

UNIVERSITY OF TWENTE.



Netherlands Defence Academy
Ministry of Defence



Slimmer Onderhoud aan Maritieme Systemen

Prof. dr. ir. Tiedo Tinga

Maintenance Technology team

T.Tinga@nlda.nl

Inhoud

- **Context en inleiding**
- **Experience vs. model-based aanpak**
- **Innovatieve onderhoudsconcepten**
- **Case studies**
 - Radar – hoofdlager / electronica
 - Diesel voortstuwingsstelsel
 - NH90 helikopter - landingsgestel
 - Fregat – onderhoudsoptimalisatie
- **Conclusies**

Context

Maritieme systemen → uitdagend Life Cycle Management

- 20-30 jr in gebruik → instandhoudingskosten > investering
- technologisch hoogwaardig
- zeer variabele operationele condities
- hoge eisen aan beschikbaarheid

→ vraagt om slimme aanpak van LCM



Maintenance is belangrijk
Predictive maintenance wenselijk !



Inleiding

- **Preventief onderhoud → lengte van service intervallen**
- **Balans vinden tussen**
 - kosten
 - » spare parts, reparatie, manuren
 - » lange intervallen
 - reliability / availability
 - » geen onverwachte storingen
 - » korte intervallen
- **Optimale aanpak**
 - on-condition maintenance (just-in-time)
 - zowel efficient (kosten) als effectief (geen failures)
 - criticality bepaalt prioriteit



Preventief onderhoud

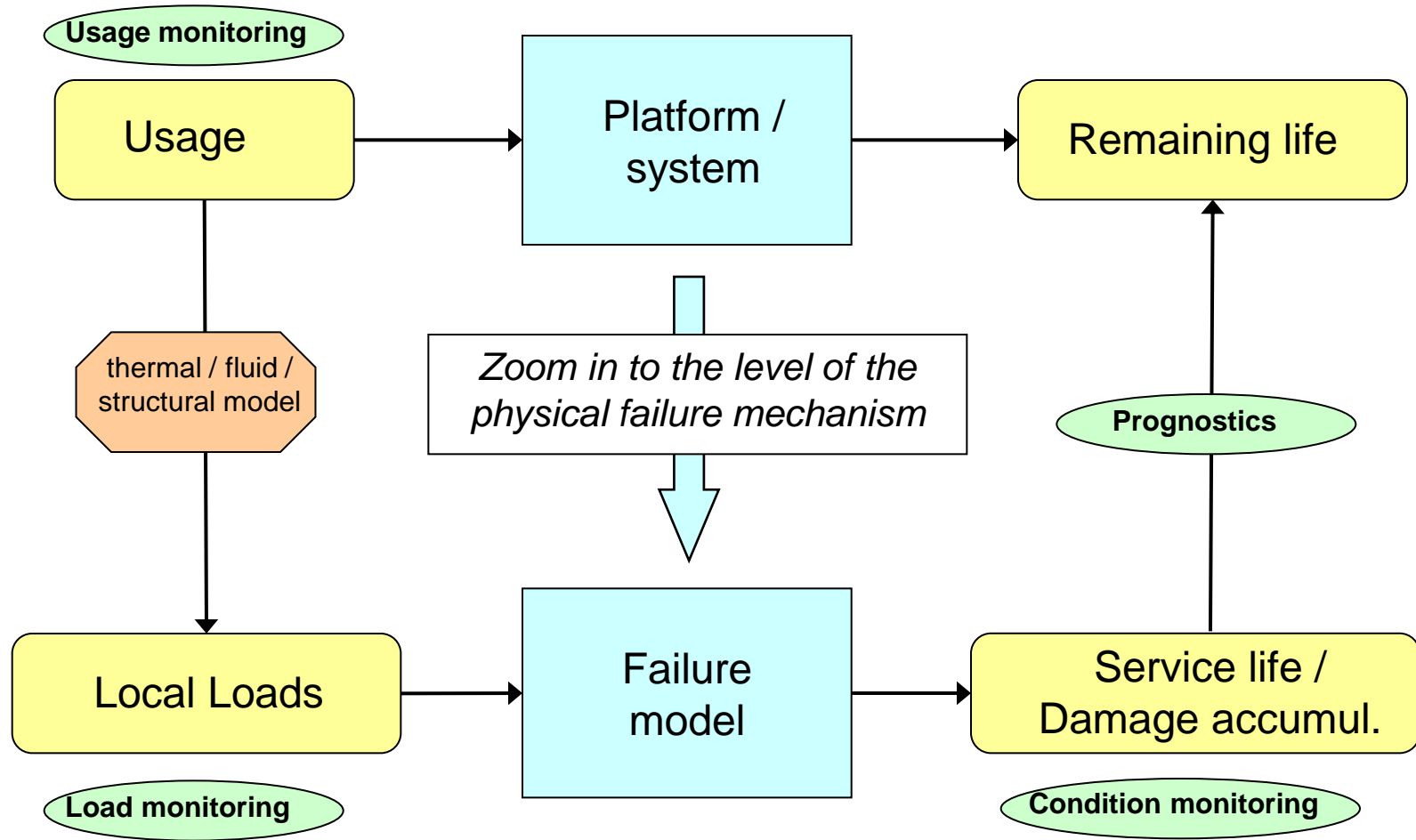
- **Traditionele aanpak: intervallen bepaald o.b.v.**
 - inschatten toekomstig gebruik (OEM)
 - vaak conservatief
 - verzamelde faaldata
 - niet altijd beschikbaar (registratie, PO)
 - ervaringen uit het verleden
 - niet altijd representatief

→ **Experience-based (data-driven) en statisch**

- **Optimale uitkomst**
 - on-condition maintenance (just-in-time)

→ **Dynamisch onderhoud**

Relatie gebruik – levensduur





Dynamisch onderhoud

Voorwaarden voor toepassing:

1. Inzicht in faalmechanisme en belastingen

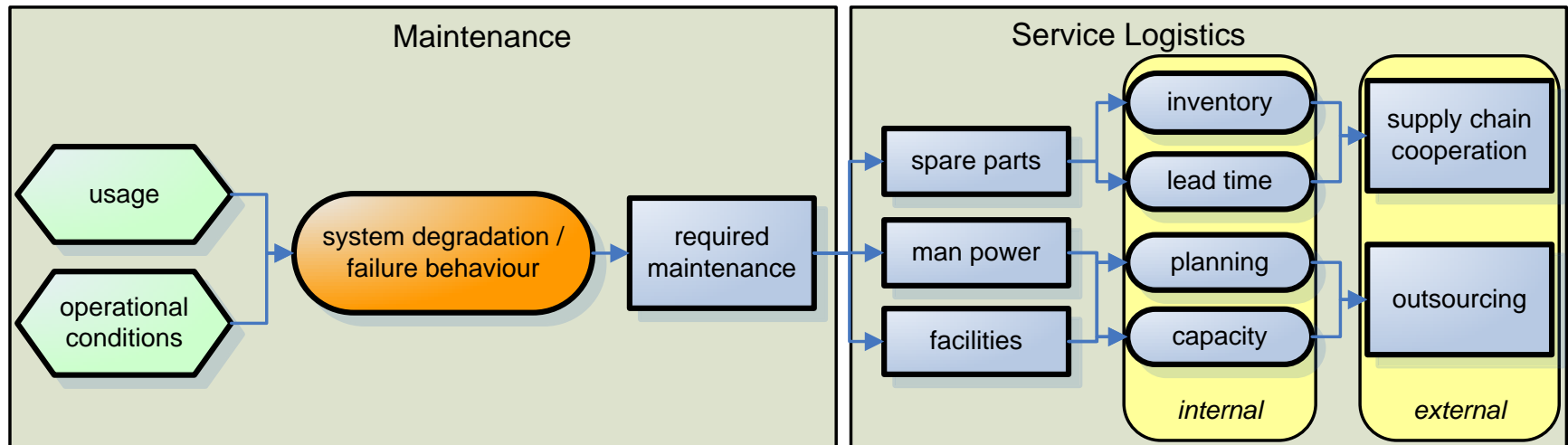
- hoe, waarom, wanneer gaat onderdeel stuk ? (RCA)
- welke gebruiksparemeter beschrijft degradatie het best ?
- kwantitatief model van fysisch mechanisme

2. Registreren van gebruik / belastingen / conditie

- gedetailleerd:
 - gebruikintensiteit, belastingen (rekstrook)
 - conditiebewaking, structural health monitoring (sensoren)
- globaal / functioneel:
 - gebruiksprofielen
- Uitdaging: relatie gebruik – degradatie
→ **Model-based aanpak**

MaSeLMA project

- **3-jarig onderzoeksproject**
 - Koppelen onderhoud en logistieke proces



- **Consortium**
 - Kon. Marine, Loodswezen, Smit Lamnalco, Fugro
 - Damen, Thales, Imtech, Alewijnse, Pon Power, ...
 - NLDA, Universiteit Twente, TU Eindhoven
 - Gordian, AMC Centre, Copernicos, Oliveira

MaSeLMA project

- **Ontwikkelen nieuwe OH en logistieke concepten** (*wetenschappelijk onderzoek*)
 - Hoe kan falen (onderhoud) beter voorspeld worden ?
 - Hoe kan logistieke proces met die info verbeterd worden ?
 - Hoe kan samenwerking in keten worden verbeterd ?
- **Toepassen in proeftuinen** (*praktisch*)
 - Propulsion → diesel / diesel-elektrisch
 - › Hoe falen voorspellen ?
 - › Hoe zoveel preventief onderhoud voorkomen ?
 - Radar → falen van lagers + electronica
 - › Hoe falen voorspellen ?
 - › Hoe logistiek proces daarop inrichten ?
 - Samenwerking / pooling etc.





CASES

Innovatieve onderhoudsconcepten

1. Predictive maintenance o.b.v. faalmechanismen

- radar main bearing / electronics
- diesel propulsion system



2. Slimme analyse van faal- / gebruiksdata

- prognostics voor NH-90 landing gear o.b.v. HUMS



3. Condition based Maintenance

- Sensor selectie en data analyse / interpretatie

4. Onderhoudsoptimalisatie op schip niveau

- Onderhoudsoptimalisatie voor fregat



1. Predictive maintenance

- **Radar system**

- Main bearing is critical for availability (and expensive !)
- How can service life be predicted ?

- **Identify failure mechanism**

- Bearing failure due to fatigue or wear
- Affected by
 - › External loads (wind, waves, vibrations, blasts)
 - › Operational loads (operating hours / rotations)
 - › Lubrication
 - › Contamination (dust, water)
 - › Misalignment

- **Life prediction**

$$L_{10} = \left(\frac{a \cdot C}{P} \right)^p$$

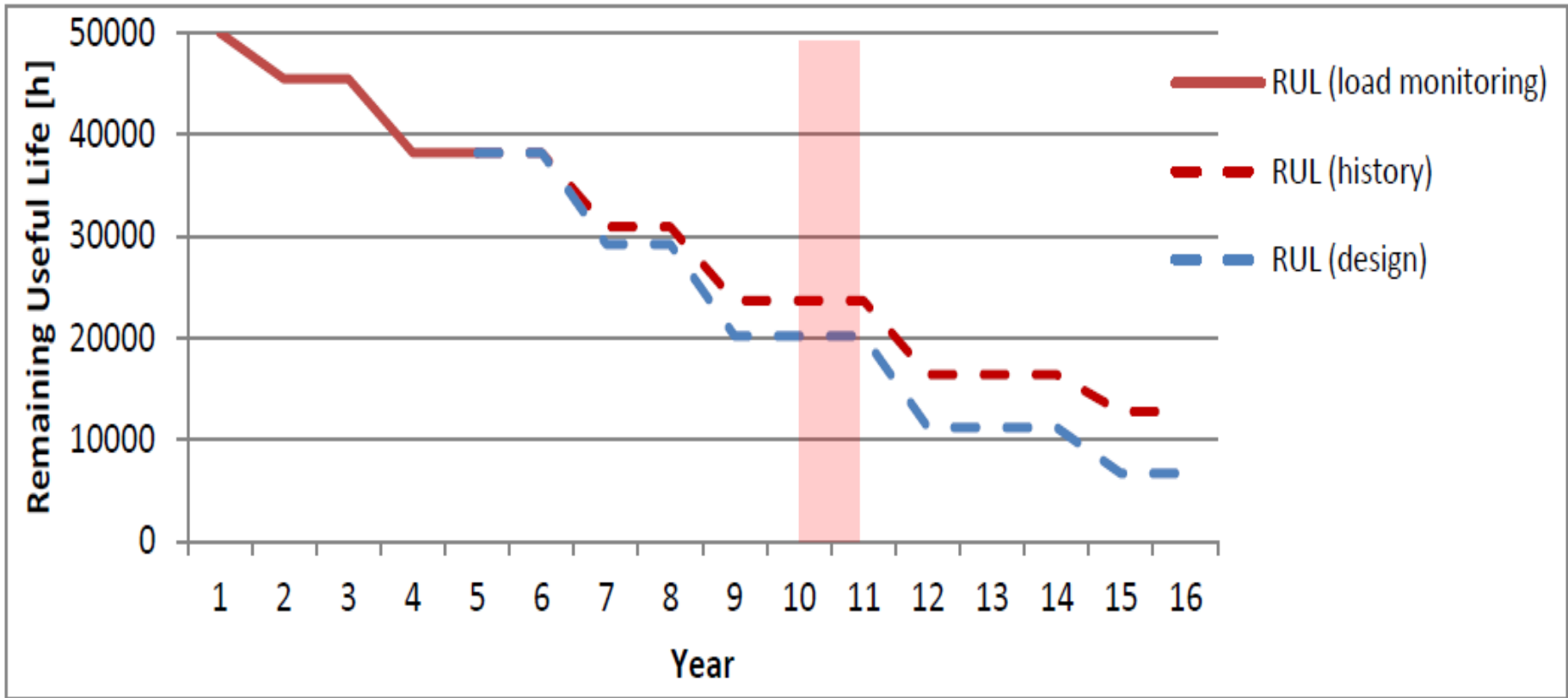




Life prediction

- **Design service life**
 - based on assumed usage profile
- **Actual service life depends on**
 - Actual loads
 - Misalignment
 - Lubrication + contamination
- **Approach**
 - Quantify effect of misalignment / lubrication (a)
 - Monitor usage and loads (*or specify detailed profile*)
 - Calculate Remaining Useful Life (RUL) periodically
 - Take decisions on replacement

Result

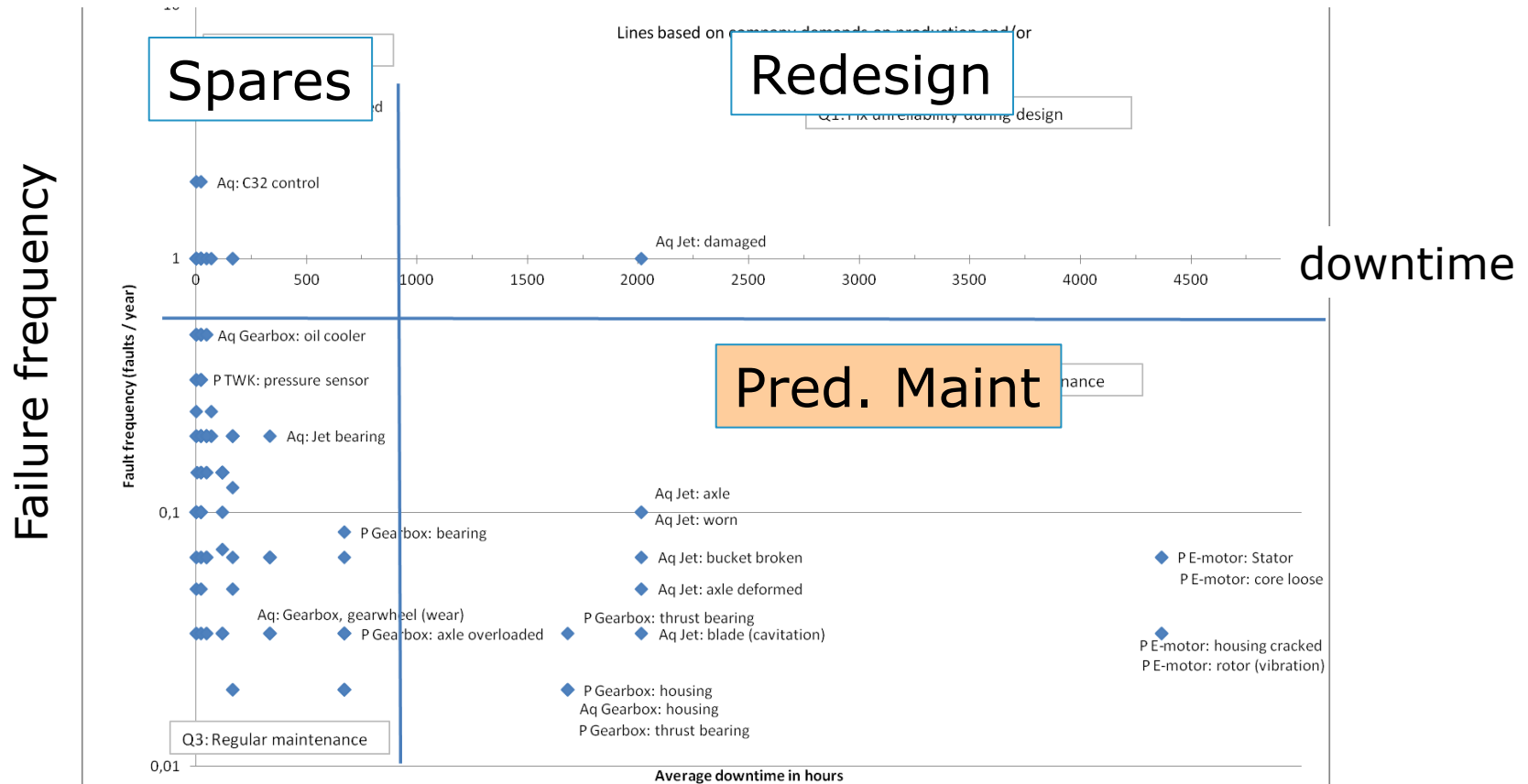


- **Predictive maintenance → decision on replacement based on actual degradation**



MaSeLMA - propulsion

- **What are critical parts ?**
 - FMECA's at Loodswezen, Fugro, Smit Lamnalco



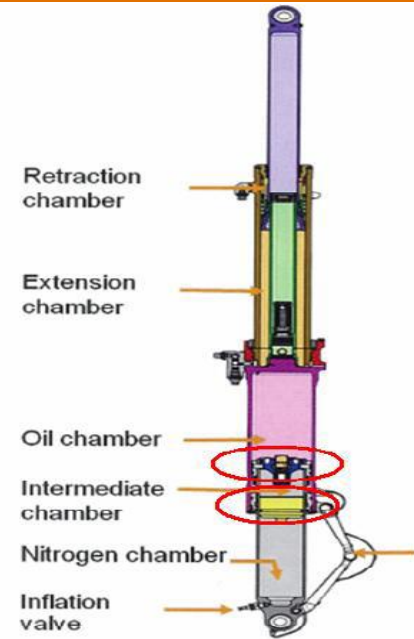
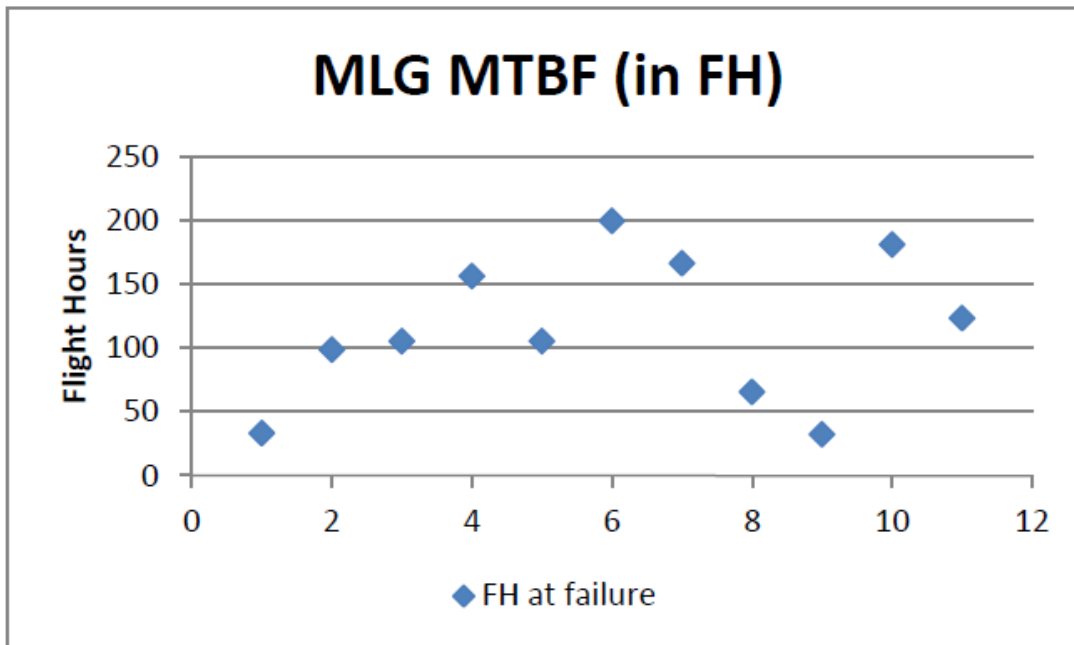
2. Advanced data analysis

- **NH-90 helicopter prognostics**
- **HUMS system available for monitoring**
 - Usage → flight hours, landings, conditions, etc.
 - Health → mainly vibrations
- **Maintenance primarily related to flight hours**
- **Identified critical components (Pareto + CMMS)**
 - Cost drivers
 - Availability killers
- **Determined failure mechanism + governing loads**



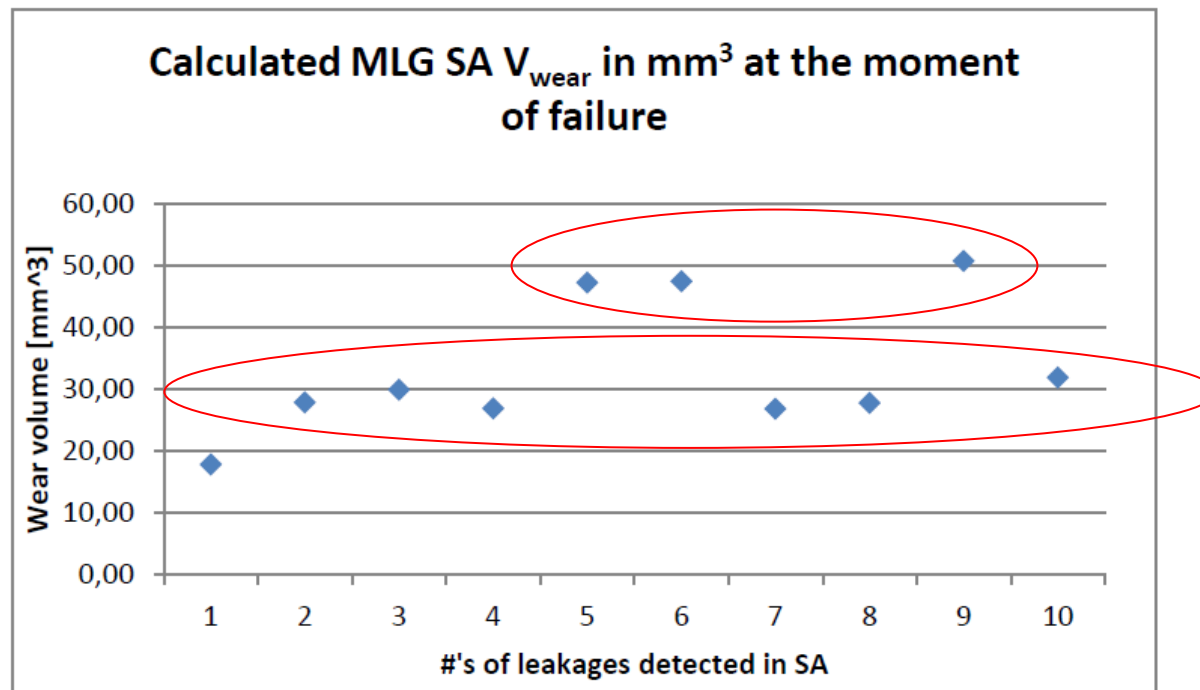
NH-90 helicopter prognostics

- Landing gear shock absorber is critical
- Time to failure not correlating to FH
- Develop prognostic method



NH-90 helicopter prognostics (2)

- **Mechanism: wear of seal (oil leakage)** $V_i = k_i F S$
- **Relevant Failure Parameter: travelled distance**
→ # landings + weight





3. Condition based Maintenance

- **Common approach**
 - OEM applies many sensors on 'random' locations
 - Operator collects large amounts of data
- **Problem**
 - How to translate data into useful information ?
- **Solution**
 - Understand failure mechanisms
 - > What are relevant parameters ?
 - > What are suitable locations for sensors ?
- **Additional benefit**
 - Not only diagnosis (requiring immediate action)
 - Prognostics is possible, not only trending

4. Optimization ship-level maintenance

- **Complex system**
 - Many subsystems with different failure behaviour
- **Maintenance needs determined by usage profile**
 - Large variation in time / across fleet / between subsystems
- **Maintenance should be more dynamic**
 - Dynamic intervals for all subsystems most efficient, but not feasible
 - How to cluster maintenance activities in small number of periods ?



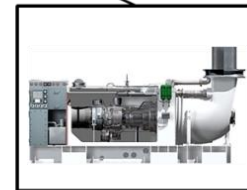
water chiller



diesel generator



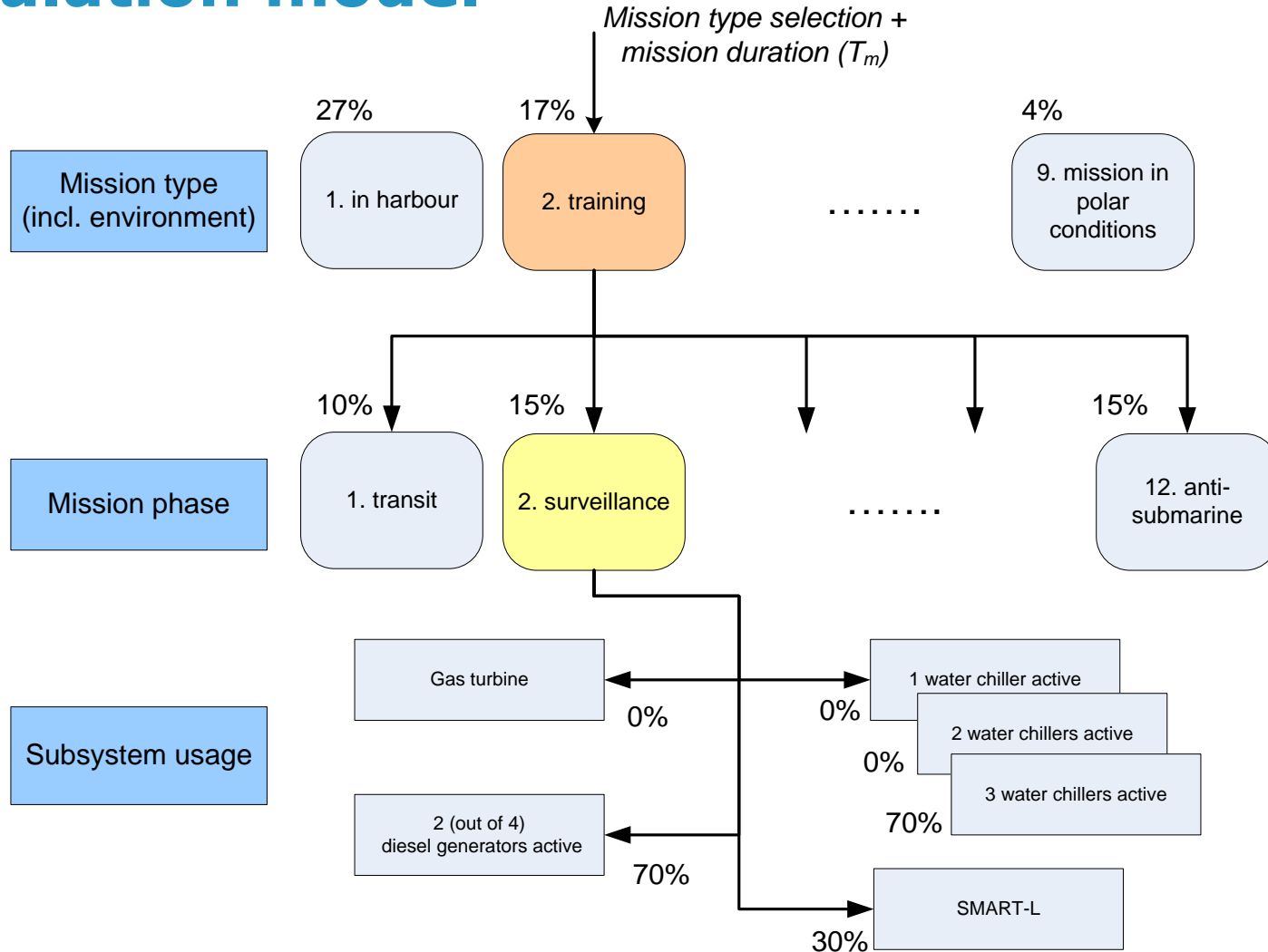
SMART-L



gas turbine

Tinga & Janssen, 2013,
ProcIMEchE - JRR

Simulation model





Specialization

- **Specialization within fleet (3 ships)**
 - 1 ship: all severe missions in hot circumstances
 - 1 ship: all missions in cold regions / close to base
 - Remaining missions → 3rd ship
- **Resultaat**
 - Ship 1 requires large amount of maintenance / high costs
 - Ship 2 / 3 require less maintenance

- **On fleet level → total costs are lower !**

Role	Number of intervals	Total costs
Ship 1	5*	426.4
hot missions	9	
Ship 2	5	
cold missions	9*	207.9
Ship 3	5	
remaining	9*	250.0
Equal division over 3 ships	5*	395.8
	9	

Conclusies

- **Kennis van faalgedrag helpt om:**
 - prognostische methoden te ontwikkelen
 - vast te stellen wat / waar gemeten moet worden
- **Combinatie met monitoren van gebruik, belastingen of conditie maakt predictive maintenance mogelijk**
- **Belangrijkste issue in geavanceerde onderhoudsconcepten:**

Relatie tussen gebruik en levensduur moet worden gekwantificeerd



STELLING

De tijd is nu rijp om de traditionele onderhoudsconcepten in de maritieme wereld in te ruilen voor een slimmere aanpak !