

DIGITALE TVILLINGER I ENERGISEKTOREN

En afdækning af potentialer og udfordringer

Indhold

1 Indledning

2 Hvad er en digital tvilling?

3 Digitale tvillinger til vindmølleindustrien

4 Digitale tvillinger til forsyningssektoren

5 anbefalinger

6 Kontakt videnpersoner

1 Indledning

Om afdækningen

Formålet med denne afdækning er at skabe indsigt i:

- Hvordan og til hvilke formål digitale tvillinger bruges i energisektoren
- Hvilke potentialer for værdiskabelse der er / forventes at være ved at bruge digitale tvillinger i energisektoren
- Hvilke udfordringer der opleves at være i udvikling og implementering af digitale tvillinger i energisektoren

For at undersøge dette har vi foretaget 18 interviews med centrale aktører i energisektoren, der alle arbejder med digitale tvillinger – enten i forsknings- og innovationsprojekter eller til kommercielle løsninger. Der er interviewet 5 store internationale selskaber, 2 store danske virksomheder og 5 danske SMV'er. Derudover er interviewet 6 forskere fra universiteter eller GTS-institutter.

På baggrund af indsigter fra interviews gives en række anbefalinger til, hvad der kan gøres for at understøtte udviklingen af digitale tvillinger i energisektoren.

Målet har ikke været at lave en komplet afdækning. Studiet skal nærmere ses som et første spadestik, der kan understøtte udviklingen af digitale tvillinger til energisektoren. Sproget er forsøgt holdt ikke-akademisk og ikke-teknisk, da afdækningen henvender sig mere bredt til innovations- og sektoraktører, der skal være med til at fremme udvikling og implementering af digitale tvillinger til energisektoren.

Afdækningen er foretaget i efteråret 2021 af Alexandra Instituttet for Energy Cluster Denmark.

INTERVIEWS

Der er i alt foretaget 18 semistrukturerede interviews med centrale aktører. Interviews fordeler sig således:

- 4 Interviews med forskere fra universiteter
- 2 interviews med GTS-institutter
- 12 interviews med virksomheder

Virksomhederne befinder sig forskellige steder i værdikæden:

- 3 vindmølleproducenter og/eller operatører
- 2 forsyningsselskaber inden for henholdsvis fjernvarme og elektricitet
- 4 rådgivende ingeniørvirksomheder, der udvikler digitale tvillinger for energivirksomheder
- 3 hardwareudviklere og/eller leverandører af teknologier til digitale tvillinger

Ingen virksomheder eller interviewpersoner nævnes ved navn. Citater er angivet med forsker, GTS-institut eller virksomhedstype. Alle interviews er gennemført i perioden august til december 2021. Til sidst i rapporten findes en oversigt over kontaktoplysninger på videnpersoner, der har medvirket i undersøgelsen

Digitale tvillinger i energisektoren

Ud fra informanternes beskrivelser tegner der sig to overordnede områder, hvor der benyttes digitale tvillinger:

DIGITALE TVILLINGER I VINDMØLLEINDUSTRIEN

- **UDBREDELSE NU OG I FREMTIDEN**

Digitale tvillinger benyttes allerede af mange af de store vindmølleproducenter og operatører, og branchen spår, at udbredelsen af digitale tvillinger vil stige i årene fremover. Vindmølleindustrien er relativt langt i udvikling og implementering af digitale tvillinger.

- **HVILKE DATA BESTÅR DE DIGITALE TVILLINGER AF?**

Digitale tvillinger består primært af data om vindmøllens fysiske tilstand samt data fra omgivelserne om vindmøllen, såsom jordbundsforhold, vind, bølger, temperaturer, afstand til andre møller m.m.

- **HVORDAN SKABER DIGITALE TVILLINGER VÆRDI?**

Digitale tvillinger optimerer drift og vedligehold og bruges til kombineret designmodellering og monitorering. Det kan forlænge vindmøllens levetid og forbedre design og produktivitet af møllerne.

DIGITALE TVILLINGER I FORSYNINGSSEKTOREN

- **UDBREDELSE NU OG I FREMTIDEN**

Brugen af digitale tvillinger spås at være essentiel for at opnå sektorkobling og en komplet elektrificering og dekarbonisering af energisektoren. Der arbejdes på at skabe digitale tvillinger til fjernvarmenettet og elnettet, der laves digitale tvillinger til varmepumper og til energistyringssystemer. Da det er meget varieret og kompleks data, der skal til, er digitale tvillinger til dette formål dog i et tidligt stadie.

- **HVILKE DATA UDGØR DE DIGITALE TVILLINGER?**

Digitale tvillinger udgøres af data fra en bred vifte af datakilder: SCADA-systemer, smart meters, sensorer på transformestationer, elskabe, kabler, fjernvarmerør, men også data om befolkningsadfærd, bygninger og vejprognoser er relevante for at skabe digitale tvillinger.

- **HVORDAN SKABER DIGITALE TVILLINGER VÆRDI?**

Digitale tvillinger gør drift og vedligehold bedre, billigere og hurtigere. Digitale tvillinger forudsiger behov for vedligehold, reparation og forstærkning af infrastrukturen. Ligeledes spås digitale tvillinger at være et vigtigt værktøj for sektorkobling

2 Hvad er en digital tvilling?

Hvad er en digital tvilling?

Der findes pt. ikke en entydig definition af begrebet digital tvilling, hvilket påpeges af samtlige informanter. På baggrund af informanternes forskellige beskrivelser af deres definitioner og praktiske anvendelse, beskrives i dette afsnit de forskellige elementer, som oftest indgår i en digital tvilling. Man kan godt benytte og få gavn af nogle af disse elementer, uden at det behøver at være en ægte digital tvilling.

Kort opsummeret kan man sige, at en ægte digital tvilling består af disse fire elementer, som forklares yderligere på de kommende sider:

- a. et eksisterende fysisk objekt/system**
- b. en digital model af det fysiske objekt/system**
- c. realtidsdata fra sensorer på og omkring det fysiske objekt/system**
- d. kontrolmulighed fra digitalt til fysisk objekt/system**



Hvad er en digital tvilling?

‘Digital tvilling’ er et meget hypet ord, og der er endnu ikke nogen entydig definition af, hvad en digital tvilling er. Langt de fleste interviewpersoner nævnte, at der findes mange definitioner af, hvad en digital tvilling er og skal kunne, og at begrebet ofte bruges og misbruges på mange forskellige måder. Der er dog bred enighed om, at digital tvilling er en videreudvikling af kendte modellerings-, monitorerings- og visualiseringsteknologier. Det er en gradvis udvikling, og præcist hvornår, man kan kalde det en digital tvilling, er et definitionsspørgsmål.

Der er blandt informanterne udbredt enighed om, at en ægte digital tvilling involverer en digital repræsentation af et eksisterende fysisk objekt, system eller proces, og at man skal kunne regne på denne repræsentation. Man skal kunne stille den hvad-nu-hvis-spørgsmål. Man vil gerne kunne forudsige, hvordan det fysiske system (den fysiske tvilling) reagerer på forskellige påvirkninger i de fysiske omgivelser ved at regne på den digitale repræsentation (den digitale tvilling). For eksempel: "Hvis det blæser 14 sekundmeter, hvor meget bøjer vindmøllevingen så"?

Derfor taler man om en digital model. En 'statisk' 3D-tegning eller egentlig konstruktionstegning kan selvfølgelig også siges at udgøre en digital repræsentation af et fysisk system. Men når vi her taler om en digital model, er der tale om en dynamisk model, hvor der er inkluderet matematiske beregninger. Disse er typisk baseret på fysikkens love og systemets materialer og/eller på opbygget viden skabt gennem maskinlæring. De matematiske beregninger gør det muligt at lave konsekvensberegninger i modellen og således interagere med den og at holde den konstant opdateret, så den afspejler virkeligheden.



*Hmmm, det kommer jo lidt an på, hvordan du definerer en digital tvilling. Det er et meget hypet begreb, og der er meget uenighed om, hvad der skal til, for at det er en digital tvilling.
(Vindmølleproducent)*

*Det er jo en definitionssag. Jeg ser det brugt og misbrugt i alverdens sammenhænge – både for at sælge produkter og for at få ansøgninger.
(Hardwareudvikler)*

*Det er et meget misbrugt ord. Der er den stringente, akademiske betegnelse, hvor man laver en fuld digital tvilling af alle de forskellige dele af et produkt – men det giver slet ikke så meget værdi i vindmølleindustrien.
(Vindmølleproducent)*

Hvad er en digital tvilling?

Et afgørende trin frem mod en egentlig digital tvilling er derfor tilvejebringelsen af denne model. Hvor kommer matematikken i den digitale tvilling fra? Skal man selv opbygge den, eller kan man få den fra f.eks. producenten af den maskine, man ønsker at bygge en digital tvilling til?

At have en model og lave konsekvensberegninger med den er kendt fra almindelig simulering. I modsætning hertil har man med en digital tvilling adgang til sensordata fra det fysiske system og kan herigennem løbende opdatere modellen, sådan at det fysiske systems livscyklus afspejles i den digitale tvilling. Med sensordata i realtid vil man kunne opdage, når modellens forudsigelser er en smule forkerte, fordi tilstanden i den digitale og den fysiske tvilling afviger fra hinanden. Med de rette algoritmer vil man så kunne tilpasse modellen, så den over tid bliver mere præcis.

Vi vil således her – i tråd med de fleste informanter – definere, at der ikke er tale om en ægte digital tvilling, hvis der kun afvikles en digital simulation af et system uden kobling til en fysisk pendant.

Mange informanter nævner desuden, at det er afgørende, at en digital tvilling rummer en mulighed for at kunne påvirke og ændre på den fysiske tvilling, eksempelvis ved at skrue på indstillinger i det fysiske system som følge af forudsigelser i den digitale model. Dette kan enten være noget, der sker automatisk, eller det kan ske ved, at den digitale tvilling fungerer som et beslutningsstøtteværktøj, der giver anvisninger til de driftsansvarlige, som derefter manuelt ændrer på nogle ting i styringen af det fysiske system.



Der er rigtig mange buzzwords i digital tvilling, og man skal passe på, at man ikke tror, at en digital tvilling kan alt i hele verden og derfor kommer til at slå alt for stort brød op. (GTS-institut)

For at vi kan tale om digital tvilling, skal der være 3 ting: en fysisk genstand, en digital tvilling og en forbindelse mellem de to med f.eks. sensorer på den fysiske genstand, der føder data ind i den digitale tvilling og en reaktion tilbage. (Forsker)

Der er rigtig meget af det, der føder ind i en digital tvilling, der er gammelkendte teknikker. Eksempelvis model predictive control, som vi har brugt i mange årtier for at styre anlægget. Vi skal ikke gøre det samme, men vi skal udvikle det og gøre det mere kompliceret og optimeret gennem digital tvilling. (GTS-institut)

Hvad er en digital tvilling?

På baggrund af denne beskrivelse vil vi her definere, at følgende fire elementer skal være til stede, hvis man skal tale om en ægte digital tvilling:

- a. et eksisterende fysisk objekt/system
- b. en digital model af det fysiske objekt/system
- c. realtidsdata fra sensorer på og omkring det fysiske objekt/system
- d. kontrolmulighed fra digitalt til fysisk objekt/system

Vi har dog oplevet masser af scenarier, hvor der tales om digital tvilling, selvom kun nogle af elementerne er til stede, og hvor disse delelementer giver en masse værdi. Derfor giver det ikke mening at have som mål, at alle skal nå hele vejen til at arbejde med en ægte digital tvilling.

I illustrationen på næste side ses tre sådanne typiske scenarier identificeret gennem studiet, hvoraf kun det ene (yderst til højre) i denne sammenhæng vil blive betragtet som en ægte digital tvilling.

Disse skal ikke ses som et udtryk for forskellige udviklingstrin men kun som udtryk for forskellige behov og brugsscenarier. Den ægte digitale tvilling er naturligvis mere avanceret og kompleks end de to første scenarier, men det er som sagt langt fra i alle sammenhænge, at det vil give mening at arbejde hen imod en ægte digital tvilling. Hvordan man ønsker at arbejde med (forskellige elementer af) digital tvilling skal afgøres ud fra, hvilken viden og værdi man ønsker at skabe.



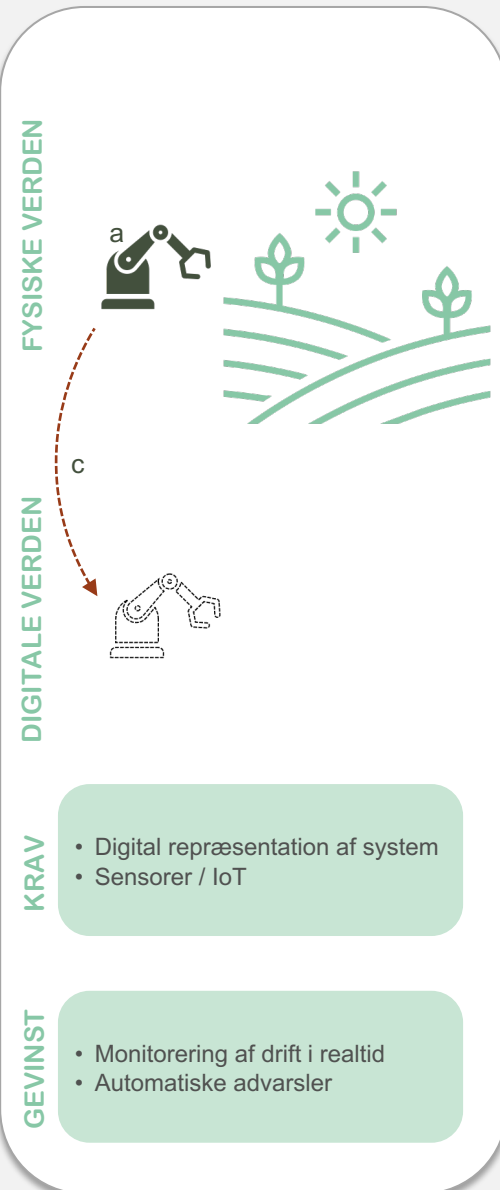
Det er måske lidt en tilsnigelse at kalde det en digital tvilling, men vi har fået lavet en algoritme, der gør, at vi bedre kan stole på vores numeriske modeller. (GTS-institut)

Det er lagene, vi lægger ovenpå, der gør det smart. (Hardwareleverandør og udvikler af digitale tvillinger)

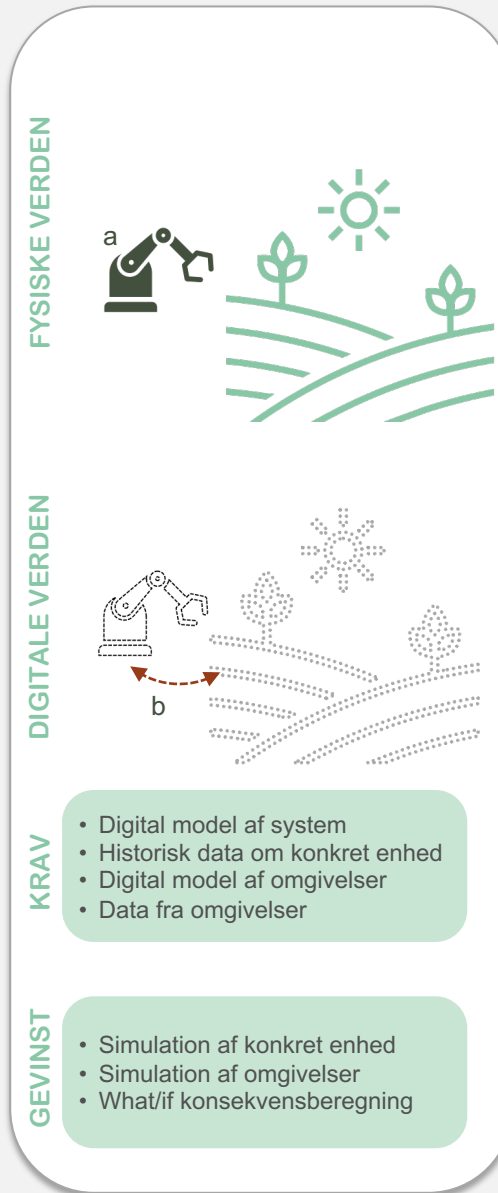
For vores vedkommende er en digital tvilling et system, der 100% afspejler vores net. Digital tvilling skal være grundlaget for vores system. Men det tager tid at udvikle den digitale tvilling, og det kommer til at foregå i flere etaper. Først skal vi have styr på vores data, og senere kan vi udvikle egentlige beregninger og styringsmekanismer. (Forsyningsselskab)

Nu skal jeg passe på, at jeg ikke blæser det for meget op. Vi er ikke på det højeste modenhedstrin, men vi er ret højt oppe. Men vi har noget nyt, der er meget modent. (Vindmølleoperatør)

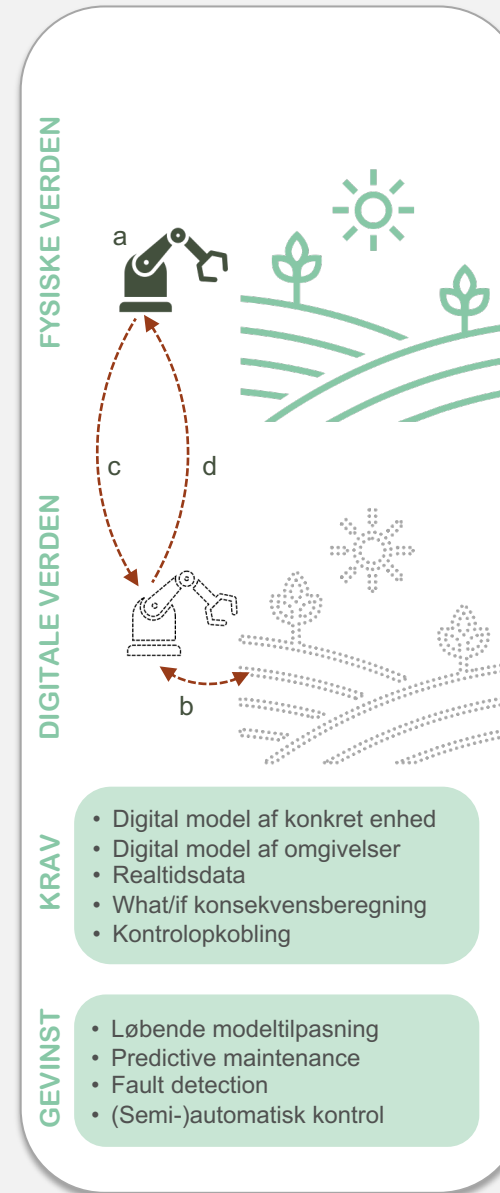
REALTIDSDATA FRA KØRENDE ENHED



SIMULATION



ÆGTE DIGITAL TVILLING



3 Digitale tvillinger til vindmølleindustrien



Hvilke udfordringer skal digitale tvillinger løse i vindmølleindustrien?

Et af de vigtigste værktøjer til den grønne omstilling hedder elektrificering og omstilling til vedvarende energi. Når al transport og industri skal omstilles til grøn strøm, vil det angiveligt fordoble eller tredoble behovet for elektricitet.

Allerede i dag leverer vindmøller over halvdelen af det samlede årlige elforbrug, og i fremtiden skal produktionen af vindenergi stige meget, for at der kan leveres nok grøn strøm. Dette betyder flere og større vindmøller – primært havvindmøller.

En stor udfordring ved havvindmøller er, at de er besværlige og dyre at komme til, når man skal servicere, vedligeholde og reparere dem, hvilket kan betyde, at de ikke altid performer optimalt og har for meget nedetid. Der er derfor behov for billigere og mere optimale måder at designe, drifte og vedligeholde vindmøllerne på. Og her kommer digitale tvillinger ind i billedet.

Lignende udfordringer findes inden for andre store konstruktioner som f.eks. olie- og gasplatforme. Denne afdækning fokuserer dog kun på digitale tvillinger til vindmølleindustrien.

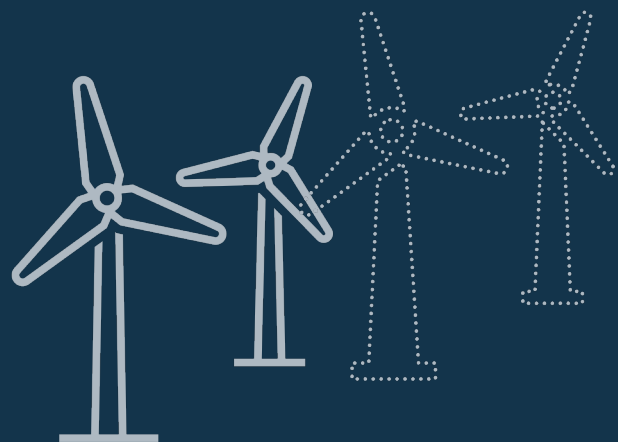
Hvordan bruges digitale tvillinger i vindmølleindustrien?

Realtids-
billeder af drift

Vindmølle-
komponenter

Digital tråd fra
vugge til grav

Optimering af
design



HVORDAN BRUGES DIGITALE TVILLINGER I VINDMØLLEINDUSTRIEN?

REALTIDSBILLEDE AF MØLLEN I DRIFT: Det primære formål med at benytte digitale tvillinger i vindmølleindustrien er at monitorere vindmøllerne og deres omgivelser for at skabe et mere præcist realtidsbillede af, hvordan vindmøllen rent faktisk klarer sig i praksis i sine fysiske omgivelser. I designfasen beregnes det, hvordan møllen vil klare sig i drift, og hvordan den vil reagere på den beregnede last fra vind og anden vejrpåvirkning. Med en digital tvilling kan man monitorere og benchmarke disse beregninger. Ved at indbygge sensorer i vindmøllen kan man få data om vindmøllens tilstand.

Dette kaldes Structural Health Monitoring. Sensorer på og omkring vindmøllen måler desuden, hvordan den påvirkes af vind, bølger og andre vejrforhold. Alle disse realtidsdata tilføjes konstant til den digitale tvilling, som kontinuerligt kalibreres, så den kommer til at ligne den fysiske mølle mere og mere. Ved at bruge selvlærende modeller og kunstig intelligens udregnes og forudses møllens nuværende og fremtidige tilstand, så man kan forudsige, hvornår der bliver behov for reparation og vedligehold.

DIGITALE TVILLINGER AF VINDMØLLENS KOMPONENTER: Selvom der tales om digitale tvillinger af hele vindmøllen – og på sigt af hele vindmølleparker – lader der til at være enighed om, at de digitale tvillinger opbygges på komponentniveau. Der laves digitale tvillinger af fundamentet, jackets, turbiner, vinger m.m. Det er visionen, at hver enkelt del, også hver unikke vinge, har sin egen digitale tvilling tilknyttet, som giver et nuanceret indblik i eksempelvis last og fejl/skader på den enkelte komponent. Desuden skal de forskellige komponenter/digitale tvillinger kombineres i en digital tvilling af hele vindmøllen. Når man laver digitale tvillinger, er det relevant at fokusere på de komponenter, der oftest er defekter på, og som har den korteste levetid, da der her den største gevinst kan hentes.



Vi har en digital repræsentation af det, vi bygger. Til denne tilføjes realtidsdata og historisk data fra den fysiske vindmølle og dens omgivelser. Denne data bruges til at opdatere den digitale repræsentation, så den lige så stille kommer til at ligne den fysiske mere og mere, og derved bliver det en digital tvilling. (Vindmølleproducent)

Der kommer data ind i starten gennem designprocessen. Vi læser dette ind i vores digitale platform, og så kommer der data ind hele vejen til produktion og til den er færdigdesignet. Så måler vi driften for at se, om den performer, som vi havde tænkt. (Vindmølleproducent)

Digital tvilling er mest i forhold til designets livstid og pålidelighed. Vi ser på fejl og afvigelser for at undersøge, om møllen lever det op til det, vi havde forventet. (Vindmølleproducent)

Hver enkelt vinge får sin helt egen unikke digitale tvilling. (Forsker)

Det handler om at vurdere, hvor på møllen man kan få mest værdi ud af at lave en digital tvilling. (Vindmølleproducent)

HVORDAN BRUGES DIGITALE TVILLINGER I VINDMØLLEINDUSTRIEN?

DIGITAL TRÅD FRA VUGGE TIL GRAV: Et vigtigt formål med digitale tvillinger er at skabe en digital tråd fra vugge til grav, hvor den digitale tvilling udvikles i design- og produktionsstadiet, hvorefter den konstant kalibreres og opdateres gennem komponentens/vindmøllens levetid og helt til bortskaffelse. Der arbejdes således i et forskningsprojekt med at lave digitale tvillinger af hver enkelt møllevinge, så man får data fra støbningsprocessen ind i den digitale tvilling og derved bedre kan opdage fejl eller uregelmæssigheder i støbningen. Gennem vingens levetid opdateres den digitale tvilling, så den konstant afspejler den fysiske vinge inkl. tilkomne skader eller forbedringer. Således opbevares al information om vindmøllens tilstand i den samme model og kan bruges til bedre at regne på vindmøllens tilstand og performance.

FORBEDRING AF FREMTIDIGE VINDMØLLER: Data og viden fra eksisterende digitale tvillinger af vindmøller bruges desuden til designmodellering for at optimere designet af fremtidige vindmøller. Ved at have realtidsviden om drift og last, kan man designe møllerne, så de bliver mere effektive, og man kan bedre dimensionere dem korrekt til den enkelte brugssituation. Eksempelvis kan viden om anomalier i støbningen af vindmøller bruges til at kvalitetssikre og optimere støbeprocessen. Digitale tvillinger bruges desuden i prototypeudvikling, hvor man kan lave en digital model af vindmøllen og gennemføre digitale test af brugssituationer.

Vi udvikler en komplet digital model af hver enkelt vinge. Omkring den skaber vi en digital tråd fra start til slut, så den afspejler data om forhold og eventuelle fejl eller anomalier i støbningen. [...] Gennem vingens livstid udvikles den digitale tvilling via data fra indbyggede sensorer, der måler på vingens fysiske tilstand. (Forsker)

I gamle dage sad vi og lavede et design i et eller andet software. Derefter blev der lavet en masse rapporter, som blev vedhæftet modellen. I dag er det meget nemmere, fordi vi kan have det hele i den digitale tvilling, som kan opdateres, når der kommer nye oplysninger. (Rådgivende ingeniør og udvikler af digital tvilling)

En anden kæmpe fordel er, at vi sikrer os, at det vi bygger også er det, vi regner på. Hvis du ikke har en digital tvilling af det, så kan du risikere, at du bygger et og regner på noget andet. (Vindmølleproducent)

Sådan skaber digitale tvillinger værdi i vindmøllesektoren

Optimeret
drift og
vedligehold

Billigere
strøm

Test/bench-
marking af
lastgrad

Bedre
produktions
processer

Innovation



SÅDAN SKABER DIGITALE TVILLINGER VÆRDI I VINDMØLLEINDUSTRIEN

BILLIGERE OG BEDRE DRIFT OG VEDLIGEHOLD: Ved at modtage realtidsdata fra vindmøllerne – både data fra Structural Health Monitoring og sensordata om de fysiske omgivers påvirkning på vindmøllen samt vejrprognoser – kan den digitale tvilling hurtigt detektere og diagnosticere fejl på vindmøllen samt udregne og forudse, hvornår der er behov for reparationer og vedligehold. Dette kaldes Predictive Maintenance (præventivt vedligehold) og er en af de vigtigste værdier nævnt af flest informanter. Predictive Maintenance bliver desuden kombineret med den ældre metode kaldet Risk-Based Inspections (RBI), hvilket giver et bedre grundlag for at udregne sandsynligheden for fejl og nedbrud.

Dette skaber en stor værdi, fordi det kan minimere nedetid, man kan spare på servicetilsyn, og man kan vedligeholde efter reelt behov og ikke blot efter en beregnet plan. Det gør det desuden lettere og billigere at planlægge reparationer i god tid, ligesom drift og reparation kan styres og planlægges mest optimalt.

BILLIGERE STRØM: Den digitale tvilling kan bruges som beslutningsgrundlag for, hvilke vindmøller der skal leveres strøm fra, for at strømmen er billigst. Dette kan spare mange penge i driften (OPEX: operating expenses) og nedsætte den totale pris pr. kWh. Predictive Maintenance sammen med optimeret drift menes desuden at kunne forlænge vindmøllens levetid, hvilket også kan være med til at nedbringe prisen på el.



Hvis vi monitorer, kan vi optimere vores egendrift og service. (Vindmølleoperatør)

Vi har været med til at tage Predictive Maintenance et skridt videre ved at kombinere det med Risk Based Inspection-modeller. Dette giver et langt bedre indblik i risiko for svigt på de forskellige dele af møllen. (Rådgivende ingeniør og udvikler af digitale tvillinger)

Der er minimum en besparelse på 30% i OPEX ved at lave digitale tvillinger. (Rådgivende ingeniør og udvikler af digitale tvillinger)

Man glemmer ofte, at det er penge i lommen at få møllerne til at have en længere levetid. Det er derfor vigtigt at lave intelligent service og vedligehold. (Vindmølleoperatør)

Når man er vindmølleeejer, kan det godt være, man kommer til at sælge meget dyr strøm, fordi der er en vindmølle, der ikke fungerer optimalt. Med en digital tvilling kan man tage bedre beslutninger om driften. (Forsker)

SÅDAN SKABER DIGITALE TVILLINGER **VÆRDI** I VINDMØLLEINDUSTRIEN

TEST OG BENCHMARKING AF LASTGRADEN: En af de værdier ved digitale tvillinger, der nævnes oftest i forhold til vindmøller er at kunne teste på den reelle belastning (lastgraden) af vindmøllen i dens fysiske miljø og gennem vindmøllens levetid. Alle møller kommer med en beregnet lastgrad. For at sikre sig, at vindmøllen rent faktisk kan holde, skal lastningsgrader sættes ret konservativt (ca. 25% for højt), hvilket gør, at de fleste vindmøller er overdimensionerede i forhold til den egentlige lastningsgrad, de vil blive udsat for.

Med digitale tvillinger, der måler og beregner den reelle last gennem vindmøllens livscyklus, kan man skræddersy og dimensionere møllens individuelle dele mere præcist til de fysiske omgivelser. Dette kan i sidste ende resultere i billigere vindmøller.

KVALITETSSIKRING OG FORBEDRING AF PRODUKTIONSPROCESSER: Ved at bruge viden og data fra tidligere digitale tvillinger til at udføre simulering og test allerede i design og prototypestadiet, kan man nedbringe antallet af reklamationer og korrektioner på nye møller. Også detektion af fejl og uensartetheder i produktionsstadiet, som eksempelvis i støbningen af vingen, kan være med til at forbedre og ensarte produktionsprocessen og derved give bedre og mere pålidelige produkter samt nedbringe antallet af reklamationer, som er både dyre og tidskrævende. Dette vil resultere i billigere og mere effektive møller.



Hvis vi kan bevise, at møllerne ikke belastes nær så meget, som beregningen antager, vil vi kunne nedsætte den beregnede lastgrad og derved lave en billigere mølle. (Rådgivende ingeniør og udvikler af digitale tvillinger)

Hvis jeg har autoritative modeller, kan jeg droppe et valideringsloop næsten helt, og det kan forkorte min time-to-market helt vildt meget. (Vindmølleproducent)

Vi løser rigtig mange af de kvalitetsproblemer, vi har. Vi har allerede de første vinger ude, og vi kan se en stor gevinst på 95% færre korrektioner. (Vindmølleproducent)

SÅDAN SKABER DIGITALE TVILLINGER **VÆRDI** I VINDMØLLEINDUSTRIEN

INNOVATION: Vindmølleudviklingen er stadig relativt tidligt i innovationsprocessen, og der er ifølge informanterne et stort potentiale for at forbedre møllerne ved at gøre dem billigere, mere effektive og holdbare. Der er stor tiltro til, at digitale tvillinger med mere realtidsdata om vindmøller i drift vil kunne medvirke hertil. Ved at bruge numeriske modeller og probabilistiske designmetoder på data fra eksisterende vindmøller (Structural Health Monitoring og kontekstdata) kan man designe bedre konstruktioner strukturer, som går langt tættere på materialets grænse for, hvad det kan holde til.

Ved at bruge digital tvilling-teknologier i design- og prototypeprocessen kan man langt bedre, hurtigere og billigere simulere og teste produktet, hvilket forkorter time-to-market.

Det er desuden forhåbningen, at man på sigt i langt højere grad vil kunne specialdesigner vindmøller til helt specifikke brugskontekster. Digitale tvillinger åbner desuden for nye forretningsmodeller, ved at producenten eller en tredjepartsoperatør 3. operatør kan tilbyde en ekstra service baseret på predictive maintenance og risikobaserede inspektioner.



I vindmøller er der stadig et helt enormt potentiale for at forbedre teknologien, og det giver derfor meget mening at bruge digitale tvillinger til at lave bedre vindmøller. (Vindmølleproducent)

Hvis vi kommer så meget i kontrol af vores modeller, som vi ønsker, kan vi lave site-specifikke vindmøller. For eksempel, hvis der ikke er så meget vind, hvor de skal stå, kan vi reducere vægten og derved omkostningerne. (Vindmølleproducent)

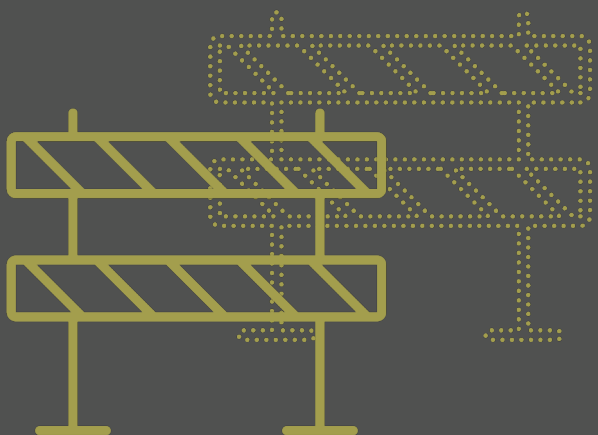
Hvilke udfordringer er der ved digitale tvillinger i vindmølleindustrien?

Tekniske
udfordringer

Standardi-
sering og
udvikling på
tværs

Kompetence-
opbygning

Manglende
business
cases og vilje
til at investere



UDFORDRINGER VED DIGITALE TVILLINGER I VINDMØLLEINDUSTRIEN

TEKNISKE UDFORDRINGER: Selvom vindmølleindustrien er relativt langt i udviklingen af digitale tvillinger, nævner informanterne stadig en del forskellige tekniske udfordringer. For det første bliver det meget kompliceret, når man skal sammensætte de digitale tvillinger fra de forskellige komponenter og beregne og forudsige på tværs af de forskellige parametre. Hvis der f.eks. er små defekter på vingen, hvordan påvirker det så belastningen af turbinen?

Det er også en udfordring at finde den rette balance for, hvor meget data og hvor mange parametre man skal tage med i sine modeller for at opnå det bedste resultat uden at drukne i data. Og der er stadig udfordringer med at få nok værdi ud af den data, man regner på. Desuden er der udfordringer med at finde sensorer af god nok kvalitet, der kan holde til de barske omgivelser og hele vindmøllens levetid på 25-30 år – eller længere.

STANDARDISERING OG UDVIKLING PÅ TVÆRS: Flere informanter nævner, at det er en udfordring at få de digitale tvilling-teknologier til at tale godt sammen med de digitale værktøjer og modeller, man i forvejen benytter. Der er behov for større grad af standardisering og ensartethed i forhold til, hvilke værktøjer og metoder man bruger, hvordan de kan spille sammen, og i hvilke formater og kvalitet data skal indsamles og bearbejdes. Der er så småt ved at komme nogle frameworks for digitale tvillinger, men der er brug for flere fælles metoder og værktøjer, så ikke alt skal opfindes på ny, og så de forskellige aktører bliver bedre til at arbejde sammen på tværs af værdikæden.



Inden for vingekomponenter har vi fuldstændig kontrol over den data, vi har. Det er først i det øjeblik, vi ser på interfacet mellem den ene og den anden komponent, at det bliver et problem. Det er her, det ubekendte i vores digitalisering ligger. (Vindmølleproducent)

Vi taler om forholdet mellem at simplificere de digitale modeller, som gør, at man gør det lettere - men så er der info, der går tabt. Det handler om at finde den helt rette detaljeringsgrad i forhold til, hvordan vi får bedst værdi ud af det. (Vindmølleproducent)

Der er stadig udfordringer med at få udnyttet data optimalt, men vi bliver bedre og bedre. (Rådgivende ingeniør og udvikler af digitale tvillinger)

UDFORDRINGER VED DIGITALE TVILLINGER I VINDMØLLEINDUSTRIEN

KOMPETENCEOPBYGNING: Der er behov ud uddannelse og kompetenceopbygning hos ingeniører og driftsfolk inden for vindmølleindustrien, hvis disse skal blive i stand til at udvikle og arbejde med data og digitale tvillinger. De rådgivende ingeniører, der udvikler digitale tvillinger til vindmølleindustrien, nævner, at det er meget tungt og dyrt arbejde at implementere en digital tvilling, hvis man sælger til en kunde, der ikke har en god strategi og infrastruktur for indsamling, opbevaring og behandling af data.

Der er behov for UX-designere, der kan være med til at lave brugervenlige og mere salgbare interfaces til digitale tvillinger, så de bliver lettere og mere intuitive at interagere med, og som gør det lettere at forstå, hvilken værdi man får ud af at investere i en digital tvilling.

MANGEL PÅ DEN GODE BUSINESS CASE OG PÅ INVESTERINGSVILLIGHED: Informanterne er generelt enige om, at der er store besparelser at hente i OPEX, men fordi det stadig er relativt omkostningstungt (CAPEX: Capital expenditure) at designe og implementere digitale tvillinger til vindmøller, kan det være svært at overbevise kunden om, at det er god forretning. Rigtig mange af informanterne nævner, at der mangler gode use cases og promovering af de gode historier, der skal vise, at der er god forretning i at investere i digitale tvillinger.



*Det er min vision, at vi om 2 år har nogle flere ingeniører, der kan kode i MAT-lab og Python. Vi begynder så småt at blive mere og mere datadrevne.
(Vindmølleproducent)*

*Vi har brug for nogle gode UX'ere, der kan være med til at gøre de digitale tvillinger lettere at arbejde med. Gerne nogen, der kan gøre det lidt mere lækkert – vi er jo bare almindelige ingeniører, så vi er ikke så gode til sådan noget.
(Rådgivende ingeniør og udvikler af digitale tvillinger)*

Hvis de ikke har en god og struktureret måde at indsamle og bruge data på, så er der ikke nogen grund til at bruge penge på det. (Rådgivende ingeniør og udvikler af digitale tvillinger)

*Man glemmer ofte, hvor vigtigt det er, at merudgift på CAPEX kan vindes ind ved digitale tvillinger, så man sparer i driften.
(Vindmølleoperatør)*

Vi har brug for de gode use cases for at overbevise kunderne. (Rådgivende ingeniør og udvikler af digitale tvillinger)

4 Digitale tvillinger til forsyningssektoren



Hvilke udfordringer skal digitale tvillinger løse i forsyningssektoren?

Den grønne omstilling udfordrer vores forsyningsinfrastrukturer i stadigt højere grad. Det samlede elforbrug stiger ekstremt, fordi transport og andre fossile brændsler omstilles til el. Centrale olie- og kulkraftværker udfases og erstattes af et decentralt system af vedvarende og fluktuerende energikilder som sol og vind.

Energiproduktionen bliver fluktuerende, hvilket betyder at elforbruget i fremtiden skal tilpasses elproduktionen, så strømmen bruges, når der er meget grøn strøm i nettet. Dette kaldes også fleksibelt energiforbrug. Et centralt svar på denne udfordring er sektorkobling: at man kan bruge de forskellige sektorer som eksempelvis transport, industri og fjernvarme til at levere fleksibilitet til elnettet. Det betyder helt konkret, at bilerne skal lades op, og fjernvarmevandet skal opvarmes via eldrevne varmepumper, når der er meget grøn strøm i nettet, og modsat at de ikke bruger strøm, når udbuddet er lavt.

Disse udfordringer skaber et øget behov for monitorering og intelligent styring af driften på tværs af mange og komplekse forsyningssektorer. Dette afsnit fokuserer på brug af digitale tvillinger i elnettet og inden for fjernvarme, inkl. varmepumper. Der er desuden set på energioptimering i bygninger.

Hvordan bruges digitale tvillinger i forsyningssektoren

Forsyningsnet

Energistyring i bygninger

Varmepumper



HVORDAN BRUGES DIGITALE TVILLINGER I FORSYNINGSSEKTOREN?

FORSYNINGSNET: Der arbejdes med at lave digitale tvillinger til intelligent monitorering og styring af distributionsnettet for både fjernvarme og elektricitet. Formålet er at kunne drifte nettet mere optimalt ved at bruge data fra smartmeters sammen med data fra SCADA-systemer*, topologidata, netværksinformation, data fra transformerstationer, elskabe, varmepumper, sensorer i fjernvarmerør og på kabler samt vejrprognoser, historisk adfærdsdata, BBR-data m.m.

Mange netselskaber arbejder med CIM-modellen** som omdrejningspunkt for opbygning af en digital tvilling. Nogle af de primære formål er at blive bedre til at forudsige forbrugsefterspørgsel i de enkelte dele af nettet samt på sigt at kunne styre forbruget på eksempelvis produktionsvirksomheder og derved levere fleksibilitet til forsyningsnettet. Ligeledes er billigere drift og vedligehold af nettet samt forlængelse af levetid vigtigt.

ENERGISTYRING I BYGNINGER: Der arbejdes på at lave digitale tvillinger af energistyring i bygninger, som skal optimere og minimere energiforbruget. Her bruges meget forskellig data fra energiinstallationer, sensorer i bygningen, der måler temperatur/fugtighed/CO₂, vejrdata og viden om brug af bygning – f.eks. persontællingsdata, viden om ferier eller arbejdstider samt historisk data om brug og energiforbrug. Der arbejdes desuden med at bruge CAD-tegninger*** og BIM-modeller*** til at modellere den digitale tvilling.

*SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition. Et SCADA-system opsamler og viser data om driften af f.eks. produktionsanlæg, varmeanlæg, spildevandsanlæg og andre procesanlæg.

** CIM: Common Information Model, Standardiseret vokabular for elektricitetsindustrien.

*** CAD: Computer-aided design, designværktøj brugt af ingeniører.

**** BIM: Building Information Model: designværktøj, der bruges til at tegne bygninger.

Elnettet er i den grad dynamisk. Det ene øjeblik er det helt ok, og det næste er det helt ad helvede til. Med maskinens kraft kan man regne det ud meget hurtigere. (Forsyningsselskab)

Den digitale tvilling er noget, vi har skrevet ind i visionen for virksomheden, da vi ved, hvor vigtigt det bliver at have de rette værktøjer til at kunne styre nettet i fremtiden. (Forsyningsselskab)

Netselskaberne leverer data ind til os, og vi giver dem et system med et interface og nogle modeller, der hjælper dem til at få et overblik over deres net og med at beregne og forudse fejl og belastning af nettet. (Teknologileverandør og udvikler af digitale tvillinger)

Ved at få et bedre indblik i brug af bygningen kan vi bedre styre og automatisere energiforbruget, så vi undgår energispild, når bygningen ikke bruges. (Forsker)

HVORDAN BRUGES DIGITALE TVILLINGER I FORSYNINGSSEKTOREN?

VARMEPUMPER: Som beskrevet ovenfor bruges store eldrevne varmepumper stadig mere i fjernvarmen til at udnytte varme fra havvand, spildevand, drikkevand, undergrunden samt overskudsvarme fra datacentre og industri. Med grøn strøm omdannes varmen til fjernvarme med den rette temperatur.

Der arbejdes med at lave digitale tvillinger til store industrielle varmepumper med det formål at drifte varmepumperne mere effektivt (forbedre COP-værdien*). Ved at benytte vejrdato, prognoser for grøn strøm og for udbud/efterspørgsel i elnettet, historisk data fra pumpen og andet kontekstdata kan den digitale tvilling beregne på forskellige scenarier og herigennem enten selv justere og optimere driften af varmepumpen, eller den kan fungere som et hurtigt og mere præcist beslutningsstøtteværktøj til de driftsansvarlige.

Fordi det er meget tidskrævende og omkostningstungt at udvikle digitale tvillinger til de mange forskellige typer af varmepumper, arbejdes der i et innovationsprojekt på at lave en generisk digital tvilling, der er selvlærende og derved kan tilpasse sig den enkelte varmepumpe uden for meget manuelt arbejde.

*COP: Coefficient Of Performance, hvor meget elektricitet man bruger på at udvikle varme



Med den digitale tvilling vil vi gerne have nogle modeller, der bedre kan udregne drift, og hvordan der skal justeres på de forskellige parametre på varmepumpen, så den kører mest optimalt. (GTS-institut)

Vi er med i et stort projekt, der undersøger, hvordan man kan levere fleksibilitet i elnettet ved at knytte det tættere sammen med fjernvarmen. Der er virkelig store potentialer i dette, men der er lang vej, inden vi når dertil, da der skal virkelig meget data til. (Forsker)

Denne digitale tvilling skal være selvlærende, så man kan udvikle en generisk digital tvilling, der kan tilpasse sig forskellige varmepumpetyper. (GTS-institut)

Sådan skaber digitale tvillinger værdi i forsyningssektoren

Hurtige,
bedre, mere
intelligent
styring

Bench-
marking og
energi-
besparelser

Præventivt
vedligehold

Nye
forretnings-
modeller



SÅDAN SKABER DIGITALE TVILLINGER **VÆRDI** I FORSYNINGSSEKTOREN

HURTIGERE, BEDRE OG MERE INTELLIGENT STYRING AF FORSYNINGEN: Som beskrevet bliver elnettet og fjernvarmenettet stadig mere komplekst, og koblingen mellem de to kræver mere monitorering og intelligent drift. Den digitale tvilling ses netop som et værktøj, der kan muliggøre hurtigere og mere nøjagtige beregninger af, hvordan forsyningsnettene skal styres for bedst at udnytte den grønne energi, samtidig med at man fastholder forsyningssikkerheden.

Hvor den ægte digitale tvilling giver mulighed for automatisk at kunne påvirke den fysiske virkelighed, mener de fleste informanter ikke, at automatiseret styring vil komme inden for den nærmeste fremtid, da det handler om kritiske infrastrukturer, hvilket kræver stor tillid til systemet. De ser derfor nærmere den digitale tvilling som et værdifuldt beslutningsstøtteværktøj til de driftsansvarlige.

Den digitale tvilling kan overskue langt flere parametre og regne på scenarier langt hurtigere end den menneskelige hjerne. På sigt skal den intelligente styring kunne tilbyde fleksibilitet til elnettet ved at justere på elforbruget i bygningen/produktionen og ved at styre varmepumpeproduktionen.



Vores system kan give de drifts-ansvarlige et langt bedre overblik over deres komplekse netværk og skabe indsigter om, hvor driften kan optimeres. (Hardwareleverandør og udvikler af digitale tvillinger)

Hovedmotivation er, at de kan indtage flere parametre i kontekstdata, som kan give et bedre og mere nuanceret billede af, hvordan en varmepumpe performer – det kan give en mere nuanceret forståelse af COP-værdien. (GTS-institut)

På sigt er det også ideen, at modellerne og algoritmerne kan foretage direkte feedback på pumpen og automatisk styre den. Men da det er kritisk infrastruktur, bliver styringen af varmepumpen indtil videre begrænset på systemniveau uden indgreb i den interne sikkerhedsrelaterede styring af varmepumpen. (GTS-institut)

SÅDAN SKABER DIGITALE TVILLINGER **VÆRDI** I FORSYNINGSSEKTOREN

BENCHMARKING OG ENERGIBESPARELSER: Når en varmepumpe eller et energistyringssystem tilsluttes, indstilles det efter beregninger på, hvordan det vil performe bedst. Men med realtidsdata kan den digitale tvilling opspore anomalier og derved tjekke, om systemet kører, som det skal.

Som med vindmøllerne kan man benchmarke systemets faktiske performance op imod de beregnede værdier. Dette kan skabe en mere virkelighedsnær og nuanceret forståelse af driften. I varmepumpen kan man optimere på COP-værdien og derved spare energi, samtidig med at man øger performance. Energistyringssystemer til bygninger kan ligeledes føre til store energibesparelser.



Så kommer vi til nogle eksistentielle spørgsmål om, hvad vi tør lade maskinen styre. Det bliver nok mere som et beslutningsværktøj. (Forsyningsselskab)

Ved at placere sensorer på bygningens energiinstallationer opdager vi ofte, at systemerne ikke kører, som de skal. (Teknologileverandør)

Vi kan beregne på, hvordan bygningen burde 'opføre sig' og holde det op imod, hvordan den rent faktisk opfører sig. Forskellen viser, hvad der skal optimeres. (Forsker)

SÅDAN SKABER DIGITALE TVILLINGER VÆRDI I FORSYNINGSSEKTOREN

PRÆVENTIVT VEDLIGEHOOLD OG UDBYGNING: Forsyningsnettene består af mange kilometer infrastruktur og af rigtig mange mindre installationer som f.eks. elskabe, transformerstationer etc. Det kan derfor være svært at spore fejl eller brud. Ligesom ved vindmøllerne ser informanterne her også predictive maintenance (præventivt vedligehold) som en af de største værdier ved digitale tvillinger. Med digitale tvillinger kan man beregne og spore, hvor der er læk/tab/brud på nettet – enten grundet beskadiget infrastruktur eller grundet tyveri af elektricitet.

Det giver værdi at kunne forudse, hvor og hvornår der er behov for service, vedligehold eller reparation. Man kan spare mange penge i driften ved kun at tilse de steder, der er behov for det og få viden om skaden, inden man tager ud. Den øgede efterspørgsel efter elektricitet vil desuden på sigt betyde, at dele af distributionsnettet vil blive udfordret og overbelastet. Med digitale tvillinger håber man at kunne forudse, hvor og hvornår der bliver behov for at forstærke dele af nettet. I fjernvarmenettet kan man ligeledes detektere, hvor på nettet der er meget varmetab og dermed behov for ny/bedre rørføring/isolering. Præventivt vedligehold menes desuden at kunne forlænge infrastrukturens levetid.

NYE FORRETNINGSMODELLER: Digital tvilling-teknologier til forsyningssektoren giver desuden nye forretningsmodeller, da nye services som drift og styring af elnettet eller fjernvarmen kan tilbydes. Flere informanter forudser desuden at der vil opstå mange nye services, som vi endnu ikke kan forudse.



Vi skal jo have tillid til systemet, og det tager tid, så i den første lange tid skal det nærmere supportere driftsfolk. (Forsyningsselskab)

Det er dyrt at reparere på kabler, der er gravet ned, og elnettet består af så mange installationer, at det kan være svært at få overblik over systemet. (Forsyningsselskab)

Hvis vi har den rette data, kan vi hjælpe netselskaberne med at opspore, hvilke dele af nettet der er mest belastet, og hvor og hvornår der er brug for reparation eller forstærkning. (Hardwareleverandør og udvikler af digitale tvillinger)

Med digitale tvillinger kan vi udvikle nye forretningsmuligheder ved at tilbyde eksempelvis energi eller fjernvarme-as-a-service. (Hardwareleverandør og udvikler af digitale tvillinger)

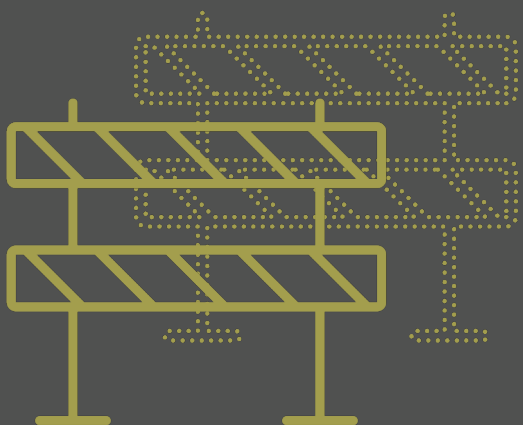
Hvilke **udfordringer** er der ved digitale tvillinger i forsyningssektoren?

Svært at
standar-
disere

Dataadgang,
datakvalitet,
interopera-
bilitet

Manglende
dataforståelse

Manglende
business
cases og vilje
til at investere



UDFORDRINGER VED DIGITALE TVILLINGER I FORSYNINGSSEKTOREN

SVÆRT AT STANDARDISERE: I Forsyningssektoren er det en stor udfordring, at meget af den teknologi og infrastruktur, der benyttes, er meget forskelligartet. Det meste er lavet på forskellige måder og med forskellige metoder gennem et helt århundrede – lang tid før digitaliseringen.

Modsat vindmølleindustrien, hvor der skabes rigtig mange af de samme typer vindmøller, så er en af de største udfordringer i forsyningssektoren, at systemet består af utroligt mange forskellige installationer, at varmepumper og kraftvarmeværker er forskelligt opbygget, og at der derfor kun findes få eksemplarer af den samme teknologi. Ligeledes er alle bygninger forskellige.

Derfor er det svært at genbruge og standardisere, hvilket gør det meget omkostningstungt at lave digitale tvillinger til denne sektor, da der skal specialdesignes modeller til hver enkelt installation. Dertil kommer, at der ofte bygges ovenpå på de forskellige dele af nettet eller installationerne, hvilket kræver, at den digitale tvilling også tilpasses dette.

Det er meget dyrt og tidskrævende arbejde. Derfor arbejdes der i et stort forsknings- og udviklingsprojekt med at udvikle og demonstrere generiske modeller af varmepumper, som er selvlærende og selv tilpasser sig den enkelte type varmepumpe. Ligeledes er det nogle komplekse systemer, hvor der ofte foretages ændringer i infrastrukturen, hvilket skal opdateres i den digitale tvilling, så den matcher den fysiske virkelighed. Revision af tvillingen er en empirisk og omkostningstung proces.



En anden vigtig årsag [til at vi ikke arbejder med digitale tvillinger mere] er den svage udbredelse og den lave standardiseringsgrad inden for kraftvarmeanlæg. Du finder kun anlæg, som er kundespecifikke, og typisk på de væsentlige forhold. Det gør det bekosteligt at bygge digitale tvillinger. (Rådgivende ingeniør og tidligere udvikler af digitale tvillinger)

Dertil kommer, at der ofte bygges om på anlæggene [...] Og revision af tvillingen er en empirisk proces, som mange anlægsejere ikke er villige til at betale for. (Rådgivende ingeniør og tidligere udvikler af digitale tvillinger)

Varmepumperne er alle meget forskellige, og det er alt for dyrt at lave skræddersyede digitale tvillinger til hver type. Derfor arbejder vi på at udvikle en generisk digital tvilling, der kan tilpasse sig forskellige varmepumpetyper. (GTS-institut)

UDFORDRINGER VED DIGITALE TVILLINGER I FORSYNINGSSEKTOREN

DATATILGÆNGELIGHED, DATAKVALITET OG INTEROPERABILITET: Fordi data kommer fra mange forskellige datakilder, er det en udfordring at skaffe og samkøre de rette data. Dette gælder lige fra den 3D-model eller konstruktionstegning, man bygger sin digitale tvilling over, til de data der indhentes fra nettet. Ved intelligent energistyring i bygninger forsøger man at tilpasse CAD-tegninger og BIM-modeller, så disse kan bruges, men det er ikke nemt.

I forsyningssektoren er det et problem, at meget dokumentation af nettet endnu ikke er digitaliseret, og selv hvis det er, så ligger data i mange forskellige typer, der er svære at konsolidere til en komplet repræsentation af nettet. Net- og forsyningsselskaber er endnu i et relativt tidligt stadie i forhold til indsamling og strukturering af data.

Ligeledes er det en udfordring, at det er dyrt og tidskrævende at få placeret sensorer på alle de nødvendige installationer i nettet eller i bygningen. Data skal ofte hentes hos forskellige dataejere, som ikke nødvendigvis kan se en værdi i at skulle levere data.

Sidst men ikke mindst kommer data ofte i mange forskellige formater og typer, så bare det at få indsamlet, struktureret og standardiseret data er en stor opgave. Det er desuden en udfordring at finde den rette balance mellem at have nok data og at drukne i data.



Det er essentielt for en digital tvilling at have adgang til den rette data, og det kan være svært at få fat i, fordi den ligger gemt i siloer, og fordi de forskellige aktører i værdikæden ikke er opdraget til og ikke kan se værdi i at give adgang til deres data. (Forsker)

Vores kunder siger, at de har styr på data, men det har de ikke! Vi mangler netværksdata. Det er den største barriere. (Hardwareleverandør og udvikler af digitale tvillinger)

Vi havde ikke helt så meget styr på data, som vi troede. Vi ejer 3 forskellige net, og selvom de er bygget ens op, så kommer data fra dem på forskellige måder og i forskellige formater. (Forsyningsselskab)

Det er helt klart, at man skal diskutere datatilgængelighed og -kvalitet. Data skal have en vis struktur og kvalitet. Vi kigger også på at få nogle metoder for at kvalitetssikre data. (GTS-institut)

UDFORDRINGER VED DIGITALE TVILLINGER I FORSYNINGSSEKTOREN

BEHOV FOR NY DATA LITERACY/FORSTÅELSE: Det kræver en ny måde at tænke data på, hvis man skal lykkes med at skabe nok værdi ud af digitale tvillinger. Mange af de mennesker, der arbejder med og i forsyningssektoren og med facility management, er ikke vant til at tænke på deres arbejde som noget, der skal føde ind i en digital tvilling, ligesom de ikke er uddannet til at kunne se værdi i og handle på data fra eksempelvis en digital tvilling.

Der er derfor behov for at uddanne fagpersoner helt fra topledelsen ned til elinstallatøren, hvis man skal kunne indsamle den rette data, og hvis man skal kunne se, forstå og handle på værdien af en digital tvilling. Drift af både forsyningsnet og bygninger er relativt konservative fagfelter, hvor man gør tingene, som man plejer. Det er tidskrævende at skulle tilegne sig nye praksisser og viden, og det er der sjældent tid til i en travl hverdag.

MANGEL PÅ DEN GODE BUSINESS CASE OG PÅ INVESTERINGSVILLIGHED: Den manglende standardisering gør det svært at se den gode business case (endnu). Det er dyrt at investere i at få opbygget en digital tvilling og at indsamle al den nødvendige data. Der mangler stadig nogle rigtig gode use cases, der kan overbevise forsyningsselskaber og bygningsejere om, at man kan spare nok på driften til, at det kan betale sig at investere i digitale tvillinger.



Der er behov for organisatorisk forandring – lige fra ledelsen, driftsfolk og de teknikere, der tilser elinstallationer, hvis man skal lykkes med virkelig at skabe værdi med digitale tvillinger. (Hardware-leverandør og udvikler af digitale tvillinger)

Det er helt oplagt at bruge CAD-tegninger til at modellere bygningen. Men problemet er, at CAD-tegninger er tegnet af arkitekter, for hvem det ikke er vigtigt at tegne gulvet i kælderen, da det ikke kan ses, så nu har du en bygning uden fundament, og det dur ikke i energiberegning. Man skal således uddanne arkitekter til at tegne på nye måder for at kunne have den data, man har brug for. (Forsker)

Det kan godt være, det er teknisk muligt at lave predictive maintenance og as-a-service, men det kan være svært at vide, om der er forretning i det. (Hardwareudvikler)

Det skyldes, at det er vanskeligt at vurdere afkastet, før tvillingen er sat i drift (især for en first-mover). Anlægs-ejerne bliver budgetmæssigt holdt i kort snor, og det er anlægsejeren, som bærer hele risikoen, og derfor er meget få anlægsejere villige til at budgettere. (Rådgivende ingeniør og tidligere udvikler af digitale tvillinger)

5 Anbefalinger

SÅDAN KOMMER VI VIDERE MED DIGITALE TVILLINGER TIL ENERGISEKTOREN

På baggrund af indsigterne fra de 18 interviews beskrives her fire kerneområder, som innovations- og sektoraktører bør fokusere på for at fremme arbejdet med digitale tvillinger i energisektoren.

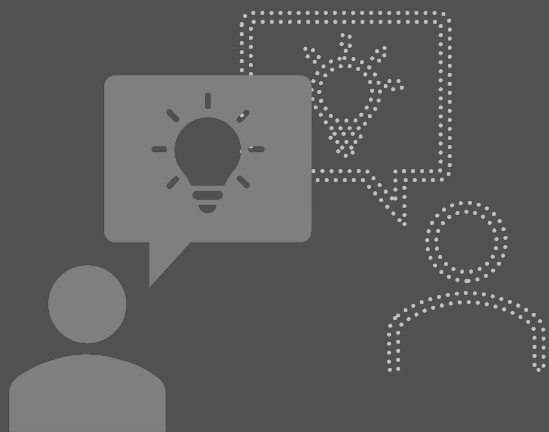
Anbefalinger til energisektoren

Viden og
inspiration

Fælles sprog
og metodologi

Uddannelse
og kompetence-
løft

Lovgivning og
standarder



VIDEN OG INSPIRATION TIL AT KOMME I GANG MED DIGITALE TVILLINGER

BEHOV FOR: Flere informanter understreger, at vi er i et meget tidligt stadie i udviklingen af digitale tvillinger, og at der er behov for oplysning om, hvad digitale tvillinger er og kan gøre i de forskellige led i værdikæden i energisektoren. Der er brug for viden om og inspiration til, hvordan man kommer i gang, og hvilken værdi det kan skabe, samt behov for at udbrede de gode historier om gode use cases og business cases. Der er desuden brug for at informere om, hvilke indledende øvelser man skal foretage – hvilken data man skal have adgang til og i hvilke formater – hvis man vil i gang med digitale tvillinger.

FORSLAG: At innovationsfremmeaktører som f.eks. Energy Cluster Denmark, Dansk Energi, GTS institutter, brancheforeninger, og uddannelsesinstitutioner som f.eks. maskinmesterskoler laver flere arrangementer om brug af digitale tvillinger i forskellige dele af energisektoren, hvor virksomheder og forskere inviteres til at præsentere de gode løsninger, der findes og er på vej.



Det der er allermest brug for er en dannelsesrejse. Der er et helt tilløb, der ikke er lavet endnu. [...] Der er brug for oplysning om, hvad det er for nogle forberedelser man skal have styr på, inden man kan begynde at arbejde med digital tvilling; hvad er det for data, man skal have. Sådan noget kunne godt være Energy Cluster Denmarks rolle. (Forsker)

Der er brug for at vi taler samme sprog. (Hardwareleverandør og udvikler af digital tvilling)

UDVIKLE OG UDBREDE **FÆLLES SPROG OG METODOLOGI** TIL DIGITALE TVILLINGER

BEHOV FOR: Mange informanter påpeger, at det er et problem, at digitale tvillinger bruges (og misbruges) på mange forskellige måder. De siger, at der er behov for at udvikle en fælles terminologi med mere klare definitioner på digitale tvillinger – evt. flere forskellige typer/kategorier/stadier af digital tvilling, så man på tværs af branchen kan skabe mere enighed om, hvad man taler om, når man taler digitale tvillinger, og så der skabes mere klarhed om, hvad digitale tvillinger kan og ikke kan. De nævner desuden, at der er behov for mere standardiserede end-to-end-metodologier og værktøjer, så det bliver lettere at komme i gang og at samarbejde på tværs af værdikæden.

FORSLAG: At der afsættes midler på brancheniveau til et større afdæknings- og definitionsarbejde, hvor der på tværs af og i fællesskab med aktørerne i hele værdikæden skabes en eller flere klare definitioner af digitale tvillinger samt en fælles terminologi. Man kan evt. også lave en guide for, hvordan man kommer i gang og et katalog over metoder og processer.



Vi har brug for nogle fælles definitioner... Som det er i dag, bruger folk digital tvilling på alle mulige måder, hvilket gør mere skade end gavn, fordi det ikke er klart for aftagerne, hvad det er, og hvad det kan. Det skal vi være meget mere klare om, så man ved, hvad man får, og hvad man ikke får. (Rådgivende ingeniør og udvikler af digitale tvillinger)

Der mangler den end-to-end-metodologi. Det kan hjælpe til at drive udvikling og implementering af digitale tvillinger fremad. Det skal også bruges til at forstå og sikre værdien ved digitale tvillinger på tværs af værdikæden. (Forsker, SDU)

UDDANNELSE OG KOMPETENCELØFT DER FREMMER BRUGEN AF DIGITALE TVILLINGER

BEHOV FOR: I forlængelse af første anbefaling er der brug for uddannelse af de forskellige aktører i værdikæden og på tværs af sektoren, hvis digitale tvillinger skal slå igennem, og hvis man skal skabe værdi med digitale tvillinger. Denne dannelse ligger meget i forlængelse af den mere brede dagsorden om digitalisering i energisektoren. Der er brug for et paradigmeskifte i virksomhederne i forhold til, hvor data ligger, og hvordan det kan tilgås. De mindre tech-virksomheder, som skal udvikle digitale services som f.eks. digitale tvillinger, har behov for en tung sektorviden for at kunne skabe værdifulde løsninger.

FORSLAG: At innovations- og sektoraktører planlægger og udbyder kurser og uddannelsesforløb med kompetenceudvikling, organisationsforandring og med viden om, hvordan man kan arbejde med data for at komme i gang med digitale tvillinger.



Man skal forstå data på en ny måde, når man skal tænke digital tvilling. Der er brug for et paradigmeskift i forhold til, hvor data skal ligge og kunne tilgås. Fra at have en decentral styring af produktion til at have et samlet styringsrum. (Forsker, SDU)

Det allervigtigste er organisatorisk forandring - det er vigtigt, at dem der er ude og grave kablerne op og lave nye transformator-stationer også forstår, hvad det vil sige at lave en digital tvilling. (Hardwareleverandør og udvikler af digital tvilling)

LOVGIVNING OG STANDARDER

BEHOV FOR: Digitale tvillinger skaber nye behov for standarder og ændret lovgivning. Et eksempel, der blev nævnt af mange informanter fra vindmølleindustrien, var, at de regler der er for, hvor meget buffer man skal lægge ovenpå i lastgraden kan reduceres betydeligt, når man har reel data fra vindmøllernes drift. Hvis denne buffer sænkes, kan man udvikle billigere vindmøller, og det vil skabe en bedre business case for digitale tvillinger til vindmøller.

FORSLAG: At innovations- og sektoraktører undersøger, hvilken lovgivning og hvilke standarder der står i vejen for udbredelsen af digitale tvillinger i energisektoren, og derefter arbejder på at få disse ændret.



Der er mange mindre aktører, der leverer produkter til digitale tvillinger. Mange af dem er tech-specialister, men de har brug for en virkelig tung domæneviden indenfor energi for at kunne lykkes med deres produkt. (Forsker)

Det kunne være fedt, hvis eksempelvis Energy Cluster Denmark sammen med brancheforeningen kan lave en slags standardisering eller en blåstempling af, hvordan man arbejder med digital tvilling på en måde, så man sikrer en gevinst på det. Der er brug for dette for at overbevise ledere eller kunde om, at man skal investere. (Vindmølleoperatør)

6 Kontakt videnpersoner

KONTAKT VIDENPERSONER

Nedenstående videninstitutioner har deltaget i undersøgelsen.

Hvis du skulle have behov for mere viden eller har ideer til samarbejdsprojekter inden for digital tvilling, er du velkommen til at kontakte disse videnpersoner:



SDU Center for Energy Informatics

Bo Nørregaard Jørgensen
Professor, ph.d., og centerleder
Email bnj@mmmi.sdu.dk

AU Centre for Digital Twins

Hugo Daniel Macedo
PhD, forsker
Email hdm@ece.au.dk

DHI

Jacob Tornfeldt Sørensen
R&D Manager, Digital Lead
Email jts@dhigroup.com

DTU Vindenergi

Kim Branner
Seniorforsker og centerleder
Email kibr@dtu.dk

Teknologisk Institut, Energi og Klima

Benjamin Zühlsdorf
PhD, Konsulent og projektleder
Email bez@teknologisk.dk

Alexandra Instituttet A/S

Frank Allan Hansen
Head of Digital Experience and Solutions Lab, PhD
Email frank.allan.hansen@alexandra.dk

Rapporten er udarbejdet af Alexandra Instituttet
for Energy Cluster Denmark

December 2021

LEA SCHICK
Senior Research and Innovation Specialist
lea.schick@alexandra.dk

JAKOB FREDSLUND
Senior Solution Architect, PhD