og Norge ligger godt i forkant. Her til lands har bompenger blitt hentet inn automatisk i et tyvetalls år, og markerte starten på det som ble ITS (210). Kombinert med utdata-enheter som veiskilting, kontrollrom for veitrafikk og informasjon i offentlige kanaler.

Dermed gir ITS muligheter for bedre håndtering av veigående trafikk, mer effektiv drift av bilparken og færre ulykker. Norske værforhold er som et eksempel krevende, og bedre informasjon kan langt på vei redde inn ulempene som norsk klima gir. Dersom en lastebilsjåfør har gode data på veiforhold og vær, kan turene planlegges bedre.

ITS betyr digitalisering av veitrafikken, i samspill med andre transportmetoder. Hvordan denne digitaliseringen kommer til å ta form, er ennå startfasen. Etterhvert som biler og lastebiler blir mindre «selvstendige øyer» av informasjon, og standardiserte systemer for utveksling av informasjon etableres, vil digitaliseringen aksellerere. Det kan være en av flere måter å kompensere for manglende kapasitet på veiene. Befolkningen skal stige og flytte på seg. Det kan være mulig å kompensere for økningens påvirkning på veiene, ved å anvende ITS-systemer. Et slik eksempel, som også vil føre til bedret effektivitet for transportselskap, er delautonome trailerkonvoier. Slike systemer kalles platooning, og er under testing i Norge (211). Dette øke effektiviteten på veigående godstransport og samtidig redusere miljøpåvirkningen. Testene viser at platooning fører til fem prosent reduksjon i drivstofforbruk på kjøretøy to og tre i en konvoi på tre lastebiler, som resultat av mindre luftmotstand ved korte avstander mellom kjøretøy. Platooning kan bli en realitet på E8 der trailere transporterer laks for eksport, innen en femårsperiode.

Lovgivningen som skal legge til rette for ITS er underveis i Norge. Ved å gi fra seg kontroll over et kjøretøy fra en person til en datamaskin, står man overfor et skifte i lovverket som regulerer trafikkforhold. En god del ITS-funksjoner, som automatiske trafikkopplysningsskilt er ikke avhengig av lovendringer, men andre krever endringer i lovverket. Det kan være alt fra automatisk endring av fartsgrenser basert på vær- og trafikkdata til graden av autonomi tillatt for kjøretøy på norske veier (212).

Elbiler, på batteri og hydrogen

De økonomiske incentivene til å velge elbil i Norge mangler sidestykke i verden. Flere forskjellige incentivprogram finnes globalt, fra skattefordeler til produsenter i USA til raskere ekspedering av bilregistrering for nullutslippsbiler i Kina. Men ingen andre steder enn i Norge nyter elbilisten like godt av fordeler som prioritet i kollektivfelt, nullmoms, gratis eller sterkt reduserte priser på bomstasjoner og ofte gratis ladning av batteriene.

Erfaringene med elbiler i forbrukermarkedet begynner å bli mange i Norge. Elektrifisering av bilparken er en utvikling som med stor sannsynlighet bare er i startfasen. Samtidig med en kraftig økning av den elektriske bilparken i Norge, synker kostnadene for produksjon av elektriske biler og deres praktiske egenskaper blir mer og mer like biler drevet av fossilt drivstoff. For bykjøring er elbiler i dag like anvendbare som konvensjonelle biler, for lengre turer har biler drevet med fossil energi fremdeles en fordel. Fordelene med fossilt drevne kjøretøy blir mindre for hvert år, når batteriteknologien går fremover, prisen nedover og ladenettverket bygges ut (213). Slik utviklingen ser ut til å gå i dag, er det liten tvil om elbilens suverene posisjon i privat transport og ifølge analyseselskapet Bloomberg er det ventet en prisparitet før incentiver mot fossil-biler i eller rundt 2025. Salget av biler drevet med fossilt drivstoff er forventet å halvere seg i den kommende tiden, frem til 2030 (214).

Hydrogenbilen, som lenge var en utfordrer til batteri-elbilen, har blitt en foreløpig parentes i den utslippsfrie private transporten. Disse er også i utgangspunktet elektriske, men anvender hydrogen som kilde til den elektriske kraften, i stedet for opplading av batteri. Å bygge ut infrastruktur for produksjon, distribusjon og utlevering av hydrogen har vist seg å være en større utfordring enn ventet. Selv om biler drevet av hydrogen har like gode fordeler som batteri-elektriske biler, har nær sagt ingen biler med hydrogendrift blitt solgt i Norge. En grunn til dette er et lite utvalg av biler med hydrogendrift, en annen er liten tilgjengelighet på fyllestasjoner for hydrogen. Hydrogen er også mer komplekst å fylle på kjøretøy, vanskeligere å lagre og har som batterier en utfordring i vekten som må til for å lagre energien.

I fremtiden kan hydrogen gjøre et comeback, mest sannsynlig i tungtransporten der man ikke er like avhengig av et stort nettverk av fyllestasjoner. I Toyotas eksperimentelle lastebil drevet av hydrogen, har bruksområdet blitt begrenset til å erstatte dieseldrift på tyngre lastebiler som opererer i et havneområde (215). Disse kan da bli konkurrenter til batteri-elektriske kjøretøy for tungtransport og kanskje spille en større rolle sammen med hydrogendrevne tog. Dette avhenger dog av en ren måte å produsere hydrogen på, som i dag ofte utvinnes av fossil gass. I energikvalitet har også hydrogen en ulempe, der komprimeringen av gassen er svært energikrevende.

Toyota er den bilprodusenten som går mest mot strømmen i produksjon av elbiler. De har satset tungt på hydrogen som energikilde, fremfor batterier. Nå legger også de om strategien for elektriske biler, til batteri-elektrisk drift.

Elbilens viktigste måloppnåelse de siste 20 årene er prispresset på batterier, der Tesla har ledet an utviklingen og presset prisen på litium-baserte batterier langt ned. De har også ledet an utviklingene på batterikjemi, og spunnet av batteriteknologien til husholdningsbatterier og buffere i strømnettverk. På ti år har kapasitet tilgjengelig for forbrukere omtrent blitt doblet i kapasitet og halvert i pris. Samtidig har kvaliteten og levetiden på batteriene i elbiler blitt kraftig forbedret. Slik som Nissan LEAF, der man tidlig i produktets levetid antok at batteriene bare kom til å vare i fire år: Nissan kom til Norge for å se hva de kunne bruke batteriene til etter endt levetid i bilen. Det er flere prosjekter tiltenkt de aldrende batteriene som husholdningsbatterier, og Nissan samarbeidet med et norsk selskap kalt ZEM for å studere ytterligere bruksområder. Uventet nok var batteriene langt mer varige enn først antatt, og prosjektet ble lagt dødt da batteriene bare varte og varte. ZEM laget sitt eget batteri, og nå har Norge to veldig sterke forsknings- og utviklingsmiljøer innen batteriteknologi. Kanadiske Corbus har flyttet sitt salgskontor til Norge, og en utbryter har startet et nytt firma og lagt produksjonen til Norge. Siemens har besluttet å bygge batterifabrikken i Norge med robotteknologi fra Raufoss.

Tesla var selskapet som for alvor bragte elbilen til allmennheten. Omtrent samtidig som Nissan lanserte sin Leaf, i 2011, lanserte Tesla sin modell S. Dermed var steget tatt opp fra små bilmodeller som norske Buddy og Mitsubishi i-MiEV tatt, inn til stor og liten familiebil. Deretter fulgte en lang periode hvor andre bilfabrikanter satt på sidelinjen og observerte hvor trendene gikk. Nå er Tesla en av flere fabrikanter i luksussegmentet og mer tradisjonelle aktører som Jaguar, Audi og Porsche har lansert flere konkurrenter. På samme måte har Nissans Leaf fått flere utfordrere i sin klasse og prissegment.

Dette er en utvikling som har tiltatt de senere årene, mye på grunn av den tyske dieselskandalen (216) hvor tyske bilprodusenter nå ser hele dieselkategorien forsvinne fra sine produktlinjer. Tyske privatbilister kommer til å unngå dieselmotorer, noe som kan potensielt

føre til økning i Tysklands CO²-utslipp, dette vil mest sannsynlig stimulere utviklingen av hybrid og batteri-elektriske biler i tysk bilbransje enda mer.

Utviklingen i Tyskland er viktig for den norske elbilparken. Det er et land med signaleffekt for internasjonal bilbransje på linje med USA, Japan og til en viss grad Frankrike. Standardene som utvikles her, kan være betydningsfulle for norske brukere og Tyskland får for eksempel for ladestandarden CCS.

Infrastruktur for elbiler

Norge har ligget helt i verdenstoppen på infrastruktur for elbiler, og tok nylig et langt steg fremover med innføringen av smarte strømmålere (AMS). Over hele landet har kommuner og private aktører bygget opp nettverk av ladere for elbil. Noen av løsningene er proprietære, som Teslas SuperCharger, og kan utelukkende benyttes av biler fra Tesla. Andre løsninger er splittet mellom flere forskjellige standarder og krever en del innsikt fra eiere av elbiler for å navigere, men kort fortalt kan det sammenliknes med å holde styr på hva slags drivstoff en fossil bil krever. I dag er det i hovedsak tre forskjellige standarder for hurtiglading som konkurrerer, Tesla, CCS og ChaDeMo. Disse er ikke kompatible med hverandre, og representerer en utfordring for hold av elbil og lengre turer.

Hos husholdninger kommer stadig flere løsninger inn for sikker hurtiglading, med enkle ladestasjoner som driftes på husholdningens kapasitet. Disse er også preget av å være spredt over mange typer kontakter, effektstyrker og andre variabler som kan være forvirrende (217).

Lenge har det vært en diskusjon om elbilens inntog i de tusen hjem har vært mulig i det hele tatt, med tanke på belastningen som det lokale og nasjonale strømmettet utsettes for. I forbindelse med innføringen av AMS over hele landet, har det vist seg at denne utfordringen nok er håndterbar med smartere styring av husholdningens strømforbruk. Dette kan langt på vei ta unna noe av problematikken rundt topper i strømforbruket som skyldes opplading av batterier. Ladestrukturen for elbiler kan heller ikke forventes å være tilpasset dagens batterier med relativt beskjeden kapasitet. Selv om det for få år siden ikke var mulig å kjøre Oslo-Bergen med en elbil, og det i dag er relativt enkelt.

Kollektivtransport

Flere steder i verden, som i København, finnes allerede autonome kollektivtransportmidler i form av automatiske undergrunnsbaner. I Norge forskes det på autonome ferger, og i Sverige på lastebiler med avtagere for strømskinner som kan enkelt brukes av busser. Utviklingen på feltet er går raskt, nyttetransport er på full fart inn i den autonome tidsalderen og tar elektrifiseringen med seg. For nyttetransport kan det også hende utviklingen skjer enda raskere enn på privat persontransport, siden det går raskere å tilpasse kjøretøy og infrastruktur.

Norge er et land der ingeniørenes arbeid innen flere sektorer ofte er veldig synlige, rent visuelt. Oljeplattformer som ble konstruert på 70-tallet er enorme konstruksjoner der bare en liten del er synlig over vann. På like måte kan det sies at Bergensbanen var det «umulige» prosjektet som ble realisert, og er i drift 100 år senere. Kollektivtransport er ofte store løft med lang horisont.

I Oslo satses det også på skinnegående nyttetransport, med kraftig utbygging av T-banenettet. Nylig ble bydeler som Løren knyttet til t-banenettet, mens Fornebubanen nærmer seg

realisering. Norske byer som Oslo er dårlig egnet for privatbilisme i bykjernen og løsninger som t-bane for transport til sentrum fra forsteder er godt egnet til å ta unna transportbehovet. Samtidig nærmer t-banens fellestunnel seg full kapasitet, uten gode muligheter for videre kapasitetsøkning på de togene som må passere i tunnelen. Plattformene har en gitt lengde, og det må være en gitt minimumsavstand mellom togene som ankommer og drar. Dermed må det tenkes alternativt, og Ruter som styrer kollektivtrafikken i Oslo utreder stadig nye alternativer. Spesielt interessant som løsning på kapasitetsproblemet er autonomi på t-banen, der avanserte trafikkestyringssystemer kan gjøre jobben mer effektivt enn mennesker (218). Allerede nå finnes det flere autonome baner, i København (219) og Hong Kong transporterer autonome tog som likner t-banen i utforming, tusenvis av passasjerer daglig. For korte distanser på flyplasser har autonome tog eksistert i flere tiår.

Det er ventet at skinnegående trafikk i Oslo skal ta seg av mye av økningen i befolkningsveksten. Slik kan man lett se for seg et sett med autonome busser som fører t-banen med passasjerer og oppnår høy effektivitet. Autonome busser er allerede på teststadiet to steder i Norge, med begrenset drift (220).

For bussen, et kjøretøy nesten uforandret siden den ble oppfunnet, kommer store endringer i fremtiden. Igjen er det de to gjennomgående faktorene i samferdsel som vil virke inn på busser som transportmiddel: Elektrifisering og autonomi. For den autonome delen kan være innføringen blir lettere enn for private biler. En buss klarer seg med Nivå 4-autonomi, siden den trafikkerer kjente ruter. Med distribuerte ladestasjoner og mindre behov for vedlikehold enn ikke-elektriske kjøretøy, kan det også hende at man ikke lenger trenger de sentrale bussdepotene, men at busser som ikke er i rute parkerer seg selv under lading eller til de starter ruten igjen (221).

Elektrifiseringen av busser er et felt Norge henger etter på. Mens Ruter har et par busser i drift i Oslo, og har bestilt flere nye kinesiske elektriske busser, har byer som Shenzhen i Kina rukket å bytte ut hele bussparken på over 16.300 dieselbusser, (222) med nye batteridrevne busser. Det er flere busser enn i hele Norge, og utskiftingen tok fem år, hovedsakelig motivert av behovet for å redusere forurensningen lokalt med 20%. De over 16.300 bussene henter strøm fra 510 ladestasjoner fordelt på 8000 uttak, og bruker langt mindre energi enn dieselbussene de erstatter. Kinesiske myndigheter subsidierer dette ved å gjøre elbussen like billig i innkjøp som tilsvarende dieselbusser. Akkurat nå er en elbuss dyrere i innkjøp enn en dieselbuss. Samtidig er elbusser raskt mer lønnsomme enn dieselbusser, på grunn av mindre behov for vedlikehold og lavere kostnader knyttet til energikilden.

Utviklingen på feltet er halsbrekkende rask, og det er anslått at kinesiske produsenter av elbusser står for nær halvparten av all batterikapasitet som skapes årlig, selv når alle andre elbilprodusenter tas med i regnestykket. Det er anslått at allerede nå har elbussene verden over redusert oljeforbruket, tilsvarende Hellas' daglige oljeforbruk (223).

Autonomi på skinnegående trafikk er et enklere problem å løse enn i privatbilisme og nyttetraffikk. I Nederland testes også autonome tog som skal gå mellom to punkter (224).

Togets fremtid

De seneste årene har debatten om høyhastighetstog vært den mest fremtredende i norsk togdebatt, men det ligger per i dag ingen konkrete planer om å gå videre med dette. Det er mange grunner til dette, utfordrende geografi og klima, spredt befolkning og høye kostnader er de vanligste grunnene til å ikke ta planene om hurtigtog til neste nivå. Samtidig ser man at

flere europeiske land satser på hurtigtog i nyere tid, etter at Frankrike bygget ut nettverket på 70-tallet med sitt TGV. Spania har bygget ut et betydelig hurtigtognettverk som knytter flere av de store befolkningssentra sammen, og bare få år etter at hurtigtoget mellom Madrid og Barcelona var i drift tok det over 60% av all trafikk mellom landets to største byer (225). I Norge ligger det an til å ha en maksfart på togene rundt 66% av hva europeiske hurtigtog klarer, i all overskuelig fremtid (226).

I Norge satses det igjen på tog, men nettverket bærer preg av tungt etterslep på vedlikehold (227). Det største løftet som ble gjort nasjonalt var på femti- og seksti-tallet da elektrifiseringen kom for alvor. En omfattende oppgradering er på gang, der signalsystemet i langs toglinjene digitaliseres. Det er en oppgradering av nettverket som vil være med jernbanen i mange tiår fremover, og erstatter svært sårbare signalsystemer i bruk i dag. Dagens signalsystemer er basert på prinsipper fra 1800-tallets jernbaneteknologi, og så siste store modernisering på femtitallet.

Av nye store prosjekter er det Ringeriksbanen som representerer den største satsningen i overskuelig fremtid, der nybrottsarbeidet tar fatt og konstruksjonen av strekningen som har vært planlagt siden 1922 starter (228).

Om elektrifiseringen har kommet aldri så langt i Norge, er det ennå en del strekninger som gjenstår. Rørosbanen er ennå trafikkert med dieseltog, Nordlandsbanen likeså. Å elektrifisere en jernbanestrekning er et enormt prosjekt, men fremskritt innen brenselceller og bruk av hydrogen kan være svaret på de få gjenstående strekningene med lav trafikk. For nyttetransport som tog, er spørsmålet om bruk av hydrogen et helt annet enn i privatbilismen. Tog har forutsigbare ruter og kan fylle hydrogen på togdepot eller stasjoner. De er også mindre påvirket av den tunge vekten som lagring av hydrogen bringer med seg, og togsett allerede bygget for elektrisk drift kan relativt billig og lett konverteres til hydrogendrift (229).

Samtidig vil mye av innovasjonen i skinnegående nyttetraffic ikke komme fra jernet som beveger seg på skinnene. Det er duket for en store endringer innenfor planlegging av trafikken, og som togprodusenten Siemens uttrykker det, slett ikke sikkert at vi har en rutetabell i det hele tatt i fremtiden (230). Kunstig intelligens og stordata skal assistere lederen av kollektivtrafikken i automatisk avvikling av trafikken. Det baserer seg på tidligere datasett om trafikk og behov, sensorer og direkte kommunikasjon med brukerne.

Av de mer futuristiske tog-konseptene har Hyperloop blitt aktuelt igjen, hundre år etter at teknologien først ble konseptualisert. Hyperloop-teknologien er basert på at et tog kjører i en tunell som holder nær vakuum, og dermed kan toget oppnå en meget høy hastighet. De teknologiske utfordringene er store, og prototypene er tidlige eksemplarer. Det er blant annet meget vanskelig å skape et trygt vakuum i et rør over en avstand tilsvarende Oslo til Trondheim, og det har aldri blitt gjort før. Akkurat nå jobber flere selskaper med konseptutvikling og baner opptil en kilometer lange, og å planlegge løsninger for infrastrukturen. Teknologien er på et meget tidlig stadium, men det investeres mye i forskning av private aktører (231).

Godstransport til lands

I Norge foregår store deler av varetransporten med lastebiler. Det er et betydelig behov for å utvikle nye løsninger for å styrke eksportsatsingen vår, spesielt innenfor havnæringen, men løsningene har latt vente på seg.

Utviklingen av alternativer til dieseldrevne lastebiler med sjåfør, går raskere i utlandet. Eksperimenter med selvkjørende trekkvogner er i full gang, drevet av ledende aktører innen bilautonomi som Uber (232). Samtidig er det skarp konkurranse om å lansere den første funksjonelle trekkvognen med fossilfri energi, der Tesla, Toyota, Nikola og Thor konkurrerer om å være først ute med et levedyktig alternativ. Tesla hever å kunne kjøre sin trekkvogn med last 300 kilometer før den trenger ladning, mens Toyota satser på hydrogen for sine trekkvogner.

I Norge vises hydrogensatsingen hos store, internasjonale aktører i form av bidrag fra industrien. Norsk kompetanse på drift av elektriske systemer drevet av hydrogenkilder er betraktelig i internasjonal sammenheng. Et slik eksempel er NEL, der 30-40 nye arbeidsplasser opprettes som resultat av samarbeid med tungtransportfirmaet Nikola (233). Autonomi er, som hos bussene, noe lettere å løse enn i privatbilverden. Det er mer vilje til å komme over kostnadsterskelen, siden man erstatter en dyr sjåfør. For langtransport er rutene ikke så varierende som man ser i bruk av privatbiler og mer egnet for autonomi på nivå 4, som vil bli tilgjengelig raskere enn nivå 5.

Det er et utall forskjellige konsepter som utredes innen landbasert transport, også innenfor lastebilenes verden. I Sverige utredes strømskinner for lastebiler, som forøvrig også testes med privatbiler. På lik måte er induksjonslading med store spoler i veibanen og på kjøretøy under utredning. Slike systemer finnes allerede for parkeringsplasser, og kan monteres på elbiler, men å gjøre det i bevegelse er en helt annen utfordring (234).

For godstransporten til lands, er fremtiden ikke bare diktert av hva som skjer på kjøretøy og i veibanen. Øket digitalisering gir langt bedre forutsetninger for å kunne planlegge godstrafikken, med langt bedre samstilling av ruter og gods. Der kommer kunstig intelligens inn som et verktøy for optimalisering av flyten, i langt større grad enn man kjenner gjennom dagens IT-systemer for logistikk. Fra sykehus og industri kommer erfaringene med AGV (Automated Guided Vehicle), og kan lett settes i drift i lokalsamfunn for distribusjon av varer i et begrenset område (235).

Autonomi til sjøs

På sjøen er autonomi svært forskjellig fra på land. Utfordringene med å manøvrere komplekse veinettverk er borte, men inn kommer helt andre utfordringer som været. Norge er en sjøfartsnasjon og langt sterkere rustet til å løse disse utfordringene, enn på landbasert transport. Over hele landet finnes spisskompetanse innen maritim teknologi, og utdanningsmiljøene spesielt i Trondheim utdanner svært mye kvalifisert arbeidskraft til maritim bransje.

Det er kybernetikkmiljøet i Trondheim som har opphavet til de seneste års utvikling av autonom skipsfart. Det er en ganske rett linje fra arbeidet til Jens Gald Balchen på NTH, til de innovasjonene vi ser norsk næringsliv lede an i maritim sektor. Sammen med Kongsberggruppen, har forskningsmiljøet i Trondheim tatt store steg fremover innen skipsautonomi.

Norske myndigheter ønsker å stimulere utviklingen og mange områder er nå åpnet for utvikling av teknologiene som skal gjøre autonom skipsfart til en realitet. Sikkerhet er førsteprioritet, lover og regler må etterhvert tilpasses. I det private finnes sterke krefter som ønsker effektivisering av skipsfart. I praksis betyr det autonom drift. Norske rederier er sterkt representert blant innovatørene, spesielt Klaveness og Wilhelmsen, som begge har opprettet

egne digitaliseringsavdelinger for å satse på ny teknologi. Wilhelmsen, Klaveness og Grieg har ansatt nye kategorier av ansatte som trekker firmaene i nye retninger.

Norsk forskning har også vært sentralt i utviklingen av maritime teknologier som autostabilisering, en teknologi som brukes i maritim transport verden over. Autostabilisering forutsetter utstrakt bruk av sensorer og aktuatorer som thrustere, men relativt lite datakraft. Siden norsk maritim industri allerede har et godt grep på sensorteknologien og aktuatorteknologien, er det programvaren og logikken i mellom som representerer den største utfordringen for forskningen.

Innen skipsfarten er standardene for autonomi på et fartøy satt av Lloyds Register, på en skala fra 0 til 6, kalt AL0 – AL6 (Autonomy Level). Denne skalaen er ikke viden brukt, men kan bli en standard metode for å beskrive et havgående fartøys nivå av selvstendig drift (236):

- AL0: Alle operasjoner utføres av mennesker, enten på skipet eller via fjernstyring.
- AL1: Automatisk styring av kurs og fart. Kan suppleres med kurssetting i form av veipunkter og fart.
- AL2: Alle avgjørelser om navigasjon og manøvrering tas av et menneske, men kursen kan plottes og endres automatisk basert på hendelser eller eksterne faktorer, omtrent som satellittnavigasjon i biler
- AL3: Navigasjon og manøvrering utføres automatisk, men et menneske har den endelige godkjenningen.
- AL4: Mennesker er tilstede på fartøyet, men tar kun ansvar for en generell oversikt over drift utover det en autopilot håndterer.
- AL5: Drift er automatisk, risiko vurderes automatisk, men for enkelte hendelser tas et menneske med i avgjørelsen.
- AL6: Fullt ut autonome skip som tar avgjørelser uten mennesker innblandet i prosessen.

I Norge er det flere prosjekter på gang, som tar for seg alle nivå av autonomi slik det beskrives i Lloyd's Register-listen. Noen av dem har også tatt steget ut i produksjon, spesielt innenfor fergetransport. Sommeren 2018 ble den første førerløse fergen tatt i bruk i Trondheim, som resultatet av et forskningsprosjekt kalt Autoferry i regi av NTNU (237).

Fergeprosjektet, som resulterte i prøvefergen «Milliampere», er i spissen for et stort miljø i Trondheim. Ut fra NTNUs miljø innen autonom skipsfart kommer det et halvt dusin doktorander innen temaet og flere mastergrader. Sammen med satsningen Ocean Space Center er ikke vedtatt, men om den blir det kan det starte opp innen få år, kan Norge ta en betydelig posisjon innen autonom skipsfart (238).

Fergeprosjektet er et mikrokosmos av ferdigheter som må være på plass før autonom skipsfart kan finne sted. I liten skala tar den for seg kommunikasjon med land, autonom avgang, autonom overfart, deteksjon og unnvikelse av hinder i vannet, autonom dokking og automatisk ladning.

Elektriske ferger betyr også mye mindre vedlikehold, men når de er elektrifisert er de også fullt åpne for autonomi. Når tilgjengeligheten er der, vil dette gjøre fergeovergangen lettere. Dette kan gjøre en fergefri E39 til et mindre realistisk scenario. Avhengig av teknologiens utvikling, fortrinnsvis innenfor autonomi og elektrifisering, kan referansealternativene for en fergefri E39 bli mer fordelaktige. For hver ferge som kan drives autonomt og elektrisk, svekkes argumentene for dyre broer og tunneler på veier med relativt lav trafikk.

Den elektriske fergen Ampere, var resultatet av en statlig konkurranse, en konkurranse der kravene for deltakelse ga et konkret resultat i form av en elektrisk ferge. Det har ført til at vi nå har fire maritime batteriprodusenter i Norge, det skaper arbeidsplasser, og leder videre til teknologi som hybrid drift av for eksempel fôrflåter til havbruksnæringen slik Fjord Hybrid har utviklet. Fôrflåtene er viktige for oppdrett av laks, og krever energi langt fra faste elinstallasjoner på land. Til nå har de vært drevet av dieselaggregater, men smart hybriddrift av disse fører til langt mindre forbruk av drivstoff og forurensning.

Et større prosjekt i samme kategori er Kongsberg-gruppens samarbeid med Yara, der lasteskipet Yara Birkeland skal utstyres for autonom drift. Gradvis skal skipet utføre flere og flere oppgaver autonomt, før det i 2021 er i AL5 eller AL6-drift. Hovedoppgaven til skipet blir å frakte varer for Yara mellom to destinasjoner og skipet skal gradvis utstyres med mer autonome funksjoner. Det elektriske, autonome skipet vil erstatte 40.000 turer med vogntog for Yara når det blir operativt. I tillegg til autonom drift av fartøyet, skal store deler av lossing også kunne gjøres autonomt (239).

Igjen viser det seg at Norge ligger langt fremme på utviklingen av teknologi, men et godt stykke bak med hensyn til implementering. For svært korte fergedistanser kan man benytte elferger med hurtiglading. På det mest egnede området for denne typen fergetrafikk, Indre Oslofjord, må Norge se seg slått av Danmark som bestiller fem helelektriske øybåter også kalt «havnebusser». Disse står også for en betraktelig reduksjon av Københavns CO²-utslipp, 2,5% reduksjon (240).

Elektriske fly

En stor del av transportsektorens klimagassutslipp kommer fra luftfarten. I dag er den fullstendig dominert av fossilt drivstoff uten alternativer innen egen sektor. Selv om ny teknologi har halvert utslippene per passasjer i løpet av de siste tyve årene, er dette oppveid av en økning i passasjertallene.

I Norge er den langstrakte formen landet med mye fjell godt egnet for lufttransport, og kortbanenettet er godt utbygget. For transport av passasjerer på kortbanenettet i Norge er det ikke usannsynlig at elektriske fly blir en realitet i fremtiden. Teknologien er på konseptstadiet ennå, og det er vanskelig å si noe om tidslinjen for når deler eller hele teknologien blir tatt i aktiv bruk.

Distanser som er krevende for biltransport, men per i dag ikke lønnsomme for kommersiell persontransport i luften kan bli det neste steget fremover for elektriske fly. Slike fly er foreløpig svært begrenset i sin rekkevidde og lasteevne, ene og alene på grunn av batterienes kapasitet. Allikevel er elektrisk drevne småfly på markedet og de første modellene er satt i produksjon. En modell, et småfly med to seter, har tatt Avinor-direktøren og samferdselsministeren på en demonstrasjonstur rundt Oslo Lufthavn Gardermoen (241). Med sin nyttelast på 180 kilo, og en begrensning på én time flytid pluss reserve, er begrensningene i dagens teknologi tydelige. Elflyet fra produsenten Pipistrel gir en pekepinn på at det er mulig. Direktøren for Avinor sammenlikner situasjonen med den elbilprodusenten Buddy var i da de lanserte sin aller første elbil for mange år siden. Liten og upraktisk bil, men i forkant av en revolusjon innen industrien.

Flere flyprodusenter ser nå på mulighetene for større elektriske fly, samt hybridløsninger slik man ser i bilindustrien. En slik modell er under utvikling av NASA, og har betraktelig større lastekapasitet enn flyet demonstrert på Gardermoen.

Selv om ingen av de kommersielle aktørene i norsk luftfart kan vurdere elektriske fly nå, er de underlagt den generelle utviklingen innen luftfarten. Avinor ønsker å satse på elektrisk fremdrift (242). Dette kan de gjøre ved å stimulere infrastruktur de har ansvar for, i retning av elektrisk luftfart. Et eksempel er å tenke nytt rundt kortbanenettet, som er i frontlinjen for elektrisk luftfart, og infrastruktur for ladning av fly på flyplassene. Dette er en visjonær plan for lufttransport. Et annet eksempel på hvordan Avinor tenker nytt er bruken av biodrivstoff som alternativ til kommersiell drift i luftfarten, der Gardermoen var første flyplass i verden som tilbød biodrivstoff til operatører som SAS og Norwegian.

I hele landet finnes 44 flyplasser, hvorav 26 klassifiseres som småflyplasser. Disse er jevnt spredt utover landet og et viktig tillegg til personbiler, buss og tog for persontransport. Småflyplassene er også viktige for sikring av sykefrakter og frakt. Derfor er det naturlig å tenke at disse har en viktig rolle i fremtidens luftfart, ikke minst når det tas hensyn til autonomi.

Autonome fly er i dag en realitet, moderne fly kan i praksis ta av, cruise og lande autonomt. Militære operatører av fly har nå et tiår med praktisk erfaring fra droner. Private droner er stort sett autonome i manøvreringen, mens operatøren egentlig bare peker i retningen de skal bevege seg. Allikevel har fullt ut autonome fly i kommersiell drift latt vente på seg. Vi ser at Airbus og andre aktører forsker på autonom drift av kvadkopterdroner, utviklingen går raskt.

Kombinerer man Norges utstrakte kortbanenett, Avinors visjoner for elektrisk drift og utviklingen i autonom drift, tegner det en spennende fremtid for luftfart i Norge med gode muligheter til å bidra med internasjonalt anerkjent utvikling av metoder (se delkapittel om radarteknologi senere i dette kapitlet og fjernstyring i digitaliseringskapitlet.).

Leveransedroner

For 16 år siden ble det skrevet om bruk av roboter i norske sykehus, og langt på vei har disse tatt over portørfunksjoner. Robotene er enkle, følger nøye planlagte ruter innendørs men har allikevel tatt over mange av arbeidsoppgavene til en kategori sykehusansatte, portørene. Da disse ble innført i Norge, var tilsvarende teknologi allerede helt eller delvis innført i 90% av sykehus i USA (243). Fra disse systemene, som kalles AGV (Automatic Guided Vehicles), tegnes konturene av en kommende droneteknologi.

I samstillingen av nåværende transportmetoder som lastebilfrakt og lastebåtfrakt, og droneteknologi har flere store aktører innen transport tenkt nytt. Konseptet er likt for landbasert og sjøbasert transport, der man har et «moderskip» som transporterer store kvanta last, og overlater den siste strekningen med transport til droner.

Allerede nå ser vi at flere transportselskap i USA tester ut mindre landbaserte leveransedroner for frakt de siste par kilometerne. De benytter seg av teknologi som enklest kan beskrives som lekebiler med en kraftig datamaskin og har et lasterom for mindre artikler som skal sendes lokalt (244).

Mercedes har utviklet et slikt konsept for en varebil, der lasten skyves inn i lasterommet på en vogn og tas til et distribusjonsområde. Fremme på plasseringen som er optimal for

distribusjon, vil autonome droner ta for seg frakten ut til det endelige leveransestedet. I mellomtiden vil lasterommet inne i varebilen automatisk organisere seg selv og optimalisere pakker etter hvor de skal leveres på ruten, ifølge visjonen til Mercedes (245).

Et likende konsept for sjøfarten har blitt vist med store lasteskip der mindre båter frakter lasten i skytteltrafikk fra lasteskipet til land. Forskjellen fra varebilkonseptet til Mercedes, er blant annet lasteskipets konstante bevegelse, sakte men sikkert gjennom ruten, og droneskipene som leverer lasten på land og vender raskt tilbake til skipet. Dermed møtes prosjekter som Kongsberg Gruppen utvikler for blant andre Yara, med autonome skip for frakt, mindre dronesystem.

Før disse visjonene blir en realitet, er det kanskje mer sannsynlig at man ser halvautonome flyvende droner som fraktrudskap til sjøs, gjerne fra skip til skip eller mellom skip og faste installasjoner. Per i dag er det få hinder, annet enn begrenset lasteevne hos dronen, for en slik operasjon (246). Gjennom bruken av slike droner bygges også verdifull erfaring mot fullautonome fraktdroner.

Dersom slik droneteknologi slår gjennom for havbasert transport, betyr det at hele havneanlegg står overfor forandringer. Dronene kan koordinere leveranser direkte og frakte rett fra båt til landtransport, som igjen kjører autonomt eller halvautonomt til destinasjonen.

Rakettrevolusjonen

NASA og McDonnell Douglas gjennomførte den første vellykkede landingen med en gjenbrukbar rakett i 1996, som en del av SDI-programmet (Strategic Defense Initiative). Raketten, som fikk navnet Delta Clipper Experimental (DC-XA), ble bygget på et minimalt budsjett og en stab på rundt hundre mennesker. Etter å ha gjennomført alle tester og nådd milepælene, ble teknologien overført til NASA og gikk i glemmeboken. Mange i staben til McDonnell Douglas skulle på et senere tidspunkt gå til Blue Origin, rakettelskapet til Amazon-grunder Jeff Bezos (247).



McDonnell Douglas Delta Clipper Experimental under landing i en testflyvning.

Selvlandende raketter var også grunnlaget for Elon Musks SpaceX, der han raskt innså at den store kostnaden i oppskyting av satellitter og mannskap til bane rundt jorden, skyldes en bruk-og-kast-metode knyttet til hele raketten. Førstetrinnet til en rakett er den dyreste delen, spesielt for raketter som skal nå bane, og består av rakettmotor og drivstofftank. SpaceX kan nå gjenbruke disse, en idé ingen andre aktører i romfartsmiljøet tok tak i, selv om konseptet allerede var utviklet av NASA, før SpaceX var nære suksess.

For begge selskapene, SpaceX og Blue Origin, kommer oppstarten og utviklingen av den nye raketteknologien svært heldig. USAs regjering på tidspunktet uttrykket ønsker om å kommersialisere utviklingen av raketteknologi og å komme seg en god del hakk ned i utgifter per rakettoppskyting. Dermed ble NASA i langt større grad en bestiller av tjenester, samtidig som de fikk mer ut av hver dollar som ble lagt inn i oppskytingen.

SpaceX har kommet lengst i å kommersialisere driften, og har nå flere dusin vellykkede oppskytinger for kommersielle aktører og stater. Under flere av disse har boosterne også blitt landet og gjenbrukt.

SpaceX har landet to av tre boosterne på én gang etter at de ble skutt opp festet til hverandre i konfigurasjonen som kalles Falcon Heavy. Denne konfigurasjonen kan bringe en ekstra tung last opp i verdensrommet (248).



En rakett fra SpaceX skytes opp fra Cape Canaveral og lander siden autonomt på en flåte til sjøs

Dette baner vei for langt billigere frakt til verdensrommet, som er grunnmuren i Elon Musks visjon om å sende mennesker til Mars på en økonomisk lønnsom måte. Det kan bane vei for kolonisering av planeten.

For å kunne sende mennesker til verdensrommet jobber både SpaceX og Blue Origin med raketter og romkapsler som er «man rated», altså så driftsikre at risikoen for uhell er minimal. Falcon Heavy er en viktig komponent i denne likningen, og på planene til SpaceX står også raketten BFR som opererer på de samme prinsippene, men med en langt større nyttelast. Denne raketten er også tiltenkt å bruke metanol som drivstoff, noe som gjør den lagt mer miljøvennlig og gjenbrukbar. Slik åpner også SpaceX en teoretisk mulighet for land-til-land-transport av mennesker og last med raketter, der intet sted på jorden er mer enn 45 minutter reisevei unna. Får selskapet gjennomført på denne visjonen, har det potensialet til å skape et paradigmeskift innen transport.

Radarteknologi med klimagevinst

Kystnasjonen Norge har alltid tidlig tatt til seg nye teknologiske løsninger i sjøfarten. Rundt om i den norske skjærgården ser man landbaserte radarmaster overalt, som gir et oppdatert bilde av sjøtrafikken. Dette systemet stammer fra Kongsberg-gruppen, som kjøpte opp Horten-selskapet Norcontrol. Norcontrol har utviklet det komplekse systemet for overvåkning av norsk skjærgård, og nylig var de eneste anbydere til å oppgradere radarsystemene med en kontrakt verdt 250 millioner (249).



Fedje Trafikksentral, med avanserte radarsystemer levert av Kongsberg Norcontrol

Det er verdt å merke seg at norsk radarteknologi er helt lik utenlandske løsninger på selve sensorbiten, radaren. De er ikke spesielt avanserte utover å være topp moderne teknologi som er stabil. Nøkkelen ligger i samstillingen av de ulike kildene, noe Kongsberg Norcontrol og Kystverket har mange års erfaring med, og fremstillingen av visningssystemene. Som en motsetning er sensorene, altså radarene, i den nyeste leveransen en åtte år gammel radarmodell som er hyllevare og levert av et stort internasjonalt firma. Den store forskjellen i leveransen, og fortrinnet til Kongsberg Norcontrol, kommer når radarbildet tegnes opp på skjermen og analysen leveres til Sjøtrafikksentraltjenesten med sine fire sentraler, driftet av Kystverket (250).

Teknologien som utgjør bakteppet til de ulike radarene og analysen, domineres av Kongsberg Norcontrol. Internasjonalt er de en av verdens tre største systemintegratorer for slike løsninger. Utfordringene som Norge kan by på, godt hjulpet av solide rammevilkår fra statlige organ som Kystverket, har fremdrevet robuste løsninger som også fungerer internasjonalt. Det ga Kystverket, Kongsberg Norcontrol og flere andre aktører en svært prestisjefylt kontrakt for leveranser i Singapore. Der skal et overvåkningssystem utvikles og iverksettes, for å holde kontroll på mer enn 70.000 skip i Singapore-stredet (251).

Med bedre systemer for overvåkning og oppfølging av skipstrafikken, kommer en rekke fordeler. Første prioritet er sikkerhet for skipsgående trafikk og menneskeliv. I leveransen til Singapore-prosjektet er blant annet djunker, en båttype ofte brukt til lettere transport i sør-øst Asia med mindre radarsignatur, tatt med i helhetsbildet. Det gir annen skipstrafikk muligheter til å bedre beregne rutene. Med mer presis overvåkning kan trafikken planlegges nøyere, og skip kan passere på optimale hastigheter for reduksjon av forurensning raskere. Samtidig gir den økte presisjonen bedre beregning av ankomsttider for passasjerer og gods i transport.

Bygg

Tiden da arkitekten satt med penn og papir har vært forbi i flere tiår. Etter innføringen av CAD (Computer Aided Design), som i løpet av nittitallet ble aktivt brukt på arkitektkontoret, har utformingen av bygningen vært digital. Siden har digitaliseringen gått litt mer trått i byggebransjen. For hvilke steg kan digitaliseres? Du kan ikke, i nær fremtid, automatisere jobben til en rørlegger, en elektriker eller en tømrer. Forsøk på dette er fremdeles på eksperimentstadiet, som vi viser til litt nedenfor, men langt fra hyllevare.

Hva trenger Norge av bygg? Hvilke oppgaver som dedikerte, statlige formålsbygg tar for seg i dag, vil det ikke være behov for i fremtiden? En slik tanke kan være «hva skal man med bibliotek dersom alle leser e-bøker?».

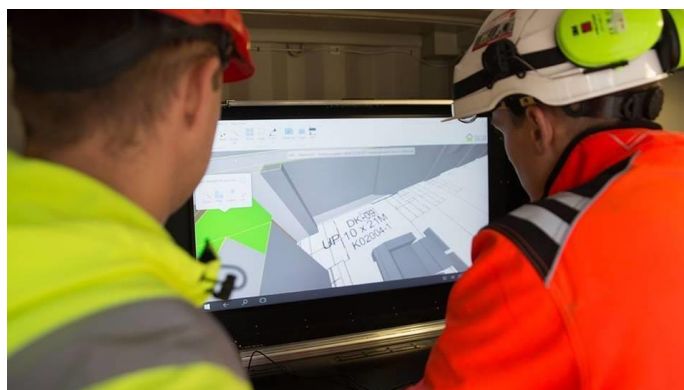
Nå har akkurat bibliotekene vært svært flinke til å fornye seg, og forsvinner ikke med det første. Men en annen, mer nærliggende situasjon er endringen som kan skje i krav til bygg. Ett eksempel er dersom delingsøkonomien skulle bortimot fjerne privat eierskap av biler. Trenger alle bygg da en garasje? Hvordan skal gatebildet se ut da? Trenger man alle parkeringsplassene dersom en smart by automatisk kan dirigere alle biler rett til en ledig plass, for å forminske plassbruk og forurensning? Samtidig skjer det en betydelig utvikling innen både verktøy og arbeidsmetoder som på mange måter i seg selv tegner opp et mulighetsrom for fremtiden innen bygg.

Her tar vi en nærmere titt på trendene som kommer, og ikke uventet starter det med digitalisering av bransjen.

Datagrunnlag: Artikler som er sitert i teksten, samt intervju med Odd Richard Valmot, Tuva Johannesen, og Knut Børheim, alle journalister i TU samt Tonje Værdal Frydenlund Managing Director Nordic / Continental Europe

BIM og digitalisering

Den mest lavhengende frukten hva gjelder digitalisering av byggebransjen dreier seg om planleggings- og byggestadiet av et prosjekt. Mellom disse stadiene er det en digital kløft, som kan fylles om de ulike faggruppene lykkes med digitaliseringen. Arkitektenes systemer skal snakke med byggingeniørens system for materialberegning. Med teknologikonsepter som BIM (Building Information Modeling) har man tatt første steg på veien videre fra arkitektens tegnebord.



Det siste påbygget på Høgskolen i Østfold, som sto ferdig i vår, var en av verdens første papirløse byggeprosjekter. Illustrasjonsfoto: Veidekke.

BIM blir av lekfolk ofte misforstått som visualisering av bygg. Selv om visualisering er en del av konseptet, omfatter det langt flere fag og prosesser. I en BIM-modell skal hele livsløpet til et bygg sees på som en helhetlig digital prosess, og ikke bare en visuell modell av bygget.

BIM omfatter bygninger, alle faggrupper, infrastruktur og andre konstruksjonsprosjekt, og knytter dem digitalt sammen (252).

Dermed kan hele verdikjeden i byggeprosessen, fra utredelse til første strek tegnes i arkitektens program, til siste byggemøte og til slutt gjennom byggets levetid, gjenbruk og resirkulering, samles på ett sted. I en fullt fungerende BIM, vil alle komponenter og egenskaper til et bygg kunne følges hele veien til ferdigstilling og være papirløst. Dette er en enorm utfordring for byggbransjen og alle involverte i prosessen.

Kort forklart vil en BIM-modell inneholde alle de forskjellige objektene som et bygg omfatter. Objektene, for eksempel et vindu, kan spesifiseres av kunden, settes inn av arkitekten, og spesifikasjoner overføres automatisk til byggingeniøren som kan gjøre beregninger. Objektene går videre til prosjektleder og entreprenør som ber om anbud på vinduet basert på spesifikasjoner og så monteres det etter anvisninger. BIM-en sendes over til lokale myndigheter som kan se at vinduet følger lokale lover og regler, og sender godkjenning tilbake. Under byggets levetid kan vedlikehold lett utføres, siden BIM-en inneholder all informasjon om vinduet som objekt, og alle data om det lagres. Om vinduet knuses har vaktmesteren mål og spesifikasjoner klare, og når bygget rives vet resirkuleringsfirmaet hvordan det skal resirkuleres

I Norge har BIM lenge vært en foretrukket arbeidsmodell for byggprosjekter, med god støtte fra staten. Første gang BIM nevnes i Teknisk Ukeblad er i 2005, hvor modellens prosjektmetode beskrives (253). Siden den gangen har utviklingen innen BIM tatt av for alvor, og i Norge har overgangen til BIM vært preget av harmoni blant de ulike aktørene.

BuildingSMART Norge er bransjeforeningen som er viktig for harmoniseringen av BIM i Norge. Eksempler på problemer som må løses i BIM er samhandling, å kunne enes om begreper på tvers av faggrupper og ulike organisasjoner, til standarder på filformat som utveksles. Med buildingSMART har BIM fått en god vekst i Norge, og er nå så utbredt at selv bygg oppført før BIM ble en realitet nå scannes og blir BIM-et (254).

Innsparingen i papirarbeid og reduksjon av utgifter i levetiden til et bygg er betraktelige. BIM hjelper alle de ulike faggruppene å snakke bedre sammen, enes om én modell for bygget eller prosjektet, fremfor å jobbe i hver sin silo av informasjon.

Mind the gap! Utvikling går raskere enn byggingen

I intervju med Snøhetta, kommer det frem at en av de største utfordringene byggebransjen og arkitektene står overfor, er den samme som mange andre steder i en teknologisk revolusjon. Utviklingen av nye løsninger og teknologi går langt raskere enn tiden det tar å oppføre bygget. Selv med utvikling i digitale modeller, finner byggherren ofte ut at teknologien som var fremtidsrettet på prosjektstadiet er bortimot utdaterte når bygget er oppført.

Dette skyldes ikke treghet i byggebransjen, der kuttet leveransetiden jevnlig. Det er den teknologiske utviklingen som holder et høyere tempo. En smarthusløsning som er banebrytende, kan være utdatert innen et par – tre år, og støttes kanskje ikke av leverandøren. Til dels er dette også et hinder for utviklingen av smarte hus rettet mot forbrukeren. Konkurrerende standarder og rask utdatering av teknologi, kombinert med høy anskaffelseskostnad som gjør løsningene mindre attraktive. Løsningen på denne problematikken er å tenke funksjon, mener de i Snøhetta. Med dette mener de at under

planleggingen av et bygg, er det ikke duket for konkrete valg av løsninger på detaljnivå. Det snakkes kun om hvilke funksjoner som skal utøves når løsningene er installert og operative. Valget av teknologi og leverandør kommer nesten helt sist i rekkefølgen, for å kunne ta med mest mulig modne løsninger og øke sjansen for at den lever lenger

En sideeffekt av en god BIM, er en svært detaljert 3D-tegning av bygget. Det gir veldig gode muligheter til å visualisere bygget, og dets omgivelser lenge før det står ferdig. Bruken av 3D-modeller er ikke ny, men nå utvides bruksområdet. Både i form av datagrunnlag for analyse med kunstig intelligens, men i alle faser av byggets levetid. Modellene kan også brukes til VR-visualisering, AR-veiledning på stedet og til markedsføring. VR-utstyret, som for få år siden kostet titusenvise av kroner, kan nå fås som et enkelt tillegg til mange typer mobiltelefon. Mer avanserte oppsett med faste installasjoner koster noen få tusen kroner, og gir svært avanserte måter å visualisere byggene på. I tillegg kommer AR, som legger et virtuelt lag med datagrafikk oppe på den virkelige verden.

Med gode VR-modeller, blir det også lettere for koordineringen av byggingen. Ulike faggrupper kan, takket være BIM, raskere se andres arbeider og planlegge inn i en felles modell. Når de ulike faggruppene er på selve plassen, kan teknologi som AR benyttes for å visualisere hva som skjuler seg i bygget og hvordan planen passer inn med virkeligheten.

Enkelte aktører, som Statsbygg, har også begynt å bruke VR ved byggemøter, gjerne i kombinasjon med videokonferanse. Det sparer inn reisetid til møtevirkosomhet, og selv om prosjektet er i startfasen, sees konturene av lønnsomhet (255).

Nye tilvirkningsmetoder

Helt siden CNC (Computer Numerical Control) revolusjonerte fabrikasjonsindustrien på 50-tallet, har utviklingen av datakontrollert fabrikasjon skjedd i et rasende tempo. CNC-begrepet fobindnes ofte med maskiner som driller, dreier og freser ut deler i metall og andre materialer (subtraherende tilvirkning, altså fjerning av materiale fra et emne). De senere årene har additiv tilvirkning kommet på banen. Den prinsipielle forskjellen er at man bygger opp emnet, i stedet for å fjerne materiale fra det. 3D-printere som bygger opp relativt komplekse gjenstander ved å legge lag på lag med varm plast, har ført til raskere og billigere prototypingsarbeid også i byggebransjen. Det som før kunne koste hundretusenvise av kroner å modellere i plast, kan nå gjøres gratis på biblioteket med en 3D-printer.

På likende måte ser man konturene av 3D-printing i andre deler av byggeindustrien. Foreløpig tas små skritt, og arbeidet bærer preg av å være på forskningsstadiet. Flere aktører, spesielt i USA og Frankrike, har konsentrert seg om å bygge hele huset i én omgang, ved hjelp av 3D-printing. Det er bruk av hurtigtørkende sement i det



*Hele hus kan 3D-printes, men i dag kun i relativt primitive former.
Foto: Université de Nantes*

amerikanske prosjektet, og konstruksjon av former til formstøping i det franske prosjektet i Nantes (256). Lederen for det franske prosjektet var på norgesbesøk nylig og uttrykte et ønske om samarbeid på tvers av landene, for å drive utviklingen fremover. Til felles har bransjen utfordringer med liten økonomisk vilje til å støtte opp om forskning rundt konseptet.

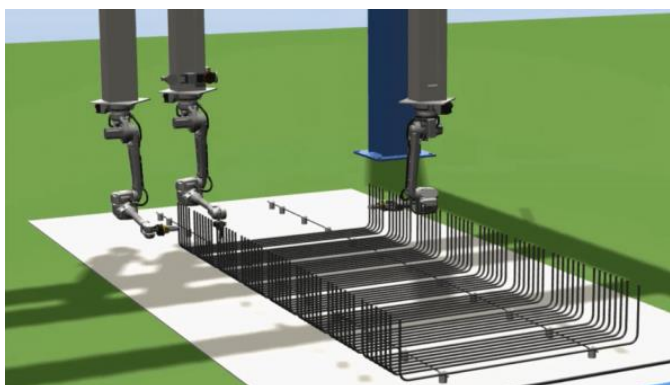
Interessen for de 3D-printede husene har hovedsakelig kommet fra utviklingsland, der mangelen på kvalifisert arbeidskraft er et problem og 3D-printing kan supplere dette. Foreløpig er resultatet fra 3D-printing mest å sammenlikne med enkle hytter, men utviklingen skjer raskt.

I Norge er det få som snakker om 3D-printing av hele hus. Derimot ser det ut til å være en interesse for bruk av tilsvarende teknologi for konstruksjon av byggets komponenter på stedet (257). Norsk industri har en parallell til denne tankegangen i form av Norsk Titaniums titanemnebygger for flyindustrien (258). Konseptet går ut på å bygge emnet som skal inn i en CNC-maskin så man unngår mest mulig bortkastet materiale og har mindre behov for å ha et helt lager av ulike emner. 3D-printing lager et emne som et svært grovt utkast, og CNC-maskinen freser til helt nøyaktig spesifikasjon. På lik måte kan man teoretisk bruke 3D-printing til å bygge støp på byggeplassen, og andre maskiner til ferdigstilling, fremfor å måtte transportere hele elementer til stedet.

Robotisering av arbeidskraft

I Norge er arbeidskraft kostbar og automatisering av flest mulig arbeidsoppgaver er derfor ofte lønnsomt. Ikke uventet har dette også skjedd i byggebransjen, med stor grad av robotisering av oppgaver. Den utviklingen kan skje på byggeplassen, men kanskje aller mest på fabrikker der prefabrikkerte boliger lages før de sendes ut til montering.

Ute på byggeplassene foregår en enkel robotisering, der robotene assisterer fagfolk med arbeidet. Det kan være repeterende oppgaver som drilling av hull i betong, eller montering av fliser (259). Norske selskap som NLink ligger langt foran i verdenssammenheng med utvikling og praktisk bruk av roboter på byggeplassen (260). Deres produkt er en robot som kan drille oppover i



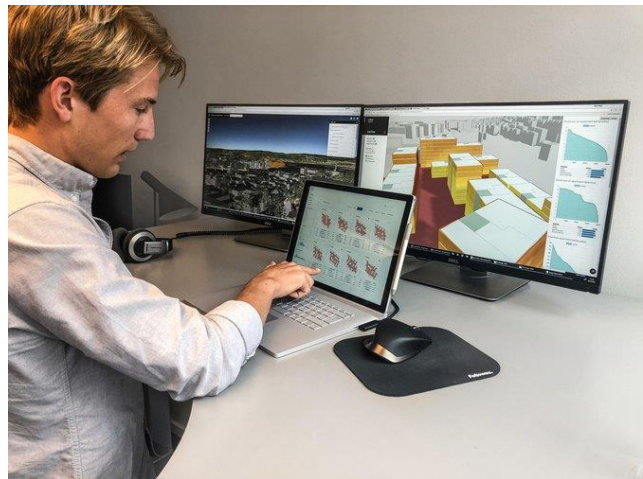
Med Skanskas armeringsrobot henter to robotarmer armeringen fra klippebordet og holder den fast i formen, mens en tredje robotarm binder armeringen sammen. Prosessen styres av data fra 3D-modeller av armeringen som blir oversatt til robotbevegelser.

betong, og den henter planen for hull rett fra en plantegning eller en BIM. Nlinks robot viser et eksempel på oppgaver som kan tære på kroppen dersom de skulle gjøres av mennesker, og som kan relativt lett gjøres presist av en robot. Oppgavene som robotene tar over på byggeplasser blir stadig flere og mer varierte. Nylig ble en eksperimentell robot for binding av armeringsjern vist frem i Danmark (261) og flere roboter kommer til i byggebransjen.

Samtidig vil man se at byggebransjen blir påvirket av autonomi-trenden som kommer inn for alle kjøretøy, som selvkjørende kjøretøy, kunstig intelligens og kontroll av fremdrift. Et tenkt eksempel her vil være autonome lastebiler som kan laste og levere materialer automatisk, til

en robot som monterer materiellet. Om man tar robotene i eksemplet over, kan mer automatiske løsninger gradvis gjøre at roboten opptrer autonomt på byggeplassen, uten menneskelig innblanding. Det betyr ikke at håndverkerne forsvinner, da mennesket er alt for fleksibelt til å erstattes overskuelig fremtid. Selv på de aller mest robotiserte fabrikkene er det oppgaver robotene ikke takler, og som må utføres av mennesker.

Droneteknologien kommer inn i byggebransjen, antageligvis raskere enn annen robotisering. Allerede i dag kan droner brukes til å kartlegge tomter og terreng raskt. Et dansk selskap bruker droner til å overvåke byggeprosessen helautomatisk (262), og vil kunne sende ut varsler om avvik fra byggeplanene. De brukes også til ettersyn av konstruksjoner (263), og selskaper som Cognite har planer for å automatisere ettersyn av for eksempel korrosjon på oljeplattformer ved bruk av droner og maskinlæring.



Spacemakers AI-verktøy. Foto: Spacemaker

Kunstig intelligens og nye materialer

Etterhvert som kunstig intelligens kommer tungt inn i alle aspekter av våre liv, vil det også komme inn i byggebransjen.

Nøyaktig hvordan kunstig intelligens vil benyttes, gjenstår for det meste å se men noen konkrete oppgaver løses med kunstig intelligens i dag. Det norske firmaet

Spacemaker anvender kunstig intelligens i sine automatiske analyser av bygninger. Ved å hente inn data og spesifikasjoner om bygg, utfører de analyser som viser den optimale løsningen for utføringen av bygget. De tar dermed på seg noen av oppgavene til arkitekten, og mange av de ulike bygg-ingeniørene som er med på å konstruere et bygg. For Spacemaker handler det om å finne en optimal løsning, som tilfredsstiller så mange krav som mulig. Et eksempel de selv fremhever er at «akustikeren tenker ikke på kveldssol».

Sammen med prosjekter som Smarte Byer, der en hel by knytter sine systemer sammen, er det duket for en store fremskritt innen kunstig intelligens og bygg. Enkle eksempler vil være strømstyring, der et bygg kan varsle energileverandøren om endring i behovet for leveranse. Kanskje er det adkomstsysteet som registrerer ferietider, og varsler strømlleverandøren at det er mer strøm tilgjengelig for å lade elbusser med turister i området og disse får varsel automatisk om denne muligheten.

Isolering av hus er et vesentlig poeng under bygging, spesielt i et land med klima som Norge. Samtidig stilles det strenge krav til nye byggs energieffektivitet. Mye av isoleringen gjøres fremdeles med tradisjonelle metoder som mineralull, noe som gjerne gir tykke vegger som dermed spiser av boarealet. Over flere tiår har man derfor jobbet med å utvikle isolasjonsmaterialer som kan gi en vesentlig forbedring i effektiviteten. Det jobbes mye med smartere, mer fleksible og tynnere løsninger for isolasjon. Et veldig godt eksempel på det er *aerogel*, som det har vært forsket på og dels kommersialisert over noen år allerede. Aerogel omtales gjerne som ett av verdens letteste materialer, og består i veldig stor grad av luft. Opptil 98 prosent av aerogel er luftporer, mens resten er kvarts (264). Materialet selges som ruller som kan kuttes og tilpasses etter behov, uten at materialet mister isoleringsegenskapene sine. Aerogel har mye lavere lambdaverdi (12-20 mW) enn mineralull, det vil si at det rett og

slett isolerer mye bedre. Utfordringen er at materialet fremdeles er dyrt, og dermed egner seg best til å brukes på begrensede områder, som supplement til mineralull (265). Aerogel brukes gjerne til tetning rundt vinduer, terrassegulv eller kuldebroer i forbindelse med dekkeforkanter.

Slike nye løsninger åpner også for nye arkitektoniske uttrykk, som tillater mer lysinnslipp, sparer energi og samtidig reduserer byggetiden (266). Det foregår mye forskning rundt aerogel for å gjøre det rimeligere, blant annet ved å kombinere det med mineralull.

Energieffektivitet er generelt en betydelig faktor i teknologiutviklingen for bygg, og driver også frem nye ventilasjonsteknikker. Fremtidige bygg kan muligens klare seg uten plasskrevende ventilasjonskanaler og store vifter. Takket være sensorer vil byggene selv kunne styre gjennomtrekk, åpne og lukke vinduer automatisk, samtidig som varmen styres i gulv og vegger. Snøhetta planlegger et slikt bygg i Nydalen, og bygget benytter seg ellers av solceller på taket og varmebrønner i grunnen. Det er heller ikke planlagt med parkeringsplasser. De moderne materialene betyr reduksjon i CO²-utslipp på 50 prosent (267). Et allerede eksisterende kontorbygg i Østerrike, kjent som 2226, benytter seg av lignende prinsipper, der ventilasjonen styres av sensorer som åpner og lukker vinduene. Det finnes ingen tradisjonell ventilasjon i bygget. Sensorene åpner vinduene når nivået av karbondioksid er for høyt. Systemet kan også overstyres av brukerne selv (268). Bruken av grunnvarme og varme- eller kuldegjenvinning blir stadig mer utbredt. Et eksempel er den nye piren på Oslo Lufthavn, som både utvinner kulde fra snø til kjøleanlegget, henter varme fra grunnen og bruker varmepumper som henter ut energi fra avløpsvann (269).

Autonome biler vil påvirke bygningene

Selvkjørende biler har vært omtalt i en årrekke. Stadig mer avanserte teknologier, mer datakraft og bedre sensorer gjør at en virkelighet med autonome kjøretøy rykker nærmere. Dette er dekket nærmere i samferdselskapittelet av denne rapporten. Denne nye transportvirkeligheten vil ikke bare endre måten vi flytter oss rundt på, men trolig også hvordan byene vokser og utvikler seg.

Når de selvkjørende bildene på et tidspunkt i fremtiden virkelig begynner å dominere bybildet, vil én konsekvens være at flere mennesker kan forflytte seg enklere enn før. Det omfatter også de som ikke har førerkort eller ikke ønsker å kjøre bil. Samtidig kan veinettet og byggene rundt designes slik at autonome biler forflytter seg mer effektivt. Selvkjørende biler vil blant annet ikke trenge like brede veibaner som biler med menneskelig sjåfør. Da kan veiene lages smalere og ta mindre plass, og dermed frigjør areal til bygninger, parker eller fortau. Selvkjørende biler koblet med delingstjenester vil trolig også bety at færre i byene trenger å eie bil, som i sin tur reduserer behovet for parkeringsplasser og enorme garasjeanlegg. Denne plassen vil kunne brukes til andre ting, som for eksempel tettere bebyggelse av boliger og fritidsareal (270). På verdensbasis står nemlig biler parkert i gjennomsnitt 94 prosent av tiden. Transportøkonomisk institutt anslår at én autonom delebil kan erstatte ti privatbiler, og dermed kan slike teknologier få vesentlig betydning for arealet i byene på sikt (271).

Det kan bety at om man etter hvert bygger om asfaltert areal som i dag benyttes til lagring av biler i Oslo til utbygging av boliger, vil man potensielt kunne romme omtrent 13 500 nye beboere innenfor Ring 1. Innenfor Ring 2 og 3 vil arealene som i dag brukes til parkering, veier og annen lagring av bil, kunne romme hele 358 000 mennesker (272). Dette henger

sammen med den forventede befolkningsveksten i Oslo de kommende tiårene, der innflyttere gjerne vil bo sentralt. Samtidig vil det være ønskelig å utvikle nye kontor- og kulturbygg, grønne arealer, skoler og lignende. Autonome biler har rett og slett potensialet til å gi mer plass til bygninger og infrastruktur som tjener byens beboere.

På lengre sikt kan hele bruksmønsteret for mange av våre bygg endre seg. Automatisert utkjøring av varer, ikke minst ved hjelp av droner, kan redusere behovet for varehus i sentrumsnære strøk. Andre institusjoner, som kulturbygg, kan være nødt til å endre og tilpasse seg en ny virkelighet der vi også i det store og hele ikke kjører for å gjøre noe vi før måtte kjøre bil for. Norske bibliotek er i mindre grad steder der man henter bøker, det kan gjøres enklere fra sofaen, og har i stedet blitt samlende kultursentre som fokuserer på opplevelser. Kinoer satser på stadig bedre komfort og kvalitet som man ikke kan oppleve hjemme, for å på den måten konkurrere med en slik utvikling. Kontorbygg må i samme måte bli mer miljøvennlige, effektive og inviterende, i en tid der stadig flere ansatte like gjerne velge å jobbe hjemmefra. Smarte kontorer, fulle av teknologi og sensorer, vil også kunne enklere oppdateres og tilpasses fremtidige behov.

Miljø

Få ting preger vår fremtid så mye som miljøutfordringen. Byggebransjen er en massiv belastning på miljøet, verden over. Det er store klimagassutslipp knyttet til produksjon av sement og til selve oppføringen av byggene (273). Konstruksjon av boliger fører til utslipp, og når de er satt opp fortsetter de å forbruke ressurser. For byggebransjen er det av største betydning å kunne møte disse utfordringene, raskt.

Som beskrevet i avsnittet om CO²-fangst, jobbes det med å bringe utslippene fra sementindustrien ned. Dersom CO²-fangst fra denne industrien blir en økonomisk og anvendbar teknologi, vil det bety store reduksjoner allerede før bygget legger sin grunnmur. Samtidig jobbes det stadig med å ta i bruk andre materialer som en erstatning for stål og betong. Ett av dem er tre, som har en god klimateffekt sammenlignet med bruk av betong. Det diskuteres om tre bør være et vesentlig element for det nye regjeringskvartalet i Oslo, og samtidig reises nå verdens høyeste trebygg langs Mjøsa (274). Norge har vært tidlig ute med å satse på moderne trebygg, og det er forventet at det 81 meter høye Mjøstårnet vil ha et CO²-avtrykk som er rundt 90 prosent lavere enn i konstruksjoner av stål og betong. Samtidig reduseres tiden det tar å bygge et slikt bygg, da det i stor grad brukes prefabrikkerte elementer.

Mens bilparken i Norge stadig går mot mer elektrifisering, har det tatt lenger tid i byggebransjen. På byggeplassene kan man allerede finne enkelte anleggsmaskiner som har tatt elektrifiseringen inn over seg (275). Ett slikt prosjekt, for Omsorgsbygg, viste hvordan en relativ omfattende byggeplass kan elektrifiseres med elektriske gaffeltrucker, gravemaskiner og annet utstyr (276). På denne byggeplassen ble strømmen også forsynt via solceller som skal mate det fremtidige bygget med strøm i tiden fremover.

En sentral del av elektrifisering av byggeplasser, er jevn og pålitelig tilgang til strøm. Når et bygg føres opp, kobles hovedstrømstilførselen ofte til når bygget er nærmest ferdigstilt. I mellomtiden, under byggingen, brukes provisoriske løsninger. Det viser seg at den kapasiteten som et bygg krever til vanlig drift, ikke er spesielt mye mer enn det som kreves å føre det opp. Det vil si at å legge om driften noe, så strømtilførsel i riktige mengder ligger på byggeplassen

før bygget oppføres, er en praktisk løsning. Den samme kapasiteten skal benyttes til både konstruksjon og drift.

Alt dette er beskrevet i en veileder, kalt «Veileder for tilrettelegging av fossilfrie og utslippsfrie løsninger på byggeplassen», som ble utgitt sommeren 2018 av blant andre Enova og Energi Norge i samarbeid med byggebransjen. I bakgrunnen for veilederen antydes det at fossilfrie byggeplasser i Norge kan bety en innsparing på 340 000 tonn CO² årlig. Veilederen er fritt tilgjengelig på Enovas nettsider (277).

Et annet viktig poeng i en diskusjon om CO²-utslipp i byggeprosessen, er at dette bildet kan endres betydelig om vi knekker koden med CO²-fangst. Dette er nærmere dekket i energikapittelet av denne rapporten.

For alle miljøutfordringene i byggebransjen, gjelder det å tenke helhetlige løsninger og lange livsløp for byggene som føres opp. Kravene som stilles fra myndighetene er med på å bevisstgjøre hele bransjen på utfordringen som vi alle står overfor. Ved å kombinere den økte digitaliseringen i bransjen, med funksjoner som BIM, blir det samtidig lettere å planlegge for miljøvennlige bygg. Ressursbruken blir mer effektiv i alle ledd, og det er enklere å hente ut stordriftsfordeler. Kanskje leverandørene kan effektivisere leveransen og slippe unna med færre lastebillass til og fra byggeplassen? Etterhvert som kravene til kjøretøy blir strengere, må leverandørene også tenke på hvordan de kan få maksimal effekt. Oslo sentrum er et eksempel, der innstramminger i biltrafikken fører til ny tankegang på byggeplassene og effektivisering av driften.

De viktigste trendene slik de er observert under intervjuene

I løpet av dusinvis av timer, under samtaler med journalistene og eksterne parter, har tre trender markert seg som spesielt aktuelle. Grunnen er at de gjennomsyrrer flere forskjellige fagområder og sektorer, selv om de rent teknisk «hører hjemme» i en spesifikk sektor eller bare er en del av en sektor.

#1: Elektrifisering

Elektrifisering er et overgripende tema i de fleste fagområdene. Det snakkes mest om elektrifisering i bilverdenen, trolig fordi det er der den store, offentlige diskusjonen går. I de andre sektorene er ikke diskusjonen like fremtredende, men en realitet. Spesielt i byggsektoren er elektrifisering av byggeplassen en trend som kommer sterkere og sterkere. Dette hører til forandring i kravene som stilles til hele bransjen, leveranseflyt og mer. Bygg og anlegg er et av de mest CO₂-intensive områdene man har, men store aktører jobber aktivt med alternativer til fossilt drevne anleggsmaskiner, miljøvennlige bygg og materialer. Det fører til at man relativt raskt kan ha en fossilfri utbygging av for eksempel tog, i tillegg til fossilfri drift. Elektrifisering av havgående fartøy er godt i gang med operative ferger, samtidig som planene eksisterer for utvidelse av disse. Når fergene blir fossilfrie og selvdrevne, vil bro- og tunneldebatten måtte endre karakter. Det samme gjelder elektrifisering av flybransjen, som er helt i startgropen. Denne endringen på forbrukssiden gir også en karakterendring av hvordan man ser på generering og distribusjon av elektrisitet.

#2: Kunstig intelligens

De fleste sektorer og bransjer bruker ordet «digitalisering» om sine prosesser med å gå fra papirskjema til elektroniske løsninger. Men dette er en prosess som har foregått i flere tiår allerede. Den gjennomgående trenden i alle sektorer, som nå er eller skal digitaliseres, er hvordan dataene kan behandles der. Her ser vi kunstig intelligens som en overordnet trend som bygger på digitalisering. Det gjelder ikke bare IT-sektoren, men om et IT-basert lag på toppen av alle sektorer. Vi har sett at byggeprosesser suppleres med kunstig intelligens, for å assistere arkitektene i å kunne vurdere en rekke ulike faktorer samtidig i arbeidet med plassering og utforming av bygninger. Kunstig intelligens baner veien for allerede digitaliserte sektorer som oljebransjen ved å bedre analysere data og omsette konklusjonene i handling. For det som kan bli det neste paradigmeskiftet i transportbransjen, autonomi, er kunstig intelligens nødvendig. I dag ser vi konturene av hva maskinlæring og kunstig intelligens kan gjøre, men mulighetene er uante.

#3: Delingsøkonomi

På lik måte som digitalisering, har delingsøkonomien lenge eksistert i enkle former. Med plattformen som internett muliggjør, oppfattes det allikevel som en så kraftig endring at det utgjør en trend. Noen av områdene er allerede i full gang: vi har delingsøkonomi for overnatting i AirBnB, arbeidskraft i form av Uber og gjenstander i Nabobil. Dette er antakeligvis bare starten på delingsøkonomiens mange former. Dersom de økonomiske rammene rundt for eksempel bileierskap i tett befolkede byer fortsetter, vil deling av bil kanskje bli vanligere enn eierskap. En slik endring vil i sin tur virke inn på hvordan vi planlegger bosetning, offentlige tilbud til transport og privat næringsliv og handel, som butikker og kontorer.

Kildehenvisninger

1. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/de-fem-aller-storste-forsyner-seg-enda-mer-av-nettskymarkedet/442694> .
2. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/digiplex-apner-navlestreng-til-amazon-web-services-en-kjempeviktig-lansering/443597?key=wP5LHhyO>.
3. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/microsofts-aller-storste-er-pa-65-000-kvadratmeter-dette-er-planene-nar-it-giganten-na-bygger-i-norge-det-kommer-til-a-ga-eksepsjonelt-fort/440540?key=Opa4qzxi>.
4. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/intel-og-ibm-i-kvante-kapplop-annonserer-nytt-gjennombrudd-pa-ces/415955>.
5. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/kommentar-kvantedatamaskinene-kommer-behov-for-nye-krypteringslosninger-er-en-minimal-utfordring/438276>.
6. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/intel-og-ibm-i-kvante-kapplop-annonserer-nytt-gjennombrudd-pa-ces/415955>.
7. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/svenske-forskere-far-naer-en-milliard-kroner-til-a-utvikle-en-kvantedatamaskin/412134>.
8. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/stiftelsen-han-leder-har-puslet-med-teknologien-i-20-ar-i-fjor-doblet-de-driftsresultatet-og-na-ansetter-de-over-en-lav-sko/437186> .
9. [Internett] <https://www.ffi.no/no/Rapporter/16-01028.pdf>.
10. [Internett] <https://deepmind.com/about/> .
11. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/har-tatt-maskinlaering-langt-forbi-eksperimentstadiet-na-slipper-ekspertene-a-gjore-de-kjedelige-jobbene/412577?key=ykhNdDeC>.
12. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/data-fra-flere-tiar-med-oljevirkksomhet-har-fatt-ligge-uforstyrret-lenge-na-skal-de-slas-sammen-og-bli-til-gull/413914?key=Jpq4KUL3>.
13. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/intervju-bytter-brukergrensesnitt-og-bygger-inn-ai-i-forretningsapplikasjonene/438428>.
14. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/belastningen-av-at-utro-ansatte-granskes-kan-reduseres-kraftig-med-maskinlaering/413548?key=wWqCVxYp>.
15. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/har-brukt-det-samme-systemet-i-40-ar-na-leverer-nav-ny-losning-og-det-under-budsjett/431127?key=VAJgtaRI> .
16. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/oslo-kemnerkontor-gar-til-anskaffelse-av-dataroboter/441598?key=dZTEDUZG>.
17. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/data-fra-flere-tiar-med-oljevirkksomhet-har-fatt-ligge-uforstyrret-lenge-na-skal-de-slas-sammen-og-bli-til-gull/413914?key=Jpq4KUL3>.
18. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/spacex-feirer-gjenbruk-av-rakett-en-revolusjon/379018> .
19. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/hvordan-gar-det-egentlig-med-elon-musk/444164>.
20. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/telia-norge-forst-i-norden-med-ny-telestandard/366354>.
21. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/innsikt-dette-bor-du-vite-om-5g-neste-generasjon-mobilnett/434820?key=vUdSbJn7>.
22. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/nytt-system-forhindret-170-innstilte-tog-mellom-oslo-og-asker-i-fjor/426193>.

23. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/her-tester-de-systemet-som-vil-gi-faerre-togforsinkelser-i-framtiden/416901> .
24. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/vil-effektivisere-boreoperasjoner-med-opptil-50-prosent/222482>.
25. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/teslas-autopilot-granskes-etter-dodsulykke/349188> .
26. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/rapport-vil-pusse-opp-dette-laboratoriet-fra-1939-for-a-sikre-norges-maritime-framtid/404814>.
27. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/nye-planer-skall-fa-fart-pa-senteret-som-skall-sikre-norges-maritime-framtid/434139>.
28. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/3d-visualisering-avslorer-ingeniorfeil/236142>.
29. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/dette-havariet-forte-til-at-rederiet-sendte-hele-mannskapet-pa-kurs-na-spiller-de-seg-i-stand-til-a-avverge-nye-ulykker/396315?key=vHWO8WqA>.
30. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/datasimuleringer-gir-rom-for-mer-krevende-operasjoner-pa-sikt-kan-det-bli-mulig-a-ta-styring-fra-land/432053>.
31. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/stuxnet-mye-eldre-enn-antatt/288195>.
32. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/hackerangrep-mot-energibransjen-kan-svaert-raskt-ga-fra-a-kopiere-til-a-odelegge-data/442228?key=3ZZkPDLs>.
33. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/frykter-hacking-i-forkant-av-usa-valg/444057>.
34. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/ledere-pa-alle-nivaer-ma-ta-ansvaret-for-it-sikkerheten-forfatterne-av-ny-bok-onsker-a-gjore-dem-bedre-forberedt/432869>.
35. [Internett] <https://qz.com/801640/darpa-blockchain-a-blockchain-from-guardtime-is-being-verified-by-galois-under-a-government-contract/>.
36. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/innsikt-blockchain/359161?key=HsDKclRJ> .
37. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/nordmann-grunnla-blokkjedeteknologien-iota-na-moter-de-interesse-fra-bade-inn-og-utland/409287?key=g06KBD08>.
38. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/kronikk-hvorfor-den-norske-forsikringsbransjen-er-nodt-til-a-ta-blockchain-pa-alvor/395314>.
39. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/kommentar-kan-blokkjeder-erstatte-offentlige-registre/443248> .
40. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/nsm-forsker-kvantedatamaskiner-vil-vaere-en-katastrofe-for-dagens-kryptering/433372?key=qs5hs4hB> .
41. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/sintef-forsker-2020-er-ikke-dommedag-for-kryptografi/434162?key=9BVrB3W5> .
42. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/kommentar-kvantedatamaskinene-kommer-behov-for-nye-krypteringslosninger-er-en-minimal-utfordring/438276> .
43. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/norske-plasto-har-investert-tungt-i-automatisering-na-har-de-flere-roboter-enn-ansatte-i-produksjonen/378168>.
44. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/disse-ingeniorjobbene-kan-bli-tatt-over-av-datamaskiner/223418>.
45. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/slik-ser-aker-bp-ingeniorenene-for-seg-fremtidens-plattform-br/441203>.
46. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/spaser-rundt-pa-oljeinstallasjoner-som-i-et-dataspill/225328>.
47. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/skjebnedag-for-falcon-heavy-verdens-storste-rakett-med-tesla-ombord/429836> .
48. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/her-er-et-skarpt-jsm-missil-for-forste-gang-pa-vei-mot-et-bakkemal/440021>.

49. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/fersk-rapport-digitalisering-er-det-viktigste-for-norsk-oljeindustri/368192?key=2fMibuYQ>.
50. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/her-er-industriens-svar-pa-app-store/378841>.
51. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/toner-ned-digital-hype-det-er-ikke-magi/410541?key=QW5lzh3s>.
52. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/storaktorer-gar-sammen-om-digital-plattform-mye-enklere-a-bygge-opp-mest-mulig-optimalt-skip/433072?key=iivXjp2C>.
53. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/skipsfarten-er-inne-i-et-digitalt-skifte-her-er-utfordringene/438545>.
54. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/kongsberg-inngar-tidenes-storste-forsvarsavtale-verdt-15-milliarder-kroner/432588>.
55. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/norsk-missilteknologi-bak-verdens-storste-satsing-pa-fjernstyrte-flytarn/193811>.
56. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/i-den-gamle-kafeen-pa-bodo-lufthavn-pagar-det-en-luftfartsrevolusjon/396861>.
57. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/na-overtar-robotene-alle-operasjoner-pa-boredekket/276456>.
58. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/na-fjernstyrer-de-taubat-i-havnelageret-fra-kontoret-i-kobenhavn/396243>.
59. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/it-leder-om-dataangrep-norge-rammet-i-liten-grad/382973>.
60. [Internett] https://nsm.stat.no/globalassets/rapporter/rapport-om-sikkerhetstilstanden/nsm_risiko_2018_web.pdf.
61. [Internett] <https://www.pwc.no/no/publikasjoner/cybercrime-survey-2017.pdf>.
62. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/norske-bedrifter-utsatt-for-det-storste-dataangrepet-i-historien/230443>.
63. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/helse-sor-ost-skruter-milliardavtale-om-utflagging-av-it/439971>.
64. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/omfattende-dataangrep-mot-norge-og-flere-andre-land-sensitive-data-skal-vaere-pa-avveie/379279>.
65. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/omfattende-dataangrep-mot-norge-og-flere-andre-land-sensitive-data-skal-vaere-pa-avveie/379279>.
66. [Internett] <https://www.ikt-norge.no/wp-content/uploads/2017/12/ikt-norges-kompetanseundersøkelse-2017-1.pdf>.
67. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/mangler-ikt-kompetanse-for-mange-tar-utdanning-det-ikke-er-behov-for/433707>.
68. [Internett] <https://www.nifu.no/news/fremtidig-mangel-pa-sikkerhetskompetanse/>.
69. [Internett] <https://www.digi.no/artikler/datatilsynet-vil-blase-liv-i-debatten-om-digitalt-grenseforsvar/395259>.
70. [Internett] <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/vi-trenger-et-digitalt-grenseforsvar/id2573968/>.
71. [Internett] https://gblogs.cisco.com/no/sikre-kryptert-trafikk-i-en-global-kontekst/?doing_wp_cron=1521642456.7579240798950195312500.
72. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/norsk-hydrogen-kan-bli-konkurransedyktig-pa-verdensmarkedet/440939?key=TGMfJFh3>.
73. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/elektrisitetens-norske-historie-fra-dampkraftverk-til-elbiler/430653>.
74. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/fornybar-energi-dekket-sannsynligvis-hele-tysklands-kraftbehov-for-aller-forste-gang-br/436708?key=ad5zW7n5>.

75. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/sol-og-vind-dekket-halvparten-av-tysklands-kraftbehov/234900> .
76. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/det-ble-bygget-mer-vindkraft-enn-gass-og-kull-til-sammen-i-eu-i-fjor/223215> .
77. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/sa-mye-billigere-er-vindkraft-enn-kull-og-gass-i-norge/223285> .
78. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/klaus-utvidet-huset-med-119-kvadrat-reduuerte-stromutgiftene-med-60-prosent/443229> .
79. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/riksrevisjonen-enok-tiltak-kun-en-femtedel-sa-effektive-som-enova-hevdet/275992> .
80. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/faktisk-no-11-ting-du-ma-vite-om-acer-og-eus-tredje-energimarkedspakke/432893> .
81. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/sa-mye-billigere-er-vindkraft-enn-kull-og-gass-i-norge/223285> .
82. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/prisen-pa-solcellepanel-har-stupt-men-na-blir-det-ikke-stort-billigere-i-norge/432824?key=LNG9IXyF> .
83. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/forskning-her-vil-de-tidoble-produksjonen-av-solcelle-materialet/442940> .
84. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/forskning-her-vil-de-tidoble-produksjonen-av-solcelle-materialet/442940> .
85. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/solceller-er-kraftbransjens-svar-pa-smarttelefonen/377724?key=SdZYE5j2> .
86. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/sa-mye-billigere-er-vindkraft-enn-kull-og-gass-i-norge/223285> .
87. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/vindkraftverk-kan-tvinges-til-a-reducere-produksjonen-for-a-unnga-fugledod/234869> .
88. [Internett] <https://www.sydsvenskan.se/2015-08-09/250-meter-hoga-vindmollor-pa-gang> .
89. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/mange-har-vaert-villige-til-a-ta-pa-seg-farskapet-her-er-historien-om-hywinds-trange-fodsel/410309> .
90. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/havvind-kan-bli-billigere-enn-bade-landvind-og-solkraft-i-lopet-av-ti-ar-br/438754?key=NTyLO0qB> .
91. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/vindmolla-pa-andoya-produserte-minst-strom-i-fjor/431787?key=xVHRwq8N> .
92. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/for-at-bolgekraft-skal-lykkes-ma-man-utvikle-billige-parker-som-ikke-havarerer-i-de-verste-stormene/441118?key=HWQu9bM4> .
93. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/a-hente-strom-fra-varme-overflater-kan-blir-like-vanlig-som-a-hente-strom-fra-sollys/364936> .
94. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/slik-vil-de-lage-strom-av-tett-trafikk/358580> .
95. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/elektrisitetens-norske-historie-fra-dampkraftverk-til-elbiler/430653> .
96. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/snart-150-ar-med-strom-i-norge-her-er-elektrisitetens-historie/429910> .
97. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/hva-skjer-nar-hele-nabolaget-far-elbil/376660> .
98. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/2017-statistikk-over-1-2-millioner-ladbare-biler-ble-solgt/426728> .
99. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/nettet-overbelastes-lamper-blinker-og-sikringer-ryker-elbilen-pek-ut-som-syndebukk/408789> .
100. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/elektrisitetens-norske-historie-fra-dampkraftverk-til-elbiler/430653> .

101. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/hva-skjer-nar-hele-nabolaget-far-elbil/376660> .
102. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/hva-skjer-nar-hele-nabolaget-far-elbil/376660> .
103. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/eu-private-skal-kunne-produsere-bruke-lagre-og-selge-solenergi-uten-a-betale-urimelige-skatter-og-avgifter-br/439959> .
104. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/har-4000-solpanel-pa-lager-na-masseutdanner-de-solcelle-montorer/346656> .
105. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/de-vil-endre-boligmarkedet-smarthusene-i-den-nye-bydelen-produserer-sin-egen-energi/441214> .
106. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/vil-frigjore-by-fra-stromnettet-har-vaert-off-grid-i-150-timer/439201> .
107. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/tesla-bygger-verdens-storste-litiumion-batteri/397078> .
108. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/teslas-megabatteri-har-tjent-millioner-pa-fa-dager/426738> .
109. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/det-eneste-hjemmebatteriet-tilpasset-det-norske-stromnettet/440589?key=cn6E2NTz> .
110. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/ny-oppdagelse-kan-bidra-til-batterier-med-fem-ganger-sa-mye-energi/442460> .
111. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/dette-er-prototypen-til-verdens-forste-batteri-basert-pa-muggsopp/442294> .
112. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/nissan-tror-neste-generasjon-elbilbatteri-er-langt-unna-massemarkedet/433929> .
113. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/i-2022-skal-toyota-slippe-elbiler-som-kan-kjore-mye-lengre-og-lades-opp-pa-noen-fa-minutter/398251> .
114. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/ikonisk-demning-kan-bli-gigantbatteri-for-sol-og-vindkraft/443495> .
115. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/bor-investeringer-i-norsk-pumpekraft-prioriteres-foran-nye-olje-og-gassfelt/441294> .
116. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/elbiler-og-solceller-krever-mer-av-stromforsyningen-det-haper-lyse-a-lose-ved-et-smartere-nett/440720?key=SNPyDS0V> .
117. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/hvordan-flytte-mye-strom-veldig-langt-svaret-er-i-okende-grad-likestrom/377292> .
118. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/skal-overfore-12-gw-over-3000-km-vi-kan-godt-kalle-det-et-kvantesprang/414436?key=lpa8ukPn> .
119. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/norsk-hydrogen-kan-bli-konkurransedyktig-pa-verdensmarkedet/440939?key=TGMfJFh3> .
120. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/statnett-kan-ikke-love-englandskabel-i-2020/223216> .
121. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/konkurransetilsynet-advarer-mot-okte-kraftpriser-vil-at-kun-statnett-skal-fa-bygge-kabler-til-utlandet/276475> .
122. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/elektrisitetens-norske-historie-fra-dampkraftverk-til-elbiler/430653> .
123. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/elektrisitetens-norske-historie-fra-dampkraftverk-til-elbiler/430653> .
124. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/dette-er-den-storste-endringen-i-energibransjens-historie-br/431042?key=0wIY1Sr6> .
125. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/nytt-system-for-strompriser-og-nettleie-slaktes-av-en-samlet-energibransje/432162?key=hgSv28uS> .

126. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/nve-vil-gjore-det-dyrere-a-bruke-mye-strom-pa-en-gang/410203> .
127. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/bmw-tar-i-bruk-brukte-batterier/410778> .
128. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/da-kundene-matte-betale-for-effekt-i-stedet-for-forbruk-gikk-stromforbruket-ned-med-20-prosent/223269> .
129. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/elbileiere-tjener-penger-pa-a-vaere-koblet-til-lader/403818> .
130. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/elbiler-og-solceller-krever-mer-av-stromforsyningen-det-haper-lyse-a-lose-ved-et-smartere-nett/440720?key=SNPyDS0V> .
131. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/losningen-kan-fore-til-at-investeringer-for-10-milliarder-lonner-seg/275617> .
132. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/dette-er-den-storste-endringen-i-energibransjens-historie-br/431042?key=0wIY1Sr6> .
133. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/na-skal-norske-nels-stasjoner-fylle-hydrogen-pa-amerikanske-biler/376890> .
134. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/bygger-verdens-storste-hydrogenanlegg/426230> .
135. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/norske-hydrogen-grundere-gar-i-pluss-aret-etter-at-de-startet/443824?key=a4B9fYRI> .
136. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/disse-utfordringene-ma-loses-for-skipene-gar-pa-hydrogen/430577?key=0APLQ1JJ> .
137. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/foreslar-hydrogentog-pa-nordlandsbanen/234271> .
138. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/det-er-latterlig-a-hogge-ned-regnskog-nar-vi-like-gjerne-kan-kjore-pa-det-vil-har-i-bakgarden/437305?key=TjJ7txEX> .
139. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/grafene-hun-legger-fram-er-doble-utviklingen-kan-skje-fortere-enn-de-tror/440977?=&key=nJqjaw1C> .
140. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/de-blaser-stov-av-drommen-om-norge-som-europas-gronne-batteri-her-er-argumentene-deres/443579?key=Q0DE14xY> .
141. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/norsk-hydrogen-kan-bli-konkurransedyktig-pa-verdensmarkedet/440939?&key=TGMfJFh3> .
142. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/norsk-hydrogen-kan-bli-konkurransedyktig-pa-verdensmarkedet/440939?&key=TGMfJFh3> .
143. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/enorme-fremskritt-pa-mongstad-slik-la-de-den-mislykkede-manelandingen-bak-seg/346801> .
144. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/det-revolusjonerende-prisfallet-innen-havvind-overrasket-alle-na-kan-vi-bli-overrasket-pa-nytt/440977?key=PdzcsF2n> .
145. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/sementindustrien-slipper-ut-4-5-prosent-av-verdens-totale-utslipp-her-er-planen-for-a-gjore-den-klimanoytral/376709> .
146. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/de-mangler-forstaelse-for-den-enorme-interessen-som-finnes-i-den-globale-avfallsbransjen/431949?key=F0H9W7sr> .
147. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/dropper-yara-og-utsetter-co2-rensing-pa-nytt/437452> .
148. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/na-er-pilotanlegget-i-gang-med-a-produsere-hydrogen/376000> .
149. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/for-forste-gang-er-verdien-av-norsk-co2-handtering-anlatt-dette-kan-bli-et-nytt-industrieventyr/435735?key=Tg6kgRxN> .
150. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/kongsberg-sjefen-om-for-na-og-langt-fram-i-tid/230349> .

151. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/da-arthur-kom-turte-ikke-fienden-lengre-a-skyte-med-artilleri/276519>.
152. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/kongsberg-sjefen-om-for-na-og-langt-fram-i-tid/230349> .
153. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/nytt-forsvarssystem-skal-hindre-marerittet-med-vaepnede-hobbydroner/276351>.
154. [Internett] <https://www.defensenews.com/unmanned/2018/07/11/israel-fires-patriot-missile-at-drone-that-approached-from-syria/>.
155. [Internett] <http://www.visualcapitalist.com/global-leaders-r-d-spending/>.
156. [Internett] https://en.wikipedia.org/wiki/OODA_loop.
157. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/norges-viktigste-militaerteknologier/411098> .
158. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/industri-milliardvapen-uten-sidestykke/244052> .
159. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/industri-her-testes-kongsbergs-nsm-missil/244304>.
160. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/her-er-et-skarpt-jsm-missil-for-forste-gang-pa-vei-mot-et-bakkemal/440021> .
161. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/selvgaende-farkoster-skal-kartlegge-havbunnen-har-avslort-miljokriminalitet-og-funnet-tyske-flyvrak-fra-krigen/391882> .
162. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/forsvarets-siste-bestilling-er-en-milepael-i-overgangen-til-mer-autonom-krigforing/378760> .
163. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/skal-vaere-klar-til-bruk-i-2020-na-testes-verdens-forste-autonome-containerskip/408426> .
164. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/slik-fungerer-norges-nye-ubemannede-minejegere/350457> .
165. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/her-er-norge-verdensledende-na-skal-vi-gjore-det-til-en-milliardindustri/347799> .
166. [Internett] <http://2016.ffi.no/kjoretøy>.
167. [Internett] <https://www.ffi.no/no/Rapporter/16-01028.pdf>.
168. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/viser-frem-fremtidens-kampsystem-na-er-det-slutt-pa-a-sveive-seg-inn-pa-malet/411366> .
169. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/norge-skal-samarbeide-med-tyskland-om-nye-ubater/376032> .
170. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/norsk-teknologi-far-eksklusiv-plass-i-alle-de-kommende-tyske-ubatene/377764> .
171. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/norsk-teknologi-far-eksklusiv-plass-i-alle-de-kommende-tyske-ubatene/377764> .
172. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/norges-nye-ubat-kan-bli-forst-med-litiumionbatterier-eller-sist-med-blybatterier/427238> .
173. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/islamsk-stat-bevaepner-kommersielle-droner-og-angriper-for-forste-gang-fra-luften/379028> .
174. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/predator-er-usas-dodeligste-drone-sa-mye-flyr-den/222852> .
175. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/dronene-skal-styres-av-piloter-i-andre-fly/223472> .
176. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/framtidas-amerikanske-soldat-skal-utrustes-med-norske-nano-droner/438697> .
177. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/nano-drone-kan-bli-norske-panservogners-flygende-kikkert/348820> .
178. [Internett] <http://2016.ffi.no/sverm>.

179. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/her-flyr-en-forerlos-f-16/222888> .
180. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/det-startet-som-teknologi-for-a-beskytte-norske-soldater-na-finnes-det-20-000-systemer-i-19-land/432648> .
181. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/her-plaffer-norsk-vapenstasjon-ned-russiske-separatister-i-siste-fast-furious/381847> .
182. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/disse-skal-beskytte-den-amerikanske-haeren-i-afghanistan/235039> .
183. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/her-tar-det-forste-norske-f35-flyet-av-pa-vei-mot-norge/411172> .
184. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/hvor-lett-er-det-a-kjope-ny-teknologi-nar-leveransen-kommer-17-ar-etter/440127> .
185. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/da-det-ble-oppdaget-kritisk-feil-pa-et-norsk-f-16-satte-usa-82-fly-pa-bakken/347331> .
186. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/den-norske-kampflygeneralen-forelopig-har-vi-kun-tatt-ut-ti-prosent-av-potensialet-i-f-35/410389> .
187. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/norsk-luftvern-har-fatt-to-nye-brukerland-pa-fem-dager/411065> .
188. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/en-av-norges-storste-eksportsuksesser-na-er-ny-versjon-klar/276454> .
189. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/polen-pa-ny-handletur-hos-kongsberg/250353> .
190. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/viser-frem-fremtidens-kampsystem-na-er-det-slutt-pa-a-sveive-seg-inn-pa-malet/411366> .
191. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/viser-frem-fremtidens-kampsystem-na-er-det-slutt-pa-a-sveive-seg-inn-pa-malet/411366> .
192. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/se-haerens-kraftig-oppgraderte-panservogner/275735> .
193. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/hvor-lett-er-det-a-kjope-ny-teknologi-nar-leveransen-kommer-17-ar-etter/440127> .
194. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/slik-blir-hjelmene-til-de-norske-f-35-flygerne/231635> .
195. [Internett] <https://www.ffi.no/no/Rapporter/16-01028.pdf> .
196. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/nano-drone-kan-bli-norske-panservogners-flygende-kikkert/348820> .
197. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/kun-ett-kryssermissil-passar-i-buken-pa-f-35-det-lages-pa-kongsberg/412047> .
198. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/dette-er-norges-nye-storselger/235034> .
199. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/den-amerikanske-toppsjefen-tror-han-kan-selge-7000-kongsberg-missiler/436589> .
200. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/milliardkontrakt-for-norske-missiler-til-usas-marine/438849> .
201. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/kongsberg-missil-skutt-fra-land-var-med-pa-a-senke-skip-pa-ovelse-i-stillehavet/442114> .
202. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/her-er-et-skarpt-jsm-missil-for-forste-gang-pa-vei-mot-et-bakkemal/440021> .
203. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/tyskland-betaler-for-a-videreutvikle-nsm-missilet-kan-apne-for-kjop-av-jsm/414248> .
204. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/hederspris-til-automatiseringsnestor/274622> .
205. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/ny-rapport-de-store-autonomi-omveltningene-er-mange-ar-unna/395131> .

206. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/rapport-kjoreledning-er-raskeste-og-billigste-vei-til-elektrisk-tungtransport/439679?key=VaO8T3am> .
207. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/nsb-vil-leie-ut-250-elbiler-i-oslo/433500> .
208. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/ny-rapport-de-store-autonomi-omveltningene-er-mange-ar-unna/395131>.
209. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/her-kommuniserer-trailerne-sammen-for-a-fa-frem-norsk-laks-i-tide/391148>.
210. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/ny-lov-skal-gi-bedre-trafikkinformasjon/225394>.
211. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/her-styrer-forste-lastebil-gass-og-brems-for-nummer-to-og-tre/436866>.
212. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/trafikken-skal-automatiseres-na-kommer-lovreguleringen/194317>.
213. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/tror-pa-hydrogen-selv-om-de-har-revolusjonerende-batteriteknologi/410631>.
214. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/rapport-fossilbil-salget-halvert-globalt-innen-2030/411395?key=jhTfyiwM>.
215. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/toyota-flytter-hydrogenteknologi-fra-personbil-til-lastebil/381985> .
216. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/bilprodusentene-har-bare-seg-selv-a-takke-for-dieselbraket/434601?key=xZH1Zo8O> .
217. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/velger-du-feil-ladelosning-i-dag-kommer-du-til-a-bytte-den-om-tre-ar/435848> .
218. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/i-oslo-jobber-det-400-vognforere-pa-t-banen-de-far-snart-en-annen-arbeidshverdag/364044> .
219. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/danmark-forst-ute-skal-ta-i-bruk-forerlose-sentrums-tog/414481> .
220. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/fremtidens-kollektivtransport-snart-er-rutetabeller-helt-avleggs/414929> .
221. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/volvos-nye-batteribuss-skal-bli-selvkjorende/416890> .
222. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/gigantbyen-har-byttet-ut-alle-dieselbussene-med-elbusser/415297>.
223. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/elektriske-busser-gir-malbar-reduksjon-i-oljeettersporselen/43564>.
224. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/selvkjorende-godstog-skal-kjore-i-100-km-t/432221> .
225. [Internett] <https://www.abc.es/economia/20140718/abci-madrid-barcelona-201407181630.html>.
226. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/industri-200-km-t-blir-maksfart-i-30-ar-til/234227> .
227. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/dette-er-de-ti-storste-jernbaneprosjektene-i-norge/222395>.
228. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/jubel-og-kritikk-for-ny-togsatsing/234775> .
229. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/foreslar-hydrogentog-pa-nordlandsbanen/234271> .
230. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/danmark-forst-ute-skal-ta-i-bruk-forerlose-sentrums-tog/414481> .
231. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/har-inviteret-hyperloop-til-norge-de-anser-norden-som-et-veldig-interessant-marked/415909>.

232. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/slik-virker-selvkjorende-biler/358826> .
233. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/norske-hydrogen-grundere-satser-150-millioner-bygger-ny-fabrikk-pa-notodden/444347>.
234. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/denne-asfalten-lader-elbilen-mens-du-kjorer/222531>.
235. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/de-autonome-fraktevogene-bernt-og-egil-jobber-dognet-rundt-side-om-side-med-forerkontrollerte-trucker/444366?key=ZeBRw9MQ>.
236. [Internett] https://www.dma.dk/Documents/Publikationer/Autonome%20skibe_DTU_rapport_UK.pdf.
237. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/ntnu-autonomi-er-en-stor-satsing-for-oss-vi-har-100-som-tar-doktorgraden/440081?key=K6UOUo8q> .
238. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/nye-planer-skall-fa-fart-pa-senteret-som-skall-sikre-norges-maritime-framtid/434139> .
239. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/det-forste-selvkjorende-skipet-far-det-forste-autonome-lofteutstyret/438181?key=kLfFcYzm> .
240. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/danskene-kommer-oss-i-forkjopet-slik-blir-deres-elektriske-havnebater/441556?key=uscrTUjZ> .
241. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/i-dag-skall-avinor-sjefen-og-samferdselsministeren-fly-elektrisk/440188>.
242. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/norge-skall-bli-forst-og-storst-pa-elektrisk-luftfart/437758>.
243. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/robot-pa-sykehuset/220357>.
244. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/norske-aktorer-i-ko-autonome-leveringsroboter-pa-hjul-kan-endre-bransjen/358656>.
245. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/denne-mercedes-varebilen-har-automatisk-lasterom-og-droner-pa-taket/351328>.
246. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/droner-skall-erstatte-kranloft-mellom-fartoy-og-oljeplattform/430954>.
247. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/her-lander-raketten-igjen-etter-en-svipptur-til-verdensrommet/276097>.
248. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/dansk-ekspert-falcon-heavy-kan-avgjore-framtiden-til-spacex/41108>.
249. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/kystverket-med-radarkontrakt-pa-250-mill-5-radarer-til-fedje-allerede-bestilt/437666?key=jctnhWZL>.
250. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/industri-overvaker-alt-pa-en-skjerm/233139> .
251. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/norsk-trafikkstyring-av-70-000-skip/235265> .
252. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/kobler-kartdata-og-bygningsdata-sammen-i-ny-internasjonall-standard/435737> .
253. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/alle-fag-pa-samme-datamodell/326316>.
254. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/hver-krik-og-krok-av-operaen-bimmes-med-robot-skanner-pa-hjul-br/441612>.
255. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/veidekke-og-statsbygg-sparer-penger-med-norsk-vr-teknologi/430743?key=KzLw4NAH> .
256. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/3d-print-forste-nokkelklare-kommunallbolig/437547>.
257. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/her-bygger-det-nederlandske-arkitektfirmaet-hus-med-3d-printer/231805>.
258. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/nytt-industrieventyr-i-boks/243602>.

259. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/her-er-robotene-som-legger-fliser-og-borer-hull/234933>.
260. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/robotiserer-byggeplassen-og-tolker-3d-modeller/359204>.
261. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/denne-roboten-tar-over-den-slitsomme-jernbindingsoppgaven-pa-byggeplassen/441082>.
262. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/vil-overvake-byggeplassen-med-droner/349527>.
263. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/dette-proveprosjektet-kan-bety-enormt-mye-for-dyr-inspeksjon-av-kraftlinjer/433135>.
264. [Internett] . <https://www.tu.no/artikler/hvis-vi-kunne-brette-ut-poreveggene-i-fem-gram-aerogel-ville-det-dekke-lerkendal-stadion/233287>.
265. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/hvordan-gjore-energisluk-til-plusshus/231179>.
266. [Internett] <https://www.huseierne.no/hus-bolig/tema/oppussing/supertynn-isolasjon-slipper--lyset-inn/>.
267. [Internett] <https://snohetta.com/projects/269-gullhaug-torg>.
268. [Internett] <https://www.detail-online.com/article/house-without-heating-office-building-in-austria-16667/> .
269. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/hvordan-gjore-energisluk-til-plusshus/231179>.
270. [Internett] http://offcite.org/wp-content/uploads/sites/3/2015/10/Baumgardner_Autonomous_Cars.pdf .
271. [Internett] <https://www.aftenposten.no/meninger/debatt/i/J5GnP/Selvkjorende-biler-kan-gjore-det-mulig-a-ta-hele-befolkningsveksten-innenfor-ring-3>.
272. [Internett] <https://www.aftenposten.no/meninger/debatt/i/J5GnP/Selvkjorende-biler-kan-gjore-det-mulig-a-ta-hele-befolkningsveksten-innenfor-ring-3>.
273. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/norske-byggeplasser-slipper-arlig-ut-420-000-tonn-co2/383349>.
274. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/er-mjostarnet-verdens-hoyeste-trebygg-de-laerde-strides-ny-standard-vil-avgjore/408206?key=QR9bktLJ> .
275. [Internett] <https://www.tu.no/artikler/na-kommer-elektrifiseringen-til-gravemaskiner/426201?key=f15zysK2>.
276. [Internett] (<https://www.tu.no/artikler/pa-denne-byggeplassen-drives-anleggsmaskinene-av-solceller/348919>).
277. [Internett] <https://www.enova.no/bedrift/bygg-og-eiendom/tema/veileder-utslippsfrie-byggeplasser/>