

A decorative graphic on the left side of the slide, consisting of a complex network of thin grey lines forming a series of interconnected triangles and polygons, resembling a mesh or a stylized map. In the top-left corner of this graphic, there is a small circular icon containing a stylized human figure.

WORKSHOP OM SIMULERINGSMODELLER

Tirsdag den 1. marts 2022 kl. 10.00-14.00

Sebastian Bille Sørensen, Kristian Abildgaard, Nan Qin, Chris Skovgaard Hansen, Flemming Brinch Nielsen

Program



- | | |
|---|-------------|
| - Velkommen (FBN) | 10:00-10:05 |
| - Baggrund/introduktion til lovgrundlag (FBN) | 10:05-10:20 |
| - Formål med modeller (SBS) | 10:30-10:50 |
| - Processen (EON/ION/FON) generelt (SBS) | 10:50-11:10 |
| - Modeldetaljer (KAB/CSH) | 11:20-11:50 |
| - Frokost | 12:00-12:30 |
| - Produktionsanlæg (KAB/JEG) | 12:30-12:45 |
| - Forbrugsanlæg/energilageranlæg (NAQ) | 12:50-13:10 |
| - Spørgsmål | 13:15-14:00 |
| - Tak for i dag | 14:00 |

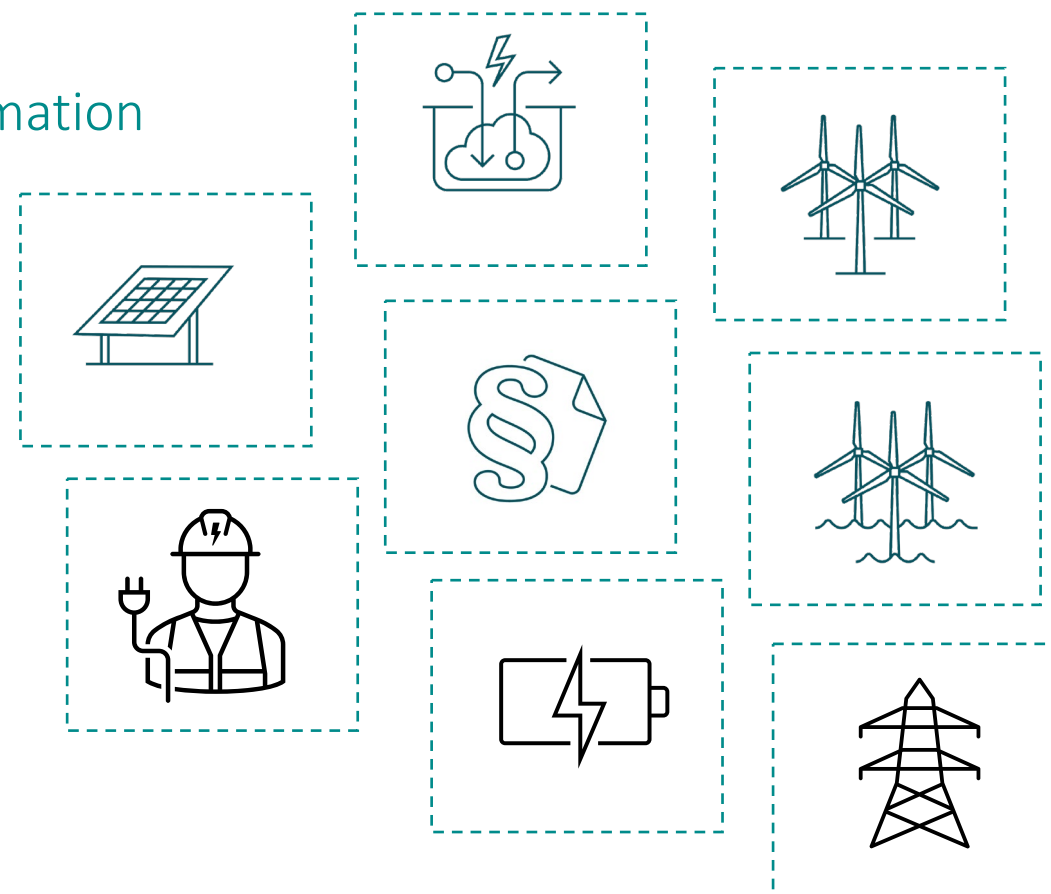


BAGGRUND/
INTRODUKTION TIL LOVGRUNDLAG

BAGGRUND

Forandringer medfører behov for nye krav og information

- Øget interesse for tilslutning af anlæg i det kollektive elforsyningssystem
- Udvikling i anlægstyper og anlægsstørrelser
- Nye aktører
- Workshop om simuleringmodeller – har været lang tid undervejs.



EKSISTERENDE LOVGIVNING OG KRAV

- Forordning EU 2016/631
 - RfG bilag 1 Godkendte krav
 - RfG bilag 1B Krav til simuleringsmodeller
 - TF 3.2.7- Krav til spændingskvalitet
- Forordning EU 2016/1388
 - Bilag 1 Godkendte krav
 - Bilag 1D Krav til simuleringsmodeller
 - Bilag 1E – Krav for spændingskvalitet
 - Opdatering af bilag 1D
- TF 3.3.1, rev 2
 - Afsnit 10
 - TF 3.2.7 – Krav til spændingskvalitet

DCC (Demand Connection Code), articles 3-29

Krav fastsat i henhold til EU-forordning 2016/1388 – Demand Connection Code (DCC)

ENERGINET

TEKST

Ændringer efter forsyningstilsynets høringsperiode og godkendelse af 18.8.2016

Den Europæiske Unions Tidende

VERSION	DATO
0	28.05.2019

L. 223/10 [DA]

KOMMISSIONENS FORORDNING (EU) 2016/1388 af 17. august 2016 om krav til forbindelse af forbrugs- og distributionssystemer

RfG (requirements for generators), articles 13-28

Krav fastsat i henhold til EU-forordning 2016/631 – Requirements for grid connection of Generators (RfG)

Side 1 af 39

VERSION	DATO
1	19.11.2018
	28.06.2019

ENERGINET

Energinet
 Tonne Kjærvej 65
 DK-7000 Fredericia

+45 70 10 22 44
 info@energinet.dk
 CVR-nr. 28 98 06 71

TEKNISK FORSKRIFT 3.3.1 FOR ELEKTRISKE ENERGILAGERANLÆG

GYLDIG FRA 18. december 2019

EKSISTERENDE LOVGIVNING OG KRAV

EU 2016/631 - Produktionsanlæg

EU 2016/631

- Artikel 15, stk. 6, litra c,
 - RfG bilag 1B Krav til simuleringmodeller
 - TF 3.2.7 – Krav til spændingskvalitet

Godkendte tærskelværdier:

Kategori A: 0,8 kW - 125 kW

Kategori B: 125 kW - 3 MW

Kategori C: 3 MW - 25 MW

Kategori D: > 25 MW eller
transmissionstilsluttet

Produktionsanlægstype	Synkrone produktionsanlæg	Asynkrone produktionsanlæg
Type A	Intet krav om simuleringmodel	Intet krav om simuleringmodel
Type B	Intet krav om simuleringmodel	Intet krav om simuleringmodel
Type C, når den nominelle aktive effekt ≥ 10 MW	Stationær simuleringmodel RMS-simuleringmodel	Stationær simuleringmodel RMS-simuleringmodel
Type D	Stationær simuleringmodel RMS-simuleringmodel	Stationær simuleringmodel RMS-simuleringmodel EMT-simuleringmodel Harmonisk simuleringmodel

Tabel 1 Krav til simuleringmodeller for de enkelte typer af produktionsanlæg

EKSISTERENDE LOVGIVNING OG KRAV

EU 2016/1388 - Forbrugsanlæg

EU 2016/1388

- Artikel 21,
 - Bilag 1D - Simuleringsmodeller
 - Bilag 1E – Krav til spændingskvalitet

Anlægskategorier:

Distributionssystem – kategori 1

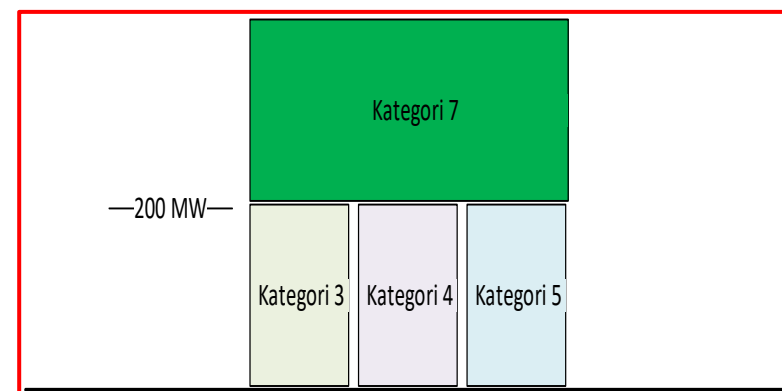
Forbrugsanlæg – kategori 3 (P_n ved FON)

Forbrugsanlæg – kategori 4 (Successiv forøgelse af P)

Forbrugsanlæg – kategori 5 (Spidslastanlæg)

Forbrugsanlæg – kategori 6 (Kørestømsforsyning for togdrift)

Forbrugsanlæg – kategori 7 (P_n ≥ 200 MW)



EKSISTERENDE LOVGIVNING OG KRAV

EU 2016/1388 - Forbrugsanlæg

Forbrugsanlæg og distributionssystemtype	Modelkrav
Transmissionstilsluttet distributionssystem - Anlægskategori 1	Stationær simuleringsmodel Harmonisk simuleringsmodel
Transmissionstilsluttet forbrugsanlæg - Anlægskategori 3	Stationær simuleringsmodel
Transmissionstilsluttet forbrugsanlæg - Anlægskategori 4	Stationær simuleringsmodel RMS-simuleringsmodel Harmonisk simuleringsmodel
Transmissionstilsluttet forbrugsanlæg - Anlægskategori 5	Stationær simuleringsmodel
Transmissionstilsluttet forbrugsanlæg - Anlægskategori 6	Stationær simuleringsmodel

Tabel 1 Krav til simuleringsmodeller opdelt på forbrugsanlæg og distributionssystemtyper

For nuværende gældende

Forbrugsanlæg og distributionssystemtype	Modelkrav
Transmissionstilsluttet distributionssystem - Anlægskategori 1	Stationær simuleringsmodel Harmonisk simuleringsmodel
Transmissionstilsluttet forbrugsanlæg - Anlægskategori 3,4,7	Stationær simuleringsmodel RMS-simuleringsmodel Harmonisk simuleringsmodel EMT-simuleringsmodel
Transmissionstilsluttet forbrugsanlæg - Anlægskategori 5	Stationær simuleringsmodel RMS-simuleringsmodel EMT-simuleringsmodel
Transmissionstilsluttet forbrugsanlæg - Anlægskategori 6	Stationær simuleringsmodel

Forventet ændring

EKSISTERENDE LOVGIVNING OG KRAV

Energilageranlæg

- TF 3.3.1, rev. 2
 - Afsnit 10
 - TF 3.2.7 – Krav til spændingskvalitet

Godkendte tærskelværdier:

Kategori A: 0,8 kW - 125 kW

Kategori B: 125 kW - 3 MW

Kategori C: 3 MW - 25 MW

Kategori D: > 25 MW eller transmissionstilsluttet

Energilageranlægs- type	Krav om simuleringsmodel
A	Intet krav
B	Intet krav
C [P _n ≥ 10MW]	<ul style="list-style-type: none"> • Stationær • Dynamisk (RMS) • Harmonisk
D	<ul style="list-style-type: none"> • Stationær • Dynamisk (RMS) • Transient (EMT) • Harmonisk

Tabel 28 Krav til simuleringsmodeller for de enkelte typer af energilageranlæg.

EKSISTERENDE LOVGIVNING OG KRAV

I forbindelse med vores spørgeskema inden workshoppen modtog vi specifikke spørgsmål/emner:

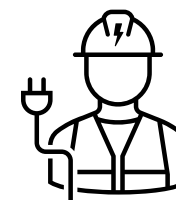
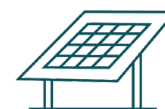
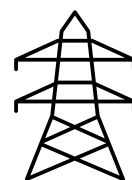
- Whitelist over godkendte invertermodeller - nej
- Prægodkendt inverter - nej
- Håndhævelse af krav (EON/ION/FON) – godkendelse før drift
- Omfang af krav/simuleringskrav – jf. Bilag 1
- Levering af model i specifik software – ja

LOVGIVNING OG KRAV FREMADRETTET

Opmærksomhedspunkter

- Væsentlig udvikling af distributions- og transmissionssystemet
- Hybrid produktionsanlæg (VTG/PV/ESM)
- Nye forbrugsanlæg
- Samplacering/MCS

- Revision af tilslutningskrav
- Væsentlig forøgelse af anlæggets nominelle effekt
- Forandring i national lovgivning
- ...



HVAD KOMMER I FREMtiden

- Aktørmøde
- Online-møde
- Teknologispecifikke forbrugsanlæg
- ...



SPØRGSMÅL

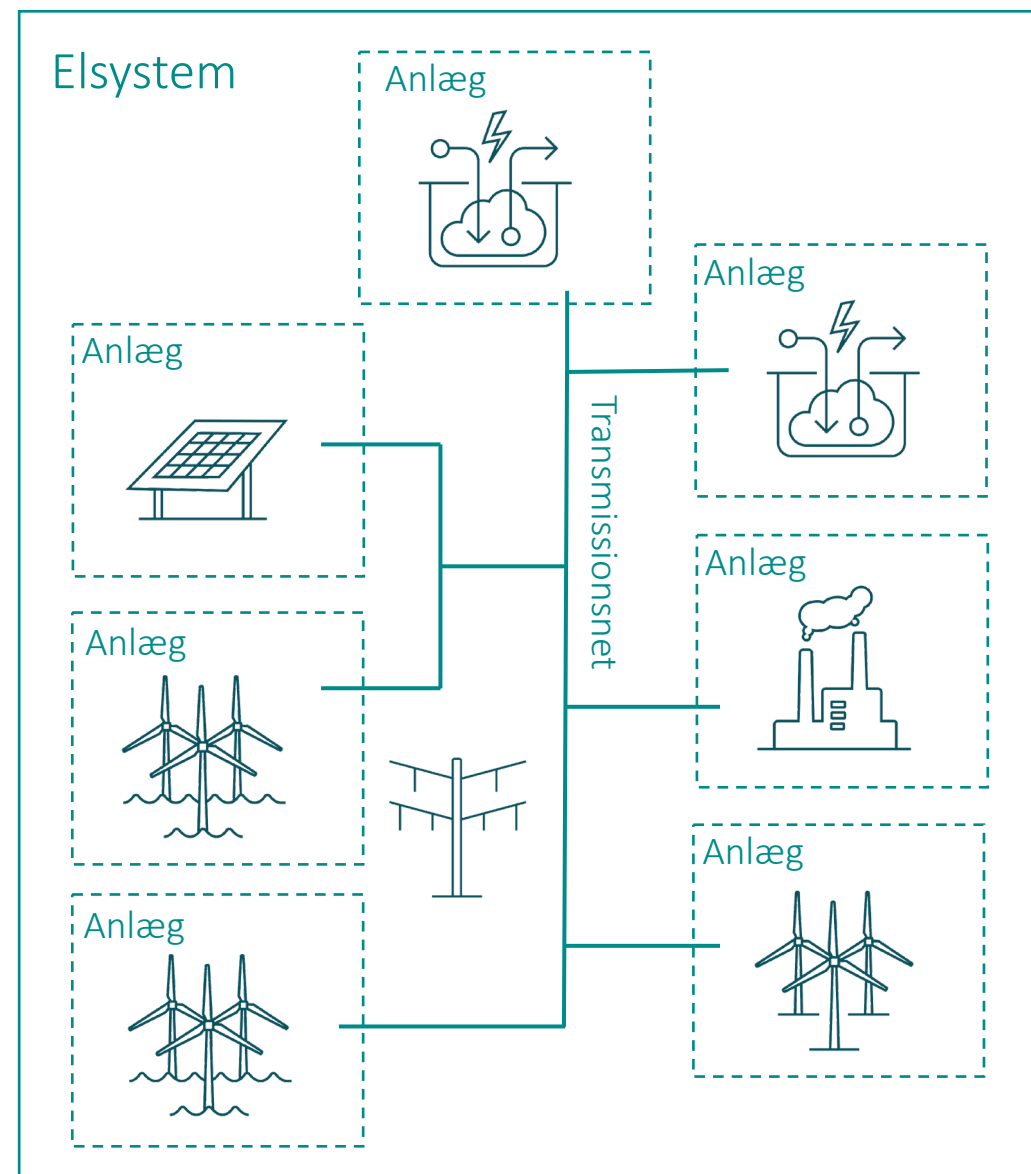




FORMÅL MED MODELLER

MOTIVATION

- Forsyningsikkerheden skal opretholdes under og efter den grønne omstilling.
- Simuleringsmodeller af høj kvalitet er en del af fundamentet for denne opgave.

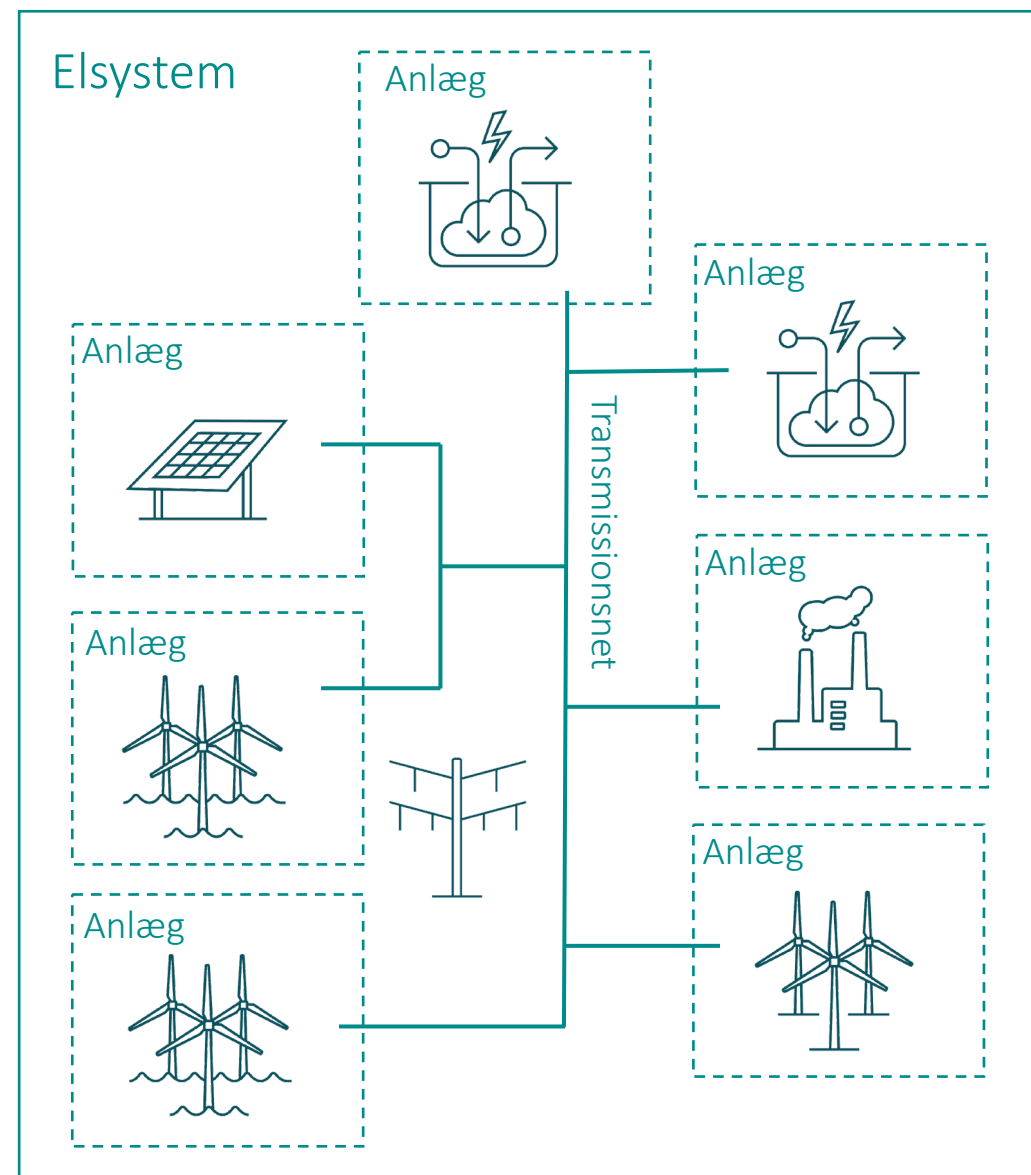


MOTIVATION

Helt konkret er der 3 formål med Energinets krav om levering af simuleringmodeller:

1. Validere det enkelte anlæg
2. Validere anlæg i systemsammenhæng
3. Kunne udføre systemkritiske analyser over anlæggets levetid, som løbende giver kontrol af systemet som helhed.

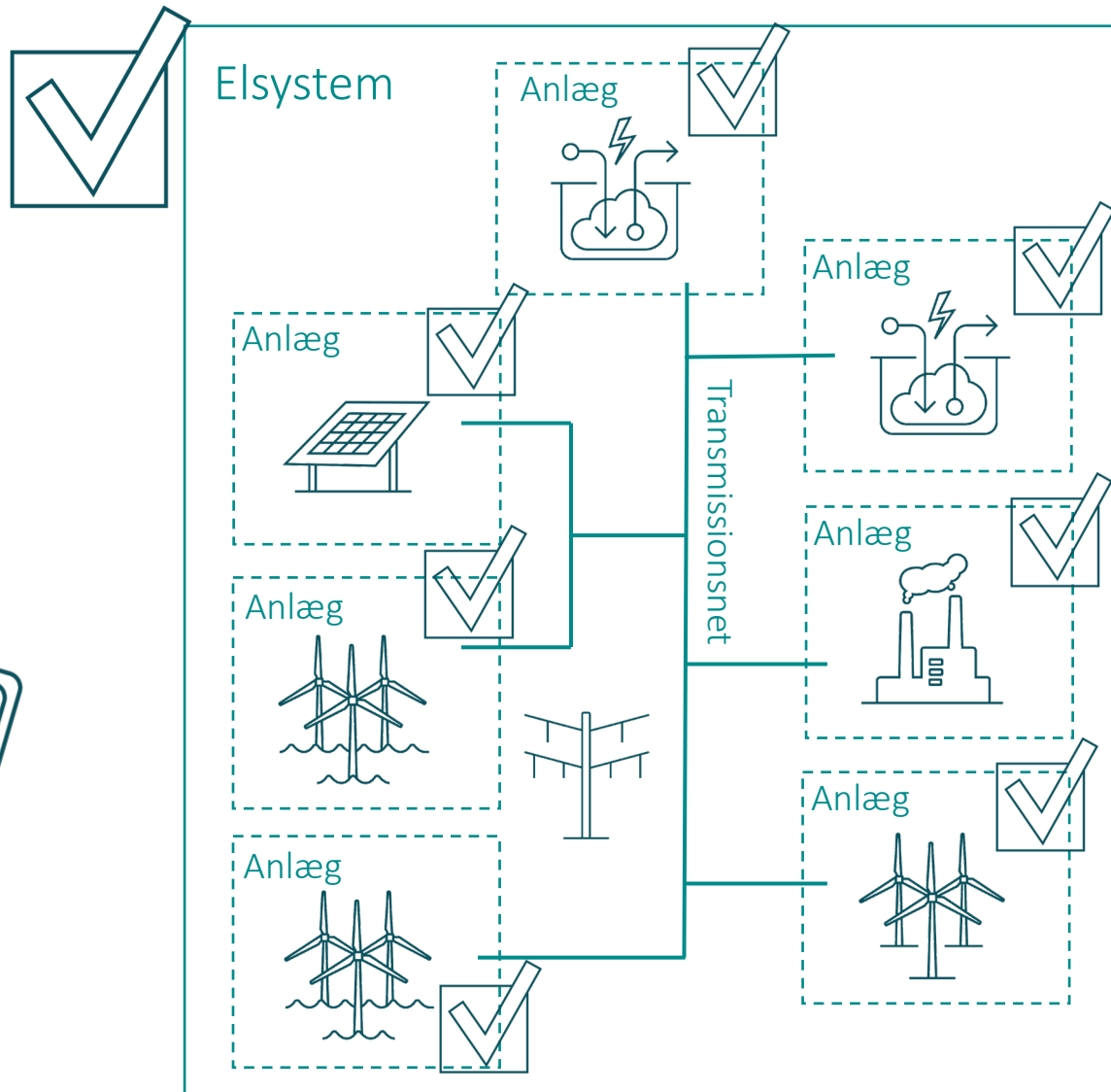
Alle 3 formål relaterer til en del af det arbejde, som Energinet udfører for at sikre forsyningsikkerheden.



SYSTEMINTEGRATION

Robuste "subsystemer"

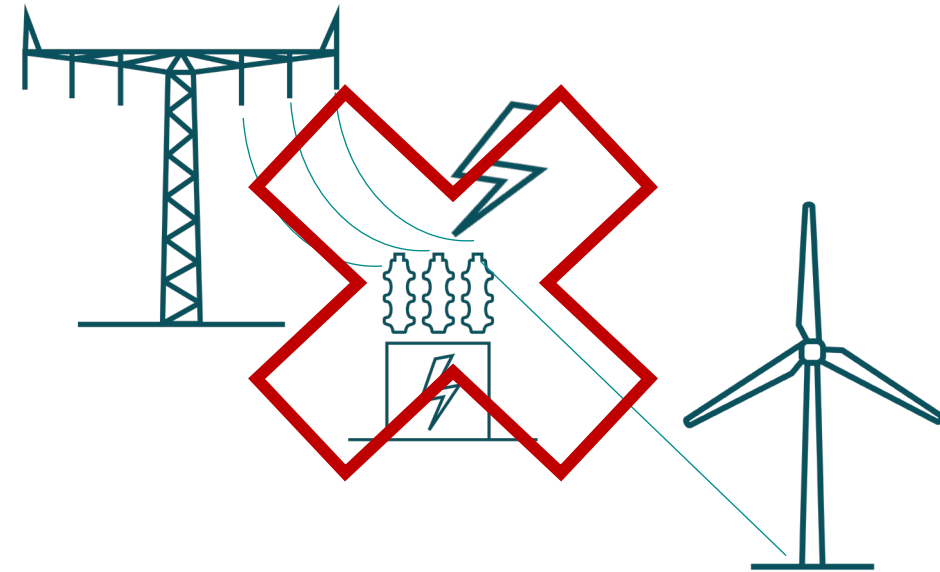
- Robuste anlæg nødvendige for robust elforsyningssystem
- RfG-, DCC- og TF 3.3.1-krav til anlæg
 - Fault Ride Through (FRT)
 - FSM og LFSM-O/U
 - Kontrol af reaktiv effekt
 - Kontrol af aktiv effekt.



ANLÆGSCOMPLIANCE

Simuleringsmodeller er en central del af anlægsdokumentationen

- Test af anlæg?
 - ✘ Vi kan ikke teste alt
 - ✘ Vi kan ikke teste, før anlæg er i drift
- Compliance-simuleringer er nødvendige
- Særlige netregler i forhold til behov for simuleringsmodeller:
 - Krav til FRT (robusthed)
 - Reaktiv effekt-egenskaber PQ- og UQ-diagram
 - Robusthed af PLL og andre kontrolfunktioner overfor frekvensforstyrrelser, spændingsændringer og fasespring.

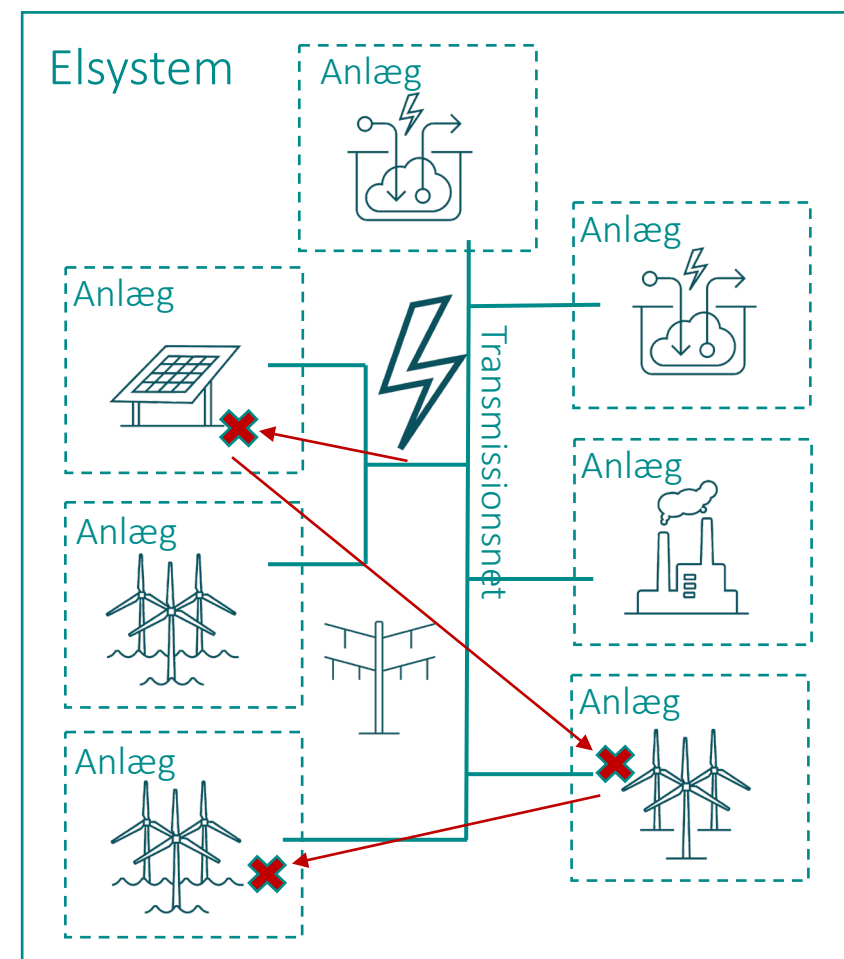


SYSTEMSAMMENHÆNG

Anlæg kan interagere

Sikring af de enkelte anlæg for sig er ikke nok

- Energinet udfører diverse studier med henblik på at analysere det samlede elforsyningsystems respons
- Behov for modeller af høj kvalitet for at kunne fange uensigtsmæssige interaktioner
- Gennem diverse systemstudier har vi mulighed for at opdage og forebygge potentiel risiko for stort udfald. Men det kræver detaljerede og nøjagtige modeller.



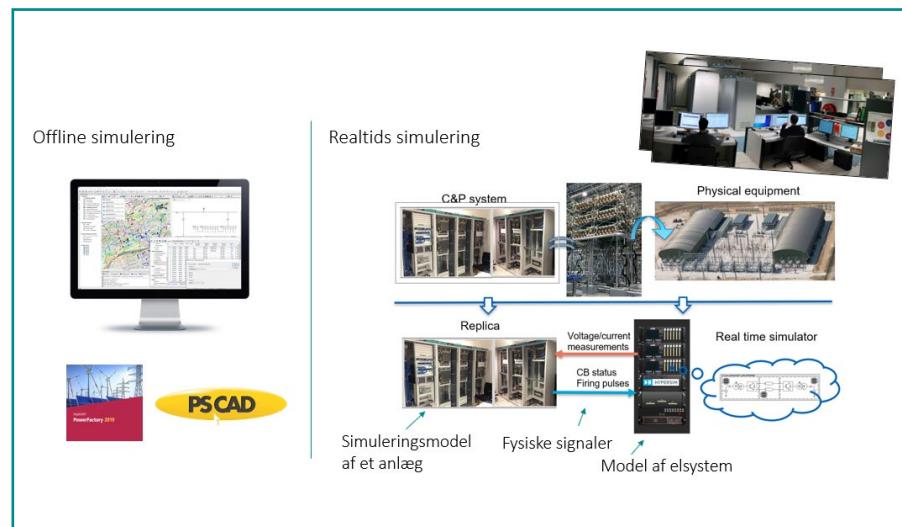
EKSEMPLER PÅ STUDIER ENERGINET LAVER

- Detaljerede studier af den specifikke anlægsmodel i forbindelse med nettilslutning
 - Eksempler på identificerede risici
 - Bidrag til overspændinger ved ubalancerede fejl
 - FRT togglng ved fejl ”langt væk”
 - Stor overshoot og oscillationer i spændingskontrol
- Systemstudier af udvalgte kritiske netområder
 - Analysere risiko for interaktioner mellem flere anlæg tilsluttet lokalt
- Diverse dynamiske studier – ved implementering af anlægsmodeller sikres løbende kontrol af u hensigtsmæssige risici
 - Revisionsberegninger
 - Store netændringer
 - Opfølgning på hændelser.

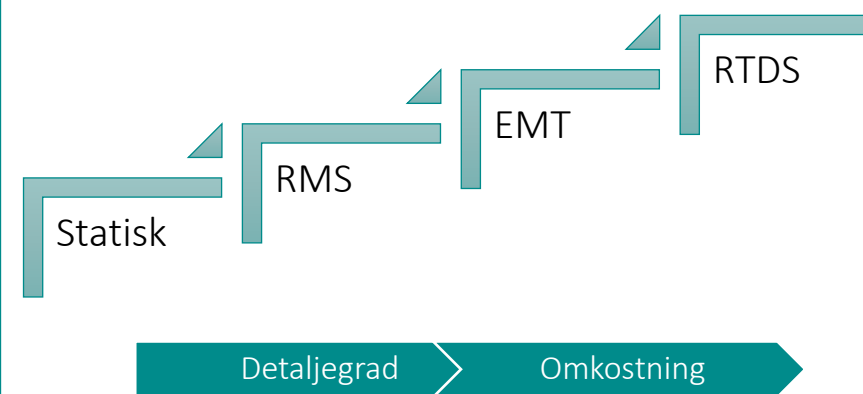
MODELVÆRKTØJER

Modelværktøjer Energinet anvender

- Energinet udvikler og vedligeholder en række simuleringsmiljøer, repræsentative for det danske elforsyningssystem
- Disse simuleringsmodeller er et primært værktøj til at forudsige elforsyningssystemets opførsel
- Ændringer i elforsyningssystemet driver et behov for mere komplekse simuleringsmiljøer og nye modeller
- Forskellige typer af simuleringsværktøjer og modeltyper kombineres for at give tilstrækkelig sikkerhed samt effektivitet.



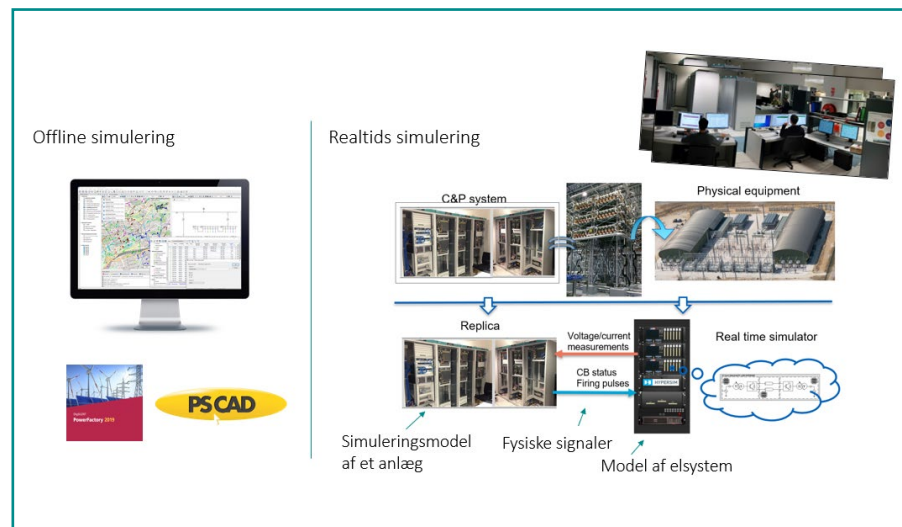
Simuleringsmiljøer



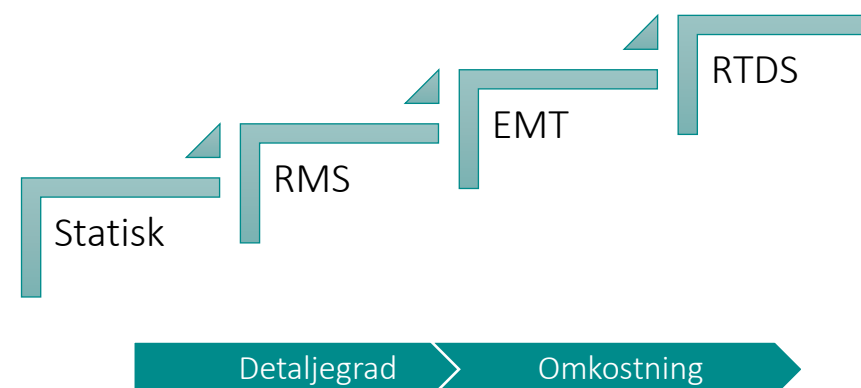
MODELVÆRKTØJER

Hvilke modelværktøjer anvender Energinet

- Historisk set har primært statiske og RMS-modeller været anvendt til at udføre dynamiske analyser på systemniveau.
- Dog ses et stigende behov for EMT-modeller til systemstudier. Derfor kræver Energinet disse fra nogle anlægstyper.
- Denne udvikling ses også hos mange andre TSO'er, og nogle kræver endda RTDS (kontrol-replica) for store HVDC-tilsluttede anlæg.



Simuleringsmiljøer



HÆNDELSE I ENGLAND

- Den 9. august 2019 i England slår et lyn ned i en 400 kV-ledning, og der tabes 1800 MW produktion
- 1 million elforbrugere afkobles, og elsystemet reddes fra kollaps
- Ørsted konkluderer, at Hornsea udkobler:
 - *“...pga. en ikke tilstrækkelig dæmpet elektrisk resonans i det subsynkrone frekvensområde”.*



Odessa Disturbance

Texas Events: May 9, 2021 and June 26, 2021
Joint NERC and Texas RE Staff Report

September 2021

RELIABILITY | RESILIENCE | SECURITY



3353 Peachtree Road NE
Suite 600, North Tower
Atlanta, GA 30326
404-446-2560 | www.nerc.com

ODESSA

- Den 9. maj opstår en fejl tæt ved en generator i Odessa, Texas.
- Utsigtet udkobling af en lang række anlæg, herunder særligt solanlæg
- NERC konkluderer, at EMT-modeller er en nødvendighed for alle nye nettilsluttede solanlæg.

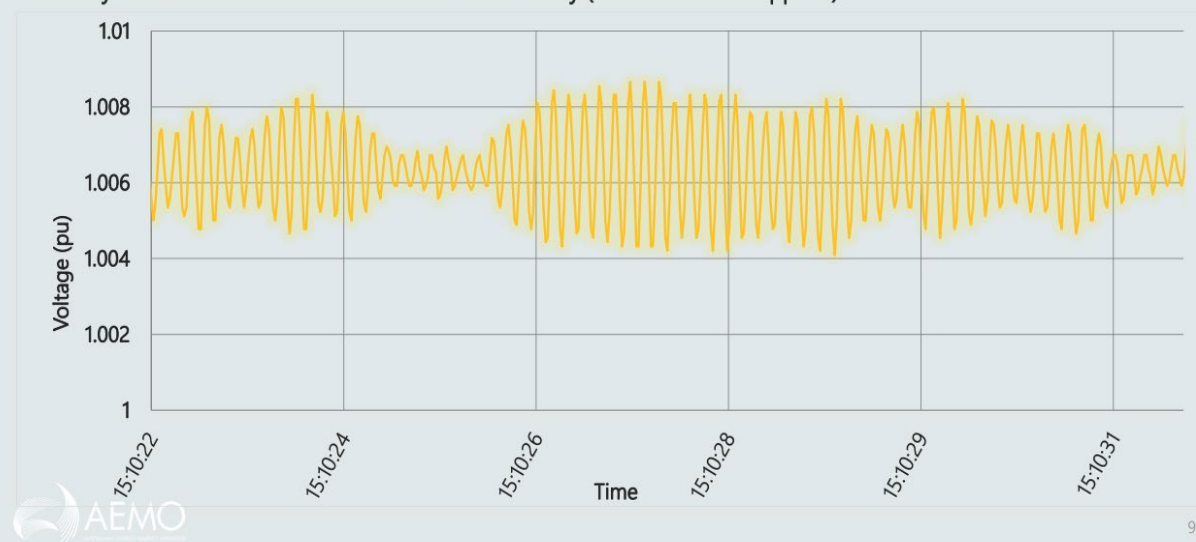
Table ES.1: Reductions of Output by Unit Type

Plant Type	Reduction [MW]
Combined Cycle Plant	192
Solar PV Plants	1,112
Wind Plants	36
Total	1,340

HÆNDELSE I AUSTRALIEN

- Fem australske solanlæg med en samlet kapacitet på 370 MW har været begrænset til 50 % i otte måneder
- *“Identificerede, ikke tidligere set tekniske udfordringer der påvirkede elsystemets performance og driftsmæssige stabilitet”, AEMO*
- *“Hændelsen har forsinket nettilslutning af flere solkraftværker i området”, AEMO*
- Årsagen til den nødvendige udkobling af anlæggene var ustabil inverter-drift.

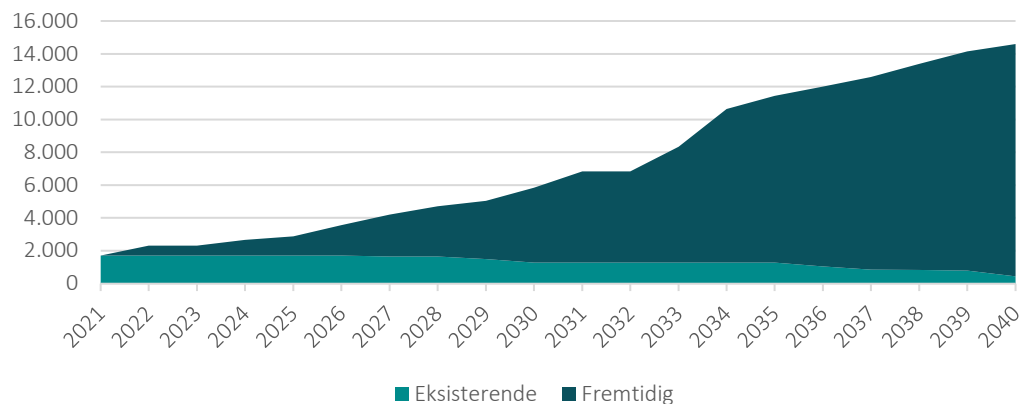
Actual system test 220 kV 30 November in West Murray (50% constraints applied)



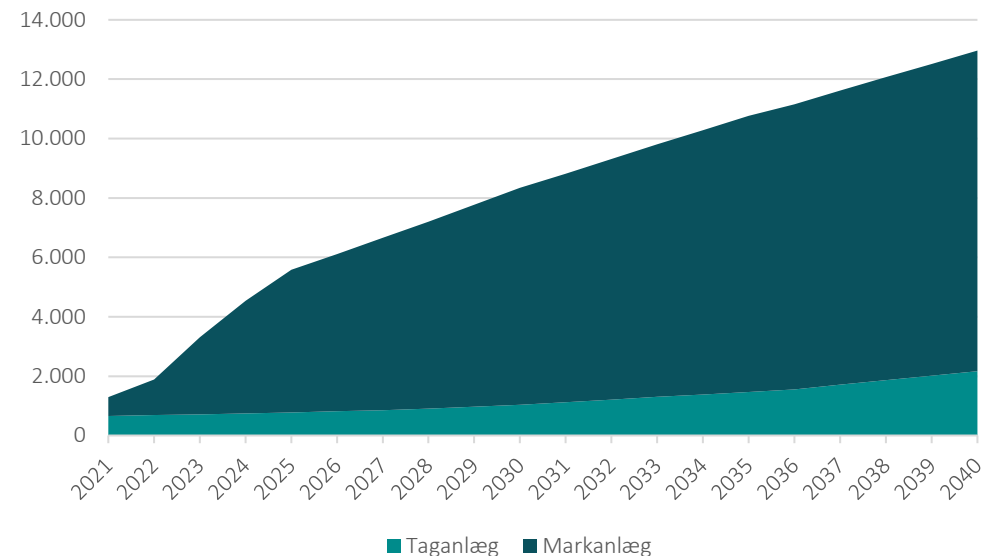
UDVIKLING I DANMARK

Analyseforudsætninger 2021 (AF21)

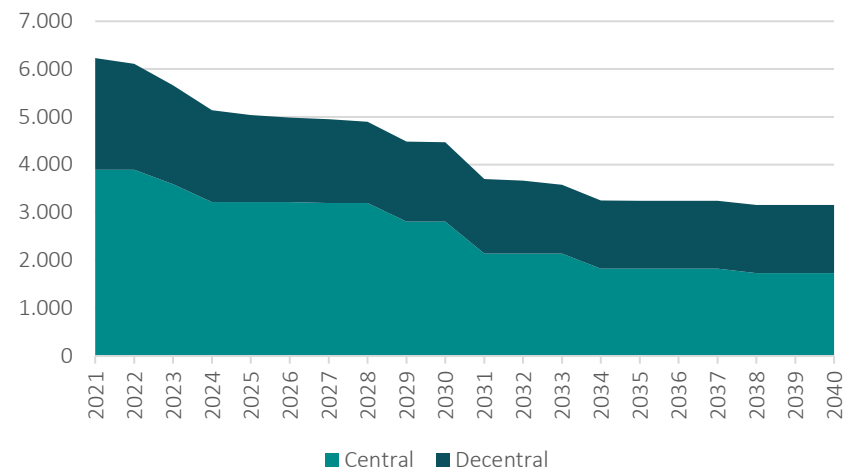
Samlet havvindkapacitet iflg. Analyseforudsætninger AF21 (MW)



Samlet solcellekapacitet (MW)



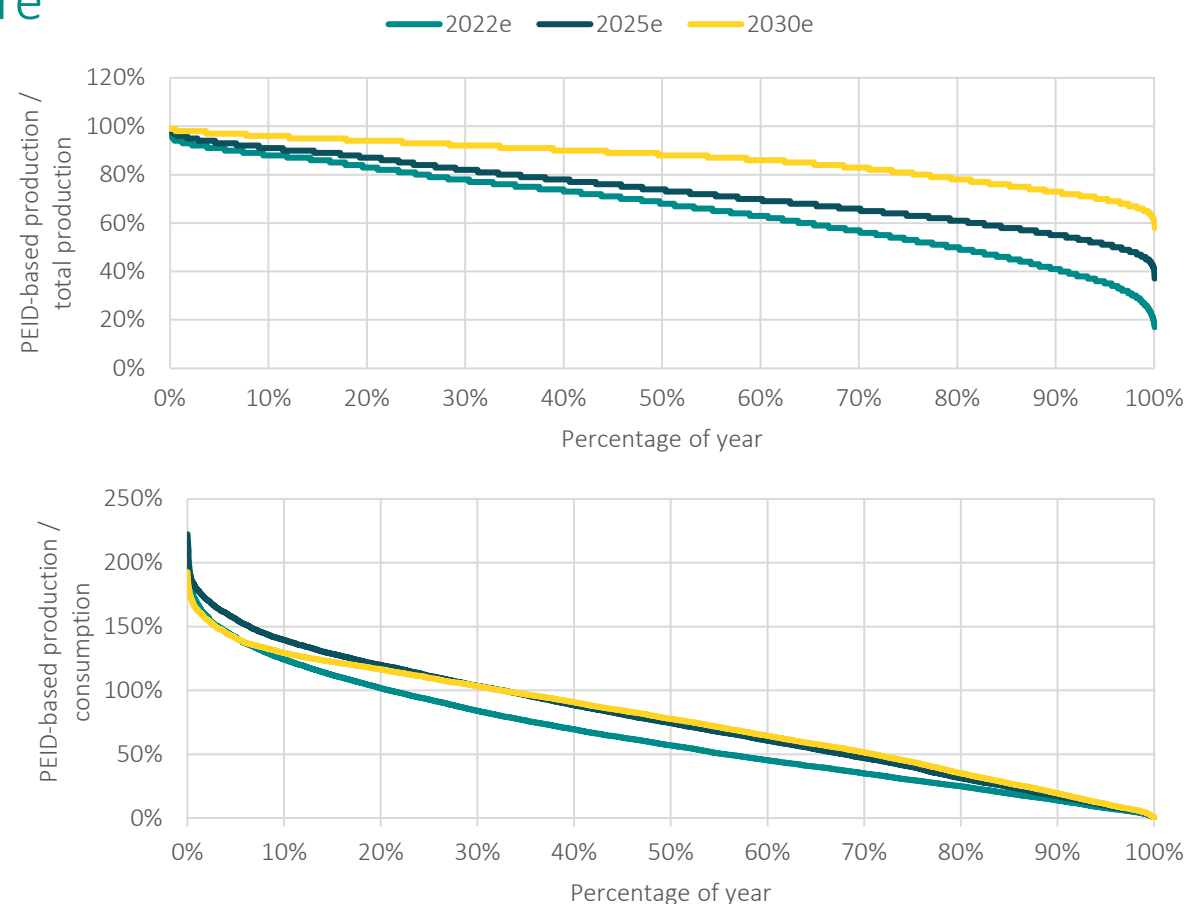
Termisk elkapacitet (MW)

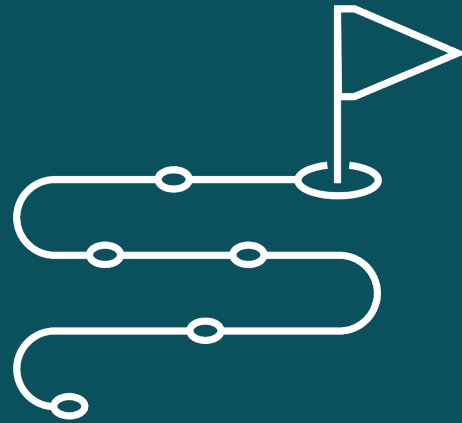


UDVIKLING - OPSUMMERING

Hurtigt udviklende elforsyningssystem stiller store krav til TSO

- Verden over ses en stigning i kritiske hændelser, hvor anlæg tilsluttet via effektelektronik er involveret.
- Mængden af effektelektroniktilsluttede anlæg er stigende i det danske elforsyningssystem.
- Konklusionen er generelt, at:
Detaljerede systemstudier med nøjagtige EMT-modeller er nødvendige for at opdage og mitigere kritiske risici.



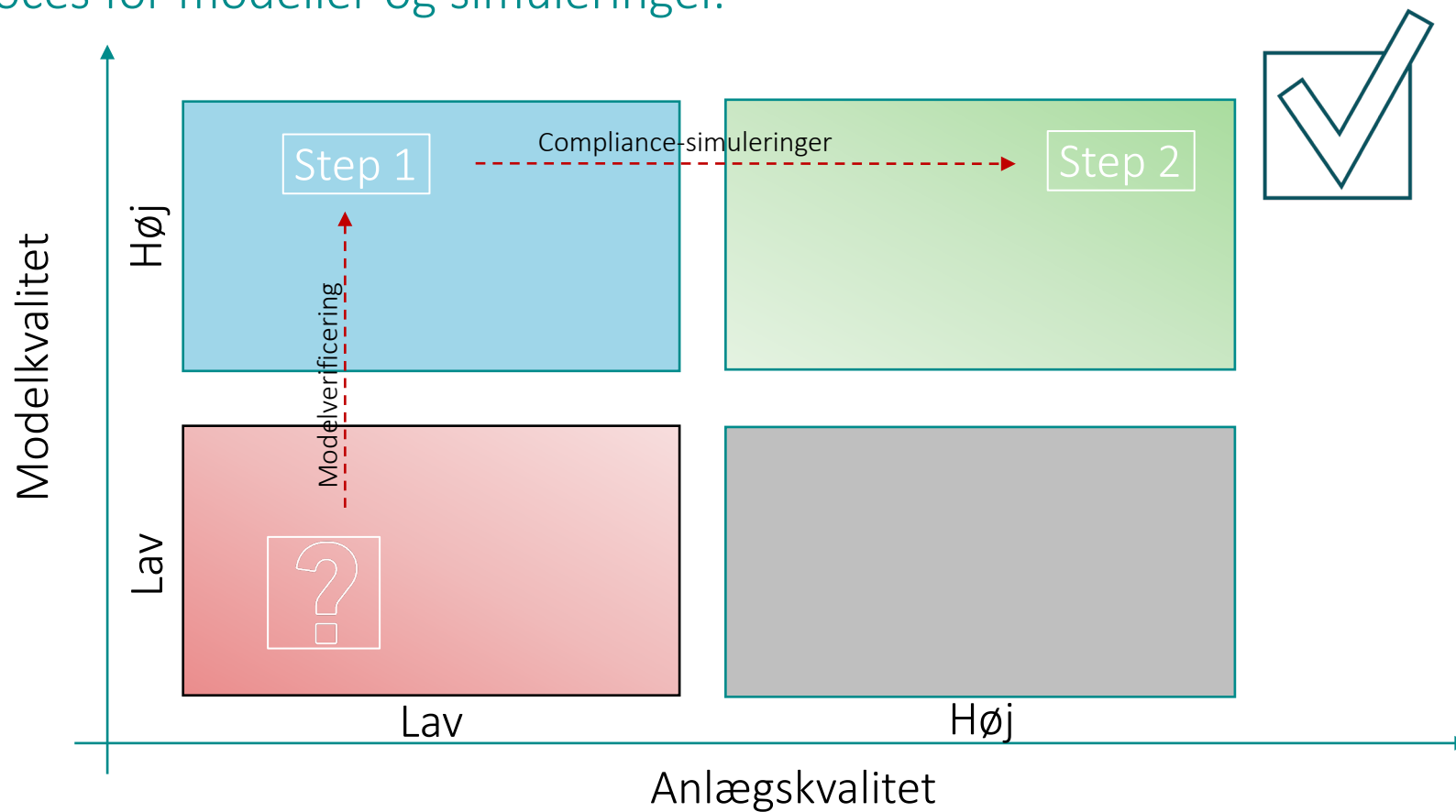


TILSLUTNINGSPROCES

Model- og simuleringsleverancer

MODELKVALITET vs. ANLÆGSKVALITET

Formål med proces for modeller og simuleringer.



NETTILSLUTNINGSPROCES – RFG/DCC

Tilslutning i transmissionssystemet

EON (energization operational notification)

- Anlægsejer kan spændingssætte anlægget.



Energinet

Afklaring af krav
i POC



ION (interim operational notification)

- Anlægsejer kan drive anlægget og producere/forbruge effekt i en begrænset tidsperiode
- Formålet er at udføre test på anlægget
- Maksimum længde: 24 måneder.



FON (final operational notification)

- Kræver fuld compliance, opdaterede data, analyser og simuleringermodeller
- Anlægsejer kan drive anlægget og producere/forbruge effekt.

FON

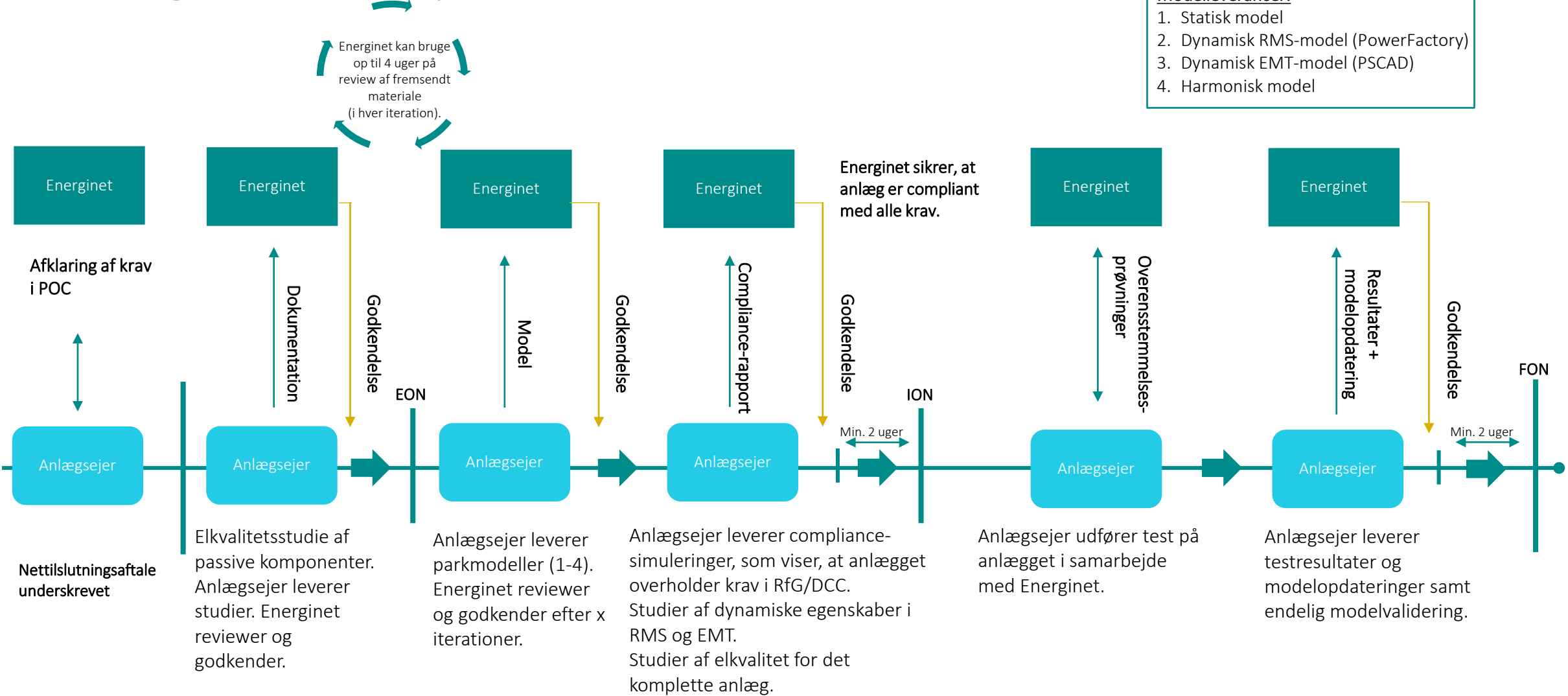
Anlægsejer

Nettilslutningsaftale
underskrevet

PROJEKTTIDSLINJE – ANSVARSFORDELING

Tilslutning i transmissionssystemet

- Modelleverancer:**
1. Statisk model
 2. Dynamisk RMS-model (PowerFactory)
 3. Dynamisk EMT-model (PSCAD)
 4. Harmonisk model

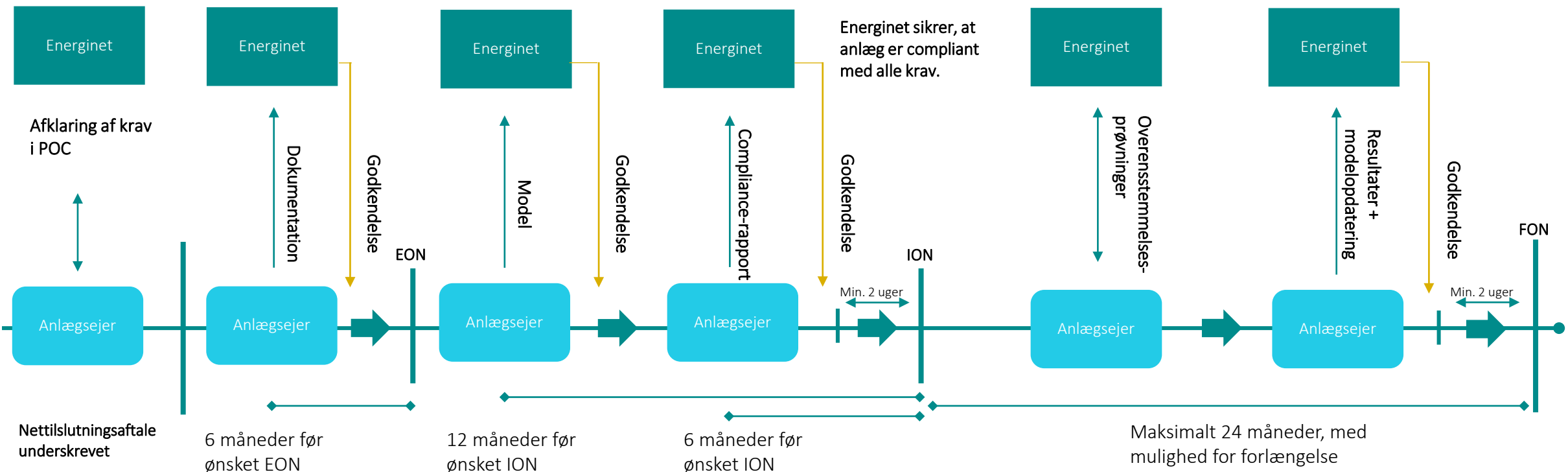


PROJEKTTIDSLINJE – ANBEFALET PLANLÆGNING

Tilslutning i transmissionssystemet

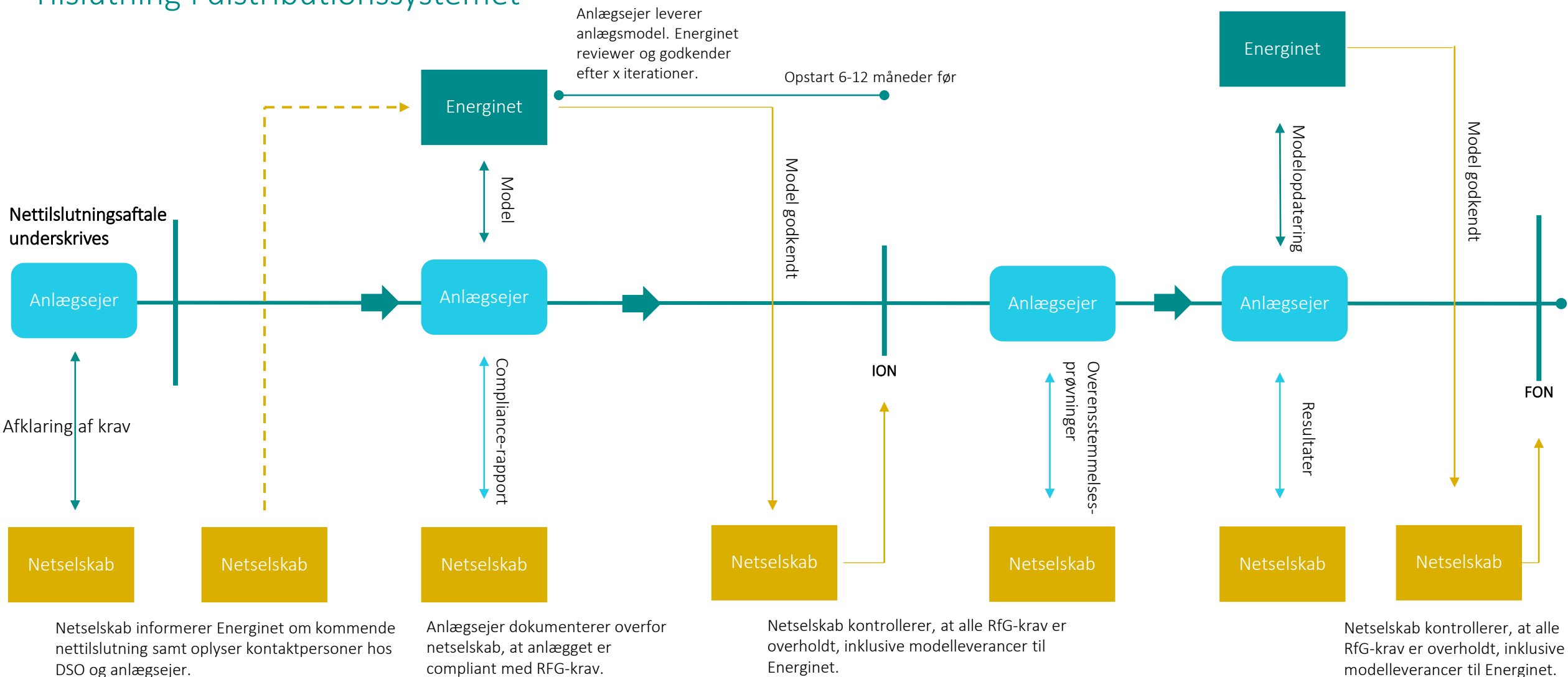
- Modelleverancer:**
1. Statisk model
 2. Dynamisk RMS-model (PowerFactory)
 3. Dynamisk EMT-model (PSCAD)
 4. Harmonisk model

Energinet kan bruge op til 4 uger pr. iteration. Erfaring viser, at 3 iterationer er gennemsnit. 4 uger * 3 (modelgodkendelse) + 4 uger * 3 (godkendelse af simuleringsrapport) = 24 uger (Ikke medregnet tid mellem leverancer til Energinet).



PROJEKTTIDSLINJE + ANSVARSFORDELING

Tilslutning i distributionssystemet



REVIEW AF LEVERANDØRMODEL

Mange henvendelser/spørgsmål går direkte på godkendelse af leverandørmodeller

- Energinet stiller ikke krav om, at modeller af specifikke leverandørkomponenter godkendes individuelt
- Energinets krav til simuleringsmodeller går udelukkende på krav til den samlede parkmodel.

REVIEW AF LEVERANDØRMODEL

Mange henvendelser/spørgsmål går direkte på godkendelse af leverandørmodeller

- Energinet har indtil videre lavet review af leverandørmodeller af flere årsager:
 - Anlæg kan ikke valideres park-specifikt før drift, og modelvalidering foregår derfor ud fra typetest af aktive komponenter
 - Dette gør eksempelvis inverter-modellen i PV-anlæg helt central for, om den samlede parkmodel kan godkendes
 - Mange nye aktører anvender samme leverandør
 - Stor usikkerhed om modelkrav
 - Krav om open source-modeller
 - Alt dette resulterer i, at Energinet har udført model-review for leverandørmodeller i tæt samarbejde med leverandørerne.

REVIEW AF LEVERANDØRMODEL

Mange henvendelser/spørgsmål går direkte på godkendelse af leverandørmodeller

- Anlægsejer kan selv reviewe modeller fra leverandører forud for aflevering af parkmodeller til Energinet
- Energinet forventer, at der over tid vil blive et mindre behov for review af leverandørmodeller, da anlægsejere i større grad håndterer denne del selv:
 - Energinet arbejder på at opdatere både RfG og vejledninger med henblik på at gøre krav lettere at overskue
 - Leverandørmodellerne er nødvendige i designfasen for at sikre, at anlægget er dimensioneret korrekt og overholder alle krav
 - I sager, hvor byggefasen går meget hurtigt, kan anlægsejer efterspørge modeller forud for køb af komponenter
- Krav om open source-modeller kan være en undtagelse:
 - Kan være nødvendigt, at leverandør sender modeller direkte til os.

SPØRGSMAÅL



A decorative graphic on the left side of the slide, consisting of a complex network of thin, grey lines forming a series of interconnected triangles and polygons, resembling a wireframe or a mesh structure.

MODELDETALJER

Statiske, RMS-, EMT- og harmoniske modeller

Indhold

RMS- og EMT-modeller



Generelle krav til RMS- og EMT-modeller med fokus på

- Simuleringsværktøjer og implementering
- Modeltekniske krav
- Dokumentation
- Open source-/black box-modeller

REFERENCER

Referencer	Beskrivelse
RfG Bilag 1B Krav til simuleringsmodeller, revision 2	Krav til elproducerende anlæg Tilgængelig på Energinets hjemmeside
DCC – Bilag 1D - Godkendt - Simuleringsmodel	Krav til elforbrugende anlæg Tilgængelig på Energinets hjemmeside

GENERELLE KRAV TIL SIMULERINGSMODELLER

Fra RfG bilag 1B:

Produktionsanlægstype	Synkrone produktionsanlæg	Asynkrone produktionsanlæg
Type A	Intet krav om simuleringmodel	Intet krav om simuleringmodel
Type B	Intet krav om simuleringmodel	Intet krav om simuleringmodel
Type C, når den nominelle aktive effekt ≥ 10 MW	Stationær simuleringmodel RMS-simuleringmodel	Stationær simuleringmodel RMS-simuleringmodel
Type D	Stationær simuleringmodel RMS-simuleringmodel	Stationær simuleringmodel RMS-simuleringmodel EMT-simuleringmodel Harmonisk simuleringmodel

Tabel 1 Krav til simuleringmodeller for de enkelte typer af produktionsanlæg

Fra DCC bilag 1D:

Forbrugsanlæg og distributionssystemtype	Modelkrav
Transmissionstilsluttet distributionssystem - Anlægskategori 1	Stationær simuleringmodel Harmonisk simuleringmodel
Transmissionstilsluttet forbrugsanlæg - Anlægskategori 3	Stationær simuleringmodel
Transmissionstilsluttet forbrugsanlæg - Anlægskategori 4	Stationær simuleringmodel RMS-simuleringmodel Harmonisk simuleringmodel
Transmissionstilsluttet forbrugsanlæg - Anlægskategori 5	Stationær simuleringmodel
Transmissionstilsluttet forbrugsanlæg - Anlægskategori 6	Stationær simuleringmodel

Tabel 1 Krav til simuleringmodeller opdelt på forbrugsanlæg og distributionssystemtyper

GENERELLE KRAV TIL SIMULERINGSMODELLER

Fra RfG bilag 1B:

Produktionsanlægstype	Synkrone produktionsanlæg	Asynkrone produktionsanlæg
Type A	Intet krav om simuleringmodel	Intet krav om simuleringmodel
Type B	Intet krav om simuleringmodel	Intet krav om simuleringmodel
Type C, når den nominelle aktive effekt ≥ 10 MW	Stationær simuleringmodel RMS-simuleringmodel	Stationær simuleringmodel RMS-simuleringmodel
Type D	Stationær simuleringmodel RMS-simuleringmodel	Stationær simuleringmodel RMS-simuleringmodel EMT-simuleringmodel Harmonisk simuleringmodel

Tabel 1 Krav til simuleringmodeller for de enkelte typer af produktionsanlæg

Fra DCC bilag 1D:

Forbrugsanlæg og distributionssystemtype	Modelkrav
Transmissionstilsluttet distributionssystem - Anlægskategori 1	Stationær simuleringmodel Harmonisk simuleringmodel
Transmissionstilsluttet forbrugsanlæg - Anlægskategori 3,4,7	Stationær simuleringmodel RMS-simuleringmodel Harmonisk simuleringmodel EMT-simuleringmodel
Transmissionstilsluttet forbrugsanlæg - Anlægskategori 5	Stationær simuleringmodel RMS-simuleringmodel EMT-simuleringmodel
Transmissionstilsluttet forbrugsanlæg - Anlægskategori 6	Stationær simuleringmodel

*Fra DCC-simuleringmodelbilaget i udgaven i igangværende høring.

GENERELLE KRAV TIL SIMULERINGSMODELLER

- Anlægsejeren skal stille simuleringsmodeller til rådighed for den systemansvarlige virksomhed [1], hvor disse simuleringsmodeller på korrekt vis skal afspejle anlæggets egenskaber både i stationær og quasi-stationær tilstand
- Til brug ved tidsdomæneanalyser skal anlægsejeren desuden stille en dynamisk simuleringsmodel (RMS-model) og en eventuel transient simuleringsmodel (EMT-model) til rådighed for den systemansvarlige virksomhed
- Til analyse af harmoniske forhold i det kollektive elforsyningsnet, herunder anlæggets bidrag til harmonisk emission i nettilslutningspunktet, skal anlægsejeren ligeledes stille en harmonisk simuleringsmodel til rådighed.

SIMULERINGSVÆRKTØJ - STATISK & RMS

- Modellen skal leveres implementeret i den seneste udgave af simuleringsværktøjet DigSilent PowerFactory. Den anvendte modelimplementering
 - Skal benytte de indbyggede netkomponentmodeller og standardprogrammeringsfunktioner
 - Må ikke forudsætte anvendelse af særlige indstillinger for eller afvigelser fra standardindstillingerne for simuleringsværktøjets numeriske ligningsløser eller på anden måde forhindre integration mellem den af anlægsejeren leverede simuleringsmodel og en større net- og systemmodel, som anvendt af den systemansvarlige virksomhed.

SIMULERINGSVÆRKTØJ - EMT

- Modellen skal leveres implementeret i PSCAD/EMTDC i softwareversionen fastsat af den systemansvarlige virksomhed
 - Skal kunne benyttes med Intel Fortran fra version 12 til og med senest udgivne på datoen for kontraktunderskrivning mellem anlægsejer og producenten af produktionsenheden.

MODELTEKNISKE KRAV

Statiske, RMS- og EMT-modeller

- Modellen skal kunne repræsentere
 - Anlægget under alle relevante netforhold, hvor anlægget skal kunne drives
 - Anlæggets stationære og dynamiske egenskaber ifm. setpunktsændringer og hændelser.

<u>Eksempler på hændelser</u>	Beskrivelse
Anlægsnære fejl	Forskellige fejltyper i nettilslutningspunktet
Spændingsforstyrrelser	Momentan ændring af spændingen i nettilslutningspunktet

MODELTEKNISKE KRAV

RMS-modeller

- RMS-modellen skal bl.a.
 - Kunne udnytte numeriske ligningslødere med variable tidsskridt i intervallet 1 til 10 ms
 - Være numerisk stabil ved gennemførelse af en simulering på minimum 60 sekunder uden påtrykning af et hændelsesforløb eller ændring af randbetingelser (flat-run).

EMT-modeller

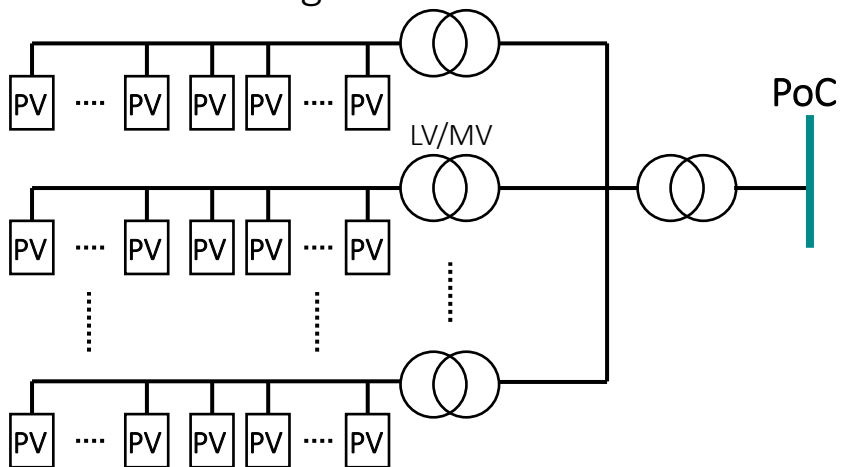
- EMT-modellen skal bl.a.
 - Valideres for simuleringer ved forskellige tidsskridt samt indeholde beskrivelse af højest mulige tidsskridt i brugervejledningen.

MODELTEKNISKE KRAV

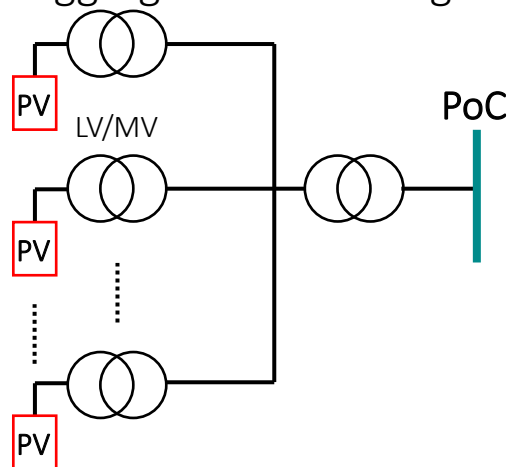
Aggregering af statiske, RMS- og EMT-modeller

- Ved aggregering af anlæg i simuleringmodellen skal denne kunne repræsentere anlæggets egenskaber i nettilslutningspunktet på samme måde som den fulde simuleringmodel
- Det er op til anlægsejer at argumentere for, at aggregeringsmetoden er retvisende.

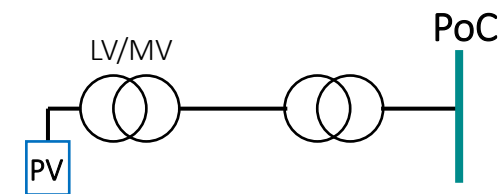
Fuld simuleringmodel



Semi-aggregeret simuleringmodel



Aggregeret simuleringmodel



DOKUMENTATION

Statiske, RMS- og EMT-modeller

Simuleringsmodellerne kan ikke blot leveres alene. De skal understøttes af (bl.a.)

- Modelbeskrivelser
 - Parametre for de enkelte modelkomponenter
 - Indgangs- og udgangssignaler (aktiv/reaktiv effekt, setpunkter for spændingsregulering inklusive anvendt droop m.m.)
- Brugervejledning med beskrivelse af modelbegrænsninger
 - Omfatter også modelantagelser, og hvordan modellerne anvendes (fx hvordan reguleringsfunktioner ændres i modellen)
- Verifikationsrapport for modellerne
 - Hvordan EMT-modellen fx valideres (fx typetest af en invertermodele foretaget af leverandøren).

OPEN SOURCE-/BLACK BOX-MODELLER

RMS-modeller

- Som udgangspunkt skal en komplet simuleringsmodel med open source-modeller leveres.
- Der kan dog være situationer, hvor anlægsejer ikke har adgang til open source-modeller fra leverandøren af de elproducerende eller -forbrugende enheder.

EMT-modeller

- Det tillades, at EMT-modellen indeholder prækompilerede og krypterede dele.

EKSTRA DETALJER

Stationær simuleringsmodel (kan leveres sammen med RMS-model)

- Model indeholder hovedkategorier for produktion- og forbrugsenheder
 - Produktion: alle forskellige produktionsenheder
 - Forbrug: enheder, som udgør 20% af det nominelle aktive effektforbrug
- Aggregeret model for identiske produktions- og forbrugsenheder
- Aktiv og reaktiv effekt angives i pu
- Indeholder driftsområde for aktiv og reaktiv effekt
- Spændings- og frekvensafhængighed inkluderes
- Modeller kan anvendes til symmetriske og asymmetriske hændelser og fejl, fx statiske kortslutningsberegninger
- Implementeres i DIgSILENT Powerfactory.

EKSTRA DETALJER

Dynamisk simuleringsmodel (RMS)

- Separat repræsentere hovedkategorier af komponenter
- Aggregeret model for identiske produktions- og forbrugsenheder
- Regulerings-, beskyttelses- og genindkoblingsfunktioner inkluderes
- Kan anvendes ved symmetriske og asymmetriske fejl
- Kan initialiseres på baggrund af et enkelt balanceret og ubalanceret load flow
- Benyttes i områder mellem 47,5 og 51,5 Hz, samt mellem 0,0 og 1,4 pu
- Modeller kan simuleres over 60 sek. med 1 – 10 ms tidsskridt
- Ikke indeholde krypterede eller kompilerede dele
- Implementeres i DIgSILENT Powerfactory.

EKSTRA DETALJER

Transient simuleringsmodel (EMT)

- Separat repræsentere hovedkategorier af komponenter
- Aggregeret model for identiske produktion- og forbrugsenheder
- Regulering, kontrol og beskyttelsesfunktioner indeholdes
- EMT-model må indeholde prækompilerede og krypterede dele, men skal være DLL-baseret
- EMT-model skal være kompatibel med Energinets simuleringsmiljø
- Modellen skal kunne initialiseres på maksimalt 3 sekunders simuleringstid
- Modellen skal kunne vise funktioner flere gange i samme PSCAD-simuleringsfil
- Kan anvendes ved symmetriske og asymmetriske fejl
- Modellen skal understøtte snapshot- og multiple run-funktioner
- Modellen må ikke bruge globale variabler
- PSCAD/EMTDC version 4.6.3 og nyere.

HARMONISK SIMULERINGSMODEL

FORMÅLET MED HARMONISKE MODELLER

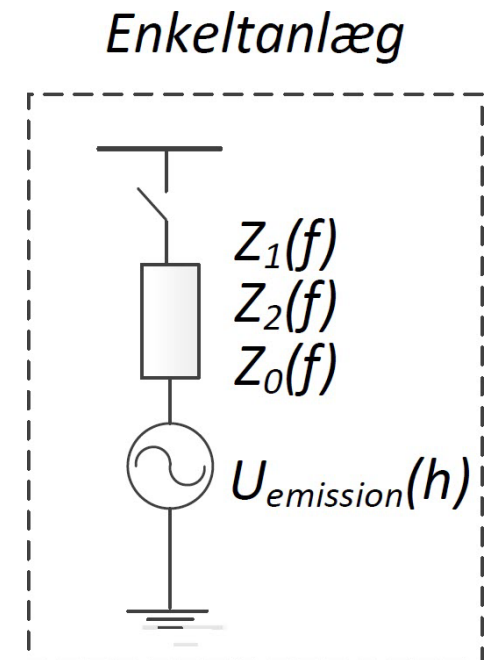
- Analyse af harmonisk forvrængning ved fremtidig netudvikling
- Frekvensanalyser, som danner grundlag for elkvalitetskrav samt muliggør konverterinteraktionsstudier
- Supplerende analyseværktøjer til målekampagner ifm. overskridelser af de harmoniske grænseniveauer for spændingsforvrængning.

HARMONISK ENKELTANLÆGSMODEL

Thévenin-ækvivalent inkluderer:

- Heltals harmonisk emission som RMS
- Synkronsekvensimpedans
- Inverssekvensimpedans
- Nulsekvensimpedans

- Harmonisk orden h fra 2. til 50. harmoniske orden
- Frekvens f fra 50 Hz til 2500 Hz med 1 Hz opløsning.



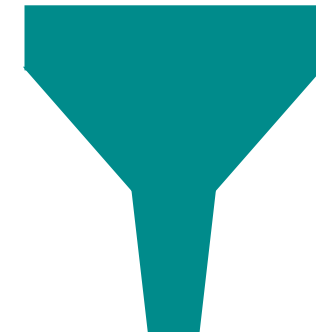
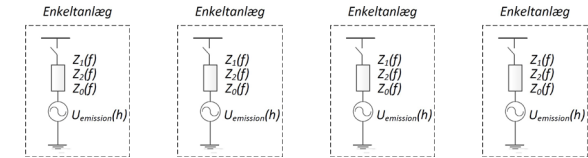
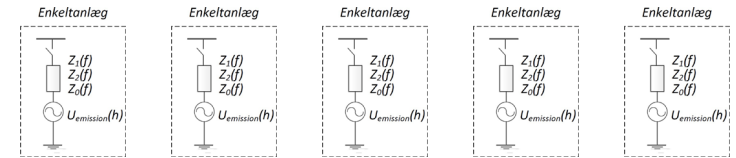
AGGREGERET HARMONISK MODEL

Hvis det samlede anlæg består af flere enkeltanlæg, kræves aggregering til PoC-niveau.

Thévenin-ækvivalent inkluderer:

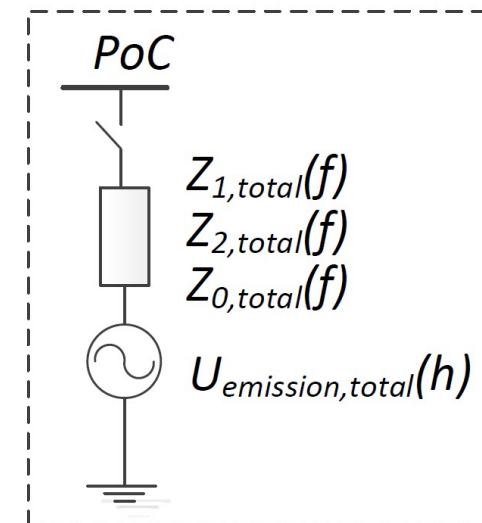
- Heltals harmonisk emission som RMS
- Synkronsekvensimpedans
- Inverssekvensimpedans
- Nulsekvensimpedans

- Harmonisk orden h fra 2. til 50. harmoniske orden
- Frekvens f fra 50 Hz til 2500 Hz med 1 Hz opløsning.



Aggregeret

Anlægs ejer skal vælge passende metode for aggregering.



AFHÆNGIGHED AF ARBEJDSPUNKT

Aktiv effekt:

- ❑ *“Såfremt det produktions-/forbrugsanlægs emission eller impedanser er afhængige af anlæggets arbejds punkt, skal modellen leveres ved tre effektområder ved nominel spænding og nul reaktiv effekt: $P = 0,0 \text{ pu}$, $P = 0,5 \text{ pu}$ og $P = 1,0 \text{ pu}$.”*

Reaktiv effekt:

- ❑ *“Derudover skal det beskrives, hvordan reaktiv effekt påvirker den harmoniske emission og impedans.”*

MODELLEVERANCE OG ØVRIG DOKUMENTATION

- ❑ *“Desuden skal anlægsejeren levere en model opsat med højeste emission pr. harmoniske; hvor dette er gældende både for den aggregerede samt enkeltanlægsmodellen.”*
- ❑ *“Det er anlægsejerens ansvar at specificere en metode for summering af emission fra flere produktions-/forbrugsanlæg.”*
- ❑ *“Data for netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen, skal have et omfang og et detaljeringsniveau, som muliggør opbygning af en komplet frekvensafhængig simuleringsmodel i frekvensområdet 50 Hz til 2500 Hz. Dette inkluderer opsamlingskabler, transformere, filtre m.m.”*

Modelleverancens format kan både være tabelbaseret data (EXCEL-ark) eller PowerFactory-model.

SPØRGSMAÅL





CASE-EKSEMPLER

Produktion, forbrug og energilager

LEVERANCER

RFG og DCC kat. 3-5 og 7

EON

- Elkvalitetsstudie af passive komponenter samt tilhørende dokumenter. (ekskl. DCC kat. 5).

ION

- Harmonisk model for enkeltenheder og aggregeret anlægsmodel samt tilhørende dokumenter (ekskl. DCC kat. 5)
- Verifikationsrapport for RMS- og EMT-models typetest (komponentniveau)
- RMS- og EMT-aggregerede anlægsmodeller
- Brugervejledning til modeller
- Compliance-rapport.

FON

- Overensstemmelsesprøvninger af elkvalitet foretaget af Energinet (ekskl. DCC kat. 5)
- Verifikationsrapport for overensstemmelsesprøvninger, som beviser, at fysiske anlæg overholder gældende krav
- Opdaterede RMS- og EMT-modeller med anlægsspecifik tuning og verifikationsrapport.



ASYNKRONE PRODUKTIONSANLÆG

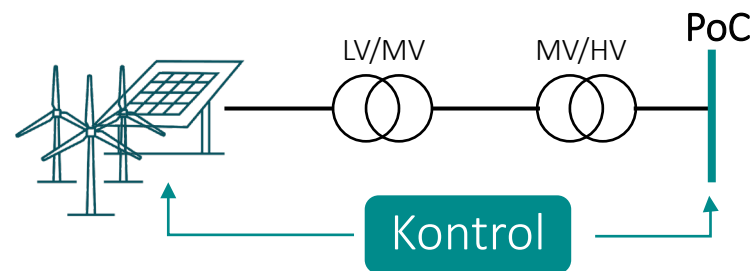
Type D-tilsluttede sol- og vindanlæg

RMS- OG EMT-MODEL

Sol- og vindanlæg

Model skal indeholde:

- Energikilde
- Kabler
- Transformer
- Parkkontrol
- Kontrol af aktive komponenter
- Kontrol af tapchanger / evt. shunt-komponenter
- Beskyttelse i POC.



Net-
ækvivalent

Dette er ikke et udtømmende eksempel.

Generelt skal modellen indeholde alle komponenter / funktioner, der har betydning for parkens respons målt i POC, i forbindelse med setpunktændringer eller forstyrrelser i det kollektive elforsyningsystem.

RMS- OG EMT-MODEL

Sol- og vindanlæg

For PV indeholder RMS-model:

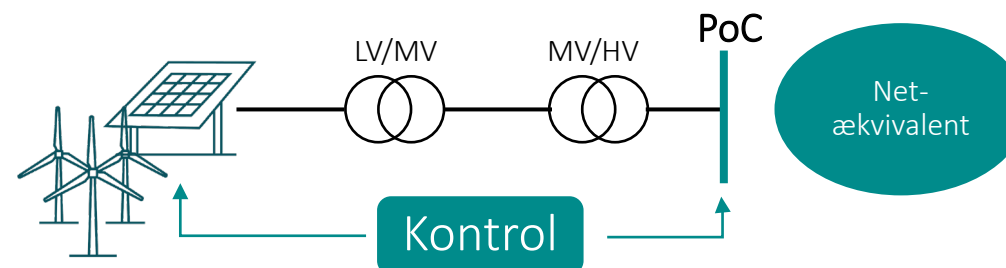
- DC/AC inverter, detaljeret til current control.

For PV indeholder EMT-model:

- DC/AC inverter, detaljeret til switching / average model
 - Afhænger af switching-frekvens
- DC link
- DC/DC converter
- PV-paneler.

Dette er ikke et udtømmende eksempel.

Generelt skal modellen indeholde alle komponenter / funktioner, der har betydning for parkens respons målt i POC, i forbindelse med setpunktsændringer eller forstyrrelser i det kollektive elforsyningsystem.



RMS- OG EMT-MODEL

Sol- og vindanlæg

For vind indeholder RMS-model:

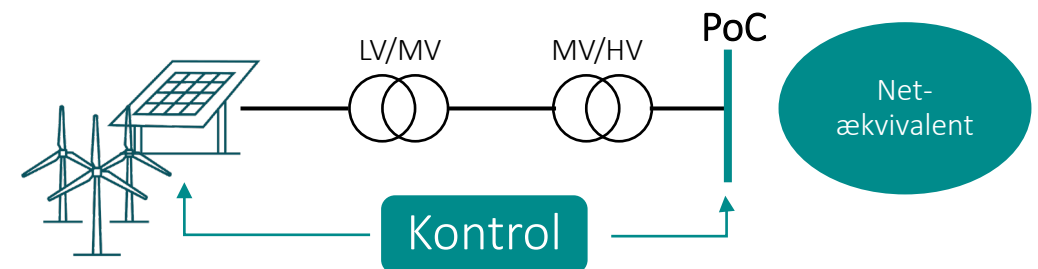
- DC/AC inverter, detaljeret til current control
- Mekanisk del
- Pitch angle.

For vind indeholder EMT-model:

- DC/AC inverter, detaljeret til switching / evt. average model
 - Afhænger af switching-frekvens.
- DC link
- AC/DC converter
- Generator
- Mekanisk svingningsmassemodel for produktionsanlæggets drivtø.

Dette er ikke et udtømmende eksempel.

Generelt skal modellen indeholde alle komponenter / funktioner, der har betydning for parkens respons målt i PoC, i forbindelse med setpunktsændringer eller forstyrrelser i det kollektive elforsyningsystem.





FORBRUGS- OG ENERGILAGERANLÆG

ANLÆGSKATEGORI 6

Transmissionstilsluttede forbrugsanlæg (eltog)

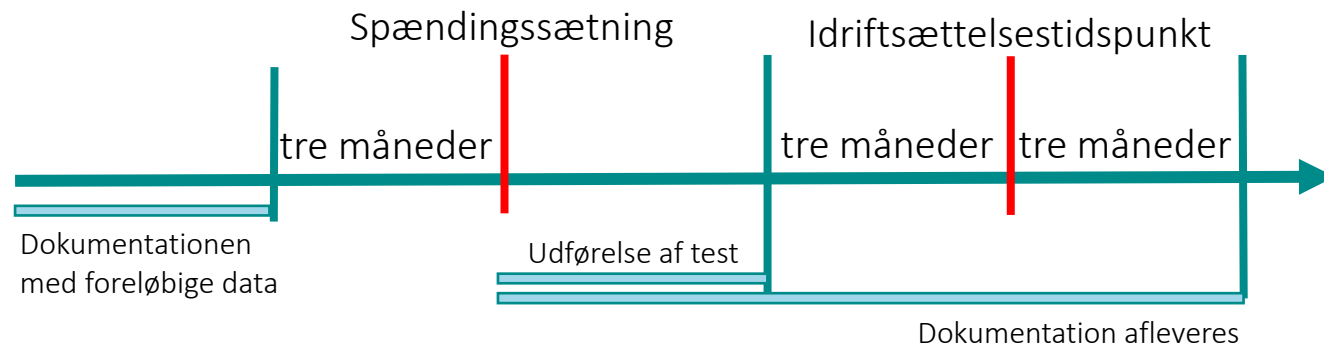
Stationær simuleringsmodel

- Belastningsprofiler for samtlige nettilslutningspunkter
- Aktiv og reaktiv effekt med en tidsopløsning på ét sekund
- Belastningsprofilernes tidsrum aftales mellem Energinet Systemansvar A/S og anlægsejerne
- Modeldata leveres i et defineret regnearksformat.

TF 3.3.1 – AFSNIT 10

Krav til simuleringsmodel for energilagring

- Dokumentationen udfyldt med foreløbige data sendes tre måneder før tidspunktet for spændingssætningstilladelsen
- Praktisk udførelse af test til verificering skal ske senest tre måneder inden idriftsættelse
- Senest tre måneder efter idriftsættelsestidspunkt skal dokumentationen for hele energilageranlægget sendes til Energinet
- Anlægssejeren stiller stationær, RMS- og EMT-model og harmonisk model til rådighed
- Brugervejledning til modelbeskrivelse
- Verificeringsrapport for RMS- og EMT-model med målingerne
- Tidsseriemålingerne anvendt til verifikation skal vedlægges i CSV-format.



Energilageranlægs-type	Krav om simuleringsmodel
A	Intet krav
B	Intet krav
C [P _n ≥ 10MW]	<ul style="list-style-type: none"> • Stationær • Dynamisk (RMS) • Harmonisk
D	<ul style="list-style-type: none"> • Stationær • Dynamisk (RMS) • Transient (EMT) • Harmonisk

RMS- OG EMT-MODEL

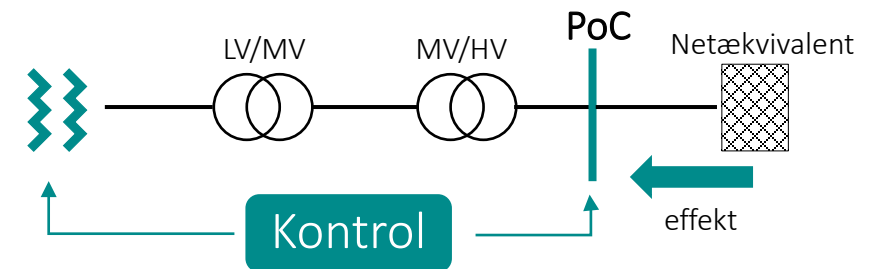
Resistivt forbrugsanlæg

Resistivt forbrug indeholder:

- Hovedforbrug komponenter
 - (større end 20% af samlet forbrug)
- Kabler
- Transformer
- Kontrol af tapchanger / evt. shunt-komponenter
- Beskyttelse i POC
- Parkkontrol (hvis relevant).

Dette er ikke et udtømmende eksempel.

Generelt skal modellen indeholde alle komponenter / funktioner, der har betydning for parkens respons målt i POC, i forbindelse med setpunktændringer eller forstyrrelser i det kollektive elforsyningsystem.



RMS- OG EMT-MODEL

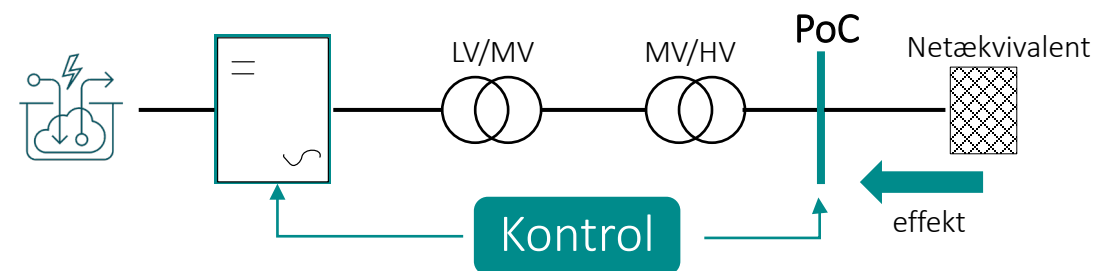
Effektelektronik-tilsluttet forbrugsanlæg

Effektelektronik-tilsluttet forbrug indeholder:

- Hovedforbrug komponenter
 - RMS: AC/DC converter, detaljeret til current control
 - EMT: AC/DC-converter, detaljeret til switching / average model
 - EMT: Hvis relevant, DC link og bagvedliggende forbrugsenhed
- Kabler
- Transformer
- Kontrol af tapchanger / evt. shunt-komponenter
- Beskyttelse i POC
- Parkkontrol.

Dette er ikke et udtømmende eksempel.

Generelt skal modellen indeholde alle komponenter / funktioner, der har betydning for parkens respons målt i POC, i forbindelse med setpunktsændringer eller forstyrrelser i det kollektive elforsyningssystem.



TAKE AWAY

- Nye krav til forbrugsanlæg Kategori 7, forbrug over 200 MW, forventes godkendt i 2022
- Nye krav til EMT-model med i den opdaterede DCC
- Krav specificerer modelleverancer ift. EON/ION/FON
- Anlægsejer skal levere modeller og tilhørende dokumenter i rette tid og i rette omfang
 - Modelbehandlingstid er typisk 4 uger pr. iteration, og flere iterationer er nødvendige
 - Godkendelse af typemodeller og anlægsmodeller.