



Norwegian University of
Science and Technology

DIGITALE TVILLINGER OG PREDIKTIVT VEDLIKEHOLD

Jørn Vatn/January 2023

Introduksjon

- ▶ En digital tvilling (DT) er en *virtuell representasjon* av et teknisk system, et produksjonsanlegg osv.
- ▶ Sentrale elementer i en DT er stordata, kunstig intelligens og simuleringer for sanntids prediksjon, overvåking, kontroll og optimalisering
- ▶ “DNV-RP-A204 Qualification and assurance of digital twins” klassifiserer en digital tvilling på en skala fra 0-5 (0-frittstående, 1-beskrivende, 2-diagnostisk, 3-prediktiv, 4-preskriptiv og 5-autonom)

Prediktivt vedlikehold handler om prediksjoner, og det er derfor viktig å nå nivå 3 i DNV-RP-A204-stigen



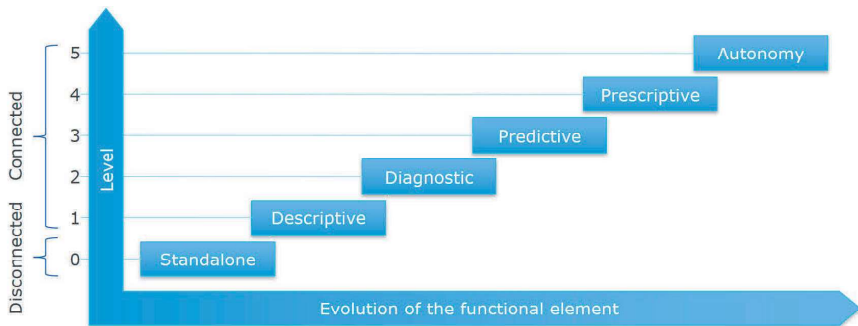
RECOMMENDED PRACTICE

DNV-RP-A204

Edition October 2020
Amended September 2021

Qualification and assurance of digital twins

DNV-RP-A204 - Utviklingstrinn og kapabiliteter



Det er behov for flere digitale tvillinger

For vedlikehold trenger vi minst:

- ▶ *Drifts-DT*: Denne DT'en inneholder operasjonelle planer, kostnad knyttet til tapt produksjon, vinduer for når vedlikehold kan utføres osv
- ▶ *Tilstands-DT*: Denne DT'en inneholder informasjon knyttet til tilstand til "hardware". Her er det både snakk om aktuell tilstand, historiske data: CMMS, SCADA, tilstandsdata osv
- ▶ *Vedlikeholdskost-DT*: Denne DT'en inneholder relevante matematiske modeller for vedlikeholdsoptimalisering med kostnadsdata og denne DT'en samhandler med Drifts-DT'en i stor grad
- ▶ *Vær-DT*: Denne DT'en kan vi kanskje kalle yr.no eller storm.no

Vi vil ikke adressere tekniske forhold ved implementering av de ulike DT'ene, men de må kunne "snakke sammen" og må kunne svare på "what-if/hva-skjer-hvis" spøringer

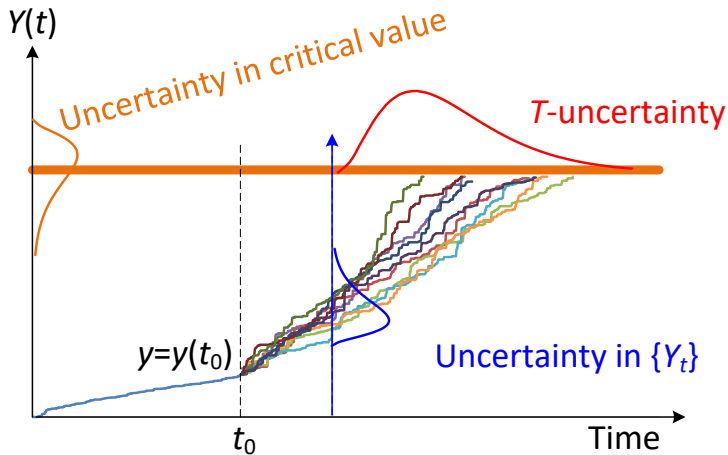
Prediktivt vedlikehold - PdM

- ▶ I motsetning til tradisjonelt kalenderbasert forebyggende vedlikehold, er hovedideen med en prediktiv vedlikeholdsstrategi å utnytte komponentens tilstand, fremtidige belastninger og vedlikeholdsvinduer for å bestemme en “just in time”-plan for vedlikehold
- ▶ Tilstandsinformasjon benyttes primært til:
 1. Tidligvarsling (anomaly detection)
 2. Diagnose, dvs å søke etter rotårsaker bak observert tilstand
 3. Prognose, dvs estimering av degraderingsrate, tid-til-svikt, gjenværende brukbar levetid (RUL) basert på relevant informasjon og annen kunnskap (Prediksjon i DNV-RP-A204 språk)
- ▶ Vi vil se litt på prognose/prediksjon i det følgende

Tilstandstvillingen

- ▶ Ved tid t_0 observerer vi tilstand til en komponent i form av en en- eller flerdimensjonal observasjonsvektor $\mathbf{y}$ ("feature vector")
- ▶ La t betegne tiden fra t_0
- ▶ La T betegne tid-til-svikt for komponenten fra t_0 , T betegnes ofte RUL = Remaining Useful Lifetime
- ▶ Gitt $\mathbf{y}$ antar vi at vi kan etablere sannsynlighetsfordelingen til T , f eks $T \sim \text{Weibul}(\alpha, \lambda)$

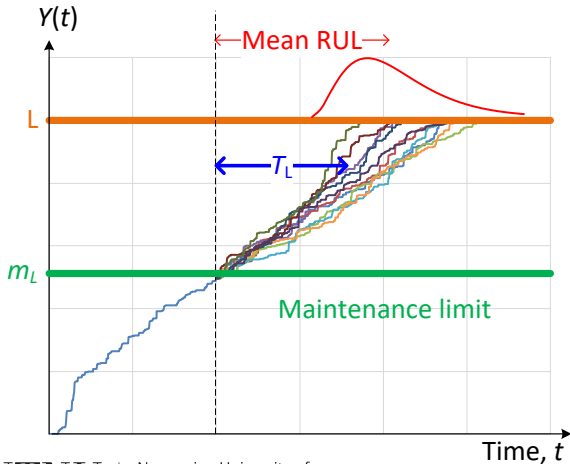
Tilstandstvillingen, forts



Condition digital twin, cont

- ▶ Prediktivt vedlikehold handler om å oppdatere tilstanden til den digital tvillingen i *sanntid*
- ▶ Så, undersøk de “andre digitale tvillingene” for å finne mulige og kostnadseffektive vedlikeholdsvinduer
- ▶ For at de digitale tvillingene kan “spille sammen” må de implementeres med relevante matematiske modeller, maskinlæringsmodeller, og/eller hybride modeller
- ▶ Det finnes mange modeller som tar inn over seg kostnader, reservedeler, logistikk, driftsplaner, tilgjengelige menneskelige ressurser osv. Det krever mye for å få disse modellene til å spille sammen
- ▶ Men “samhandlingen” mellom de digitale tvillingene er avgjørende for å kunne etablere optimale sanntids vedlikeholdsplaner

Eksempel: Wiener prosess for degradering med vedlikeholdsgrense og ledetid



Størrelser som inngår

- ▶ μ = degraderingsraten, dvs forventet degradering per dag
- ▶ σ = spredning i degradering, dvs standardavvik i degraderingen per dag
- ▶ L = sviktgrense, dvs enheten svikter første gang $Y(t) > L$
- ▶ m_L = vedlikeholdsgrense, vi skifter/fornyser enheten når vedlikeholdsgrensen nås
- ▶ T_L = ledetid, dvs tid fra fornyelse bestilles fram til den blir gjennomført

Kostnadsligning

Hold dere fast:

$$C(m_L) = \frac{c_R + c_F F(T_L | m_L) + c_U \int_0^{T_L} f(t | m_L) (T_L - t) dt}{MTBR(m_L)}$$

hvor

- ▶ c_R = Fornyelseskostnader
- ▶ $c_F = c_{CM} + c_T$ = sviktkostnader (tilleggs kostnader for **korrigerende vedlikehold** (CM) og kost for selve svikten ($T=Trip$))
- ▶ c_U = nedetidskostnad per dag
- ▶ $F()$ og $f()$ er CDF og PDF for RUL gitt vedlikeholdsgrensen m_L
- ▶ $MTBR(m_L) = m_L / \mu + T_L$ = Midlere tid mellom fornyelser (renewals)

▶ Vis i Excel (gjennomsnitt)



Eksempel

- ▶ $\mu = 1$ = degraderingsraten, dvs forventet degradering per dag
- ▶ $\sigma = 2$ = spredning i degradering, dvs standardavvik i degraderingen per dag
- ▶ $L = 100$ = sviktgrense, dvs enheten svikter første gang $Y(t) > L = 100$
- ▶ $T_L = 4$ = ledetid, dvs tid fra fornyelse bestilles fram til den blir gjennomført
- ▶ $c_R = 1\,000$ = Fornyelseskostnader
- ▶ $c_F = 7\,000 = c_{CM} + c_T$ = sviktkostnader (tilleggs-kostnader for **korrigerende vedlikehold** (CM) og kost for selve svikten ($T=Trip$))
- ▶ $c_U = 2\,000$ = nedetidskostnad per dag

▶ Åpne Excel



Thank you for your attention

