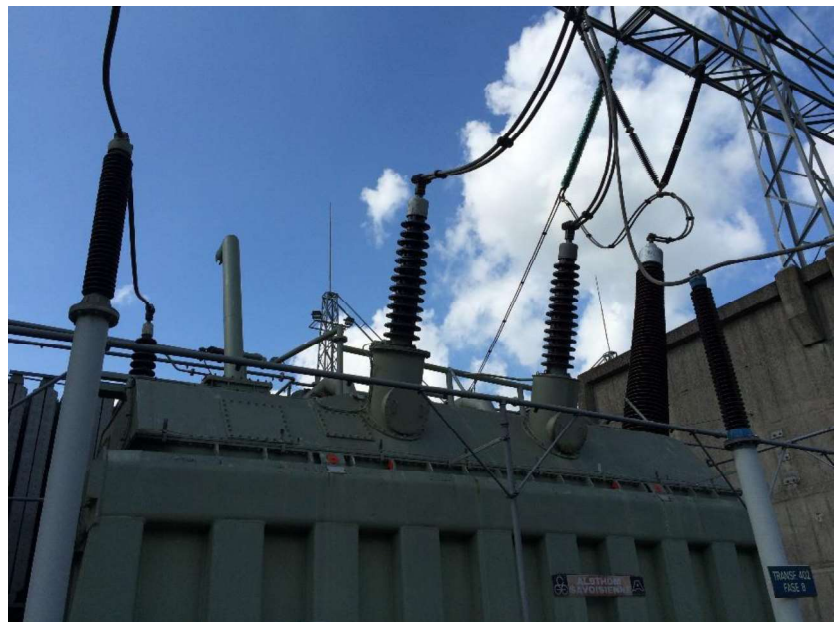


# FRAMEWORK VOOR INTELLIGENT NETBEHEER EN DATA GEDREVEN OPTIMALISATIE (FIND-GO)\_

Openbare  
eindrapportage



dr.ir. J.M. Westra et al.  
20 februari 2023

Dit document is tot stand gekomen dankzij bijdragen van het consortium bestaande uit de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen, IWO (Instituut voor Wetenschap en Ontwikkeling, Ede), TenneT TSO, STEDIN, Delft University of Technology, GE Nederland:

- Robert Ross
- Babak Gholizad
- Shima Gargari
- Jos Slangen
- Marcel Hooijmans
- Joke Westra
- Marijn Jongerden
- Hatim Mala
- Mark van den Oudenrijn
- Jacques van Ammers
- Khalid Ouled Said
- Peter Ypma
- Marijke Ross

## **SAMENVATTING**

### **Aanleiding**

Een aantal simultane ontwikkelingen in de elektriciteitsvoorziening zijn: de transitie naar duurzame energie, internationalisering van energiehandel en koppeling van netten, security van strategische infrastructuren, alsmede het Asset Management (AM) businessmodel voor netbeheer met de bedrijfswaarden bij elektriciteitsbedrijven. Om echt een smart grid te worden, moeten nog een flink aantal belangrijke stappen gezet worden in de huidige elektrische infrastructuur. Voor de toekomstbestendigheid van de Europese energienetten is data-driven netbeheer noodzakelijk. De flexibiliteit en resilience (veerkracht) van het net ondervinden twee belangrijke beperkingen: ten eerste schaarse planningsmogelijkheden voor VNB (Voorziene Niet-Beschikbaarheid) voor onderhoud en inspectie en ten tweede scheiding en security bij System Operation data versus AM (netbeheer). Online monitoring leidt tot veel data die bovendien in de huidige setting niet de juiste afdeling Asset Management bereikt. Het systeem is hier nog niet op ontworpen, maar een flexibel en intelligent net heeft wel behoefte aan dergelijk datamanagement om dieper in de toekomst te kunnen kijken en daarop te anticiperen.

### **Doelstelling**

Het eerdere TKI initiatief, Smart Planning (TESG113003) richtte zich voornamelijk op de socio-economische interactie tussen elektriciteitsbedrijf en aangeslotenen. Dit onderzoek dient de flexibiliteit en toekomstbestendigheid van elektriciteitsnetten (TKI Urban Energy programmalijn 4) zelf. Met asset management technieken zoals de Health Index (HI) en Risk Index (RI) wordt het mogelijk om voorspellingen ten aanzien van de operationele betrouwbaarheid en de risico's van (potentiële) problemen in de energie-infrastructuur te doen. Een toekomstbestendig e-infra-beheermodel moet gebaseerd zijn op data-driven onderhoudsmethodieken en strategieën: HI.2.0 en RI.2.0. Dit project heeft als doel een 'made in NL' concept te ontwikkelen dat ten dienste staat van data-driven beheer van de assets.

### **Resultaat**

Ten aanzien van de gezondheid van assets zijn diverse gebieden aangetroffen bij netbeheerders over de hele wereld. In algemene zin wordt een gezondheidsindex (Health Index, HI) gebruikt om de toestand of gezondheid van een asset, in het hier-en-nu, weer te geven. Een Risico Index (RI) wordt gebruikt om het bijbehorende risico weer te geven, en wordt het systeem gebruikt om de netbeheerder een dashboard te bieden dat de vereiste acties en prioriteiten weergeeft.

Ter voorbereiding op de ontwikkeling van voorspellende HI2.0 en RI2.0, wordt de HI uitgedrukt als de cumulatieve faalkans van de asset. De bepaling van een HI is specifiek voor asset-categorieën en -types. Een gebruikelijke opzet is het bepalen van de HI uit diverse conditie-indicatoren en de leeftijd van de betreffende asset. Een voorstel voor de HI2.0 is gebaseerd op de prognoses van de het tijdsgebonden verloop van de conditie-indicatoren die gezamenlijk een HI prognose bepalen. Hiermee is ook een fundament geschetst voor de samengestelde (composite) Health Index (geldend voor circuits en netdelen).

Ten aanzien van het monitoren van assets en de uitwisseling van data tussen SO (Bedrijfscentrum, critical infrastructure security-level) en AM (netbeheer) ter ondersteuning van een voorspellende HI zijn diverse principe ontwerpen verkend. Vanuit het concept van 'dynamic rating' van verbindingen zijn twee uiterste ontwerpen beschouwd, elk met de bijhorende uitdagingen.

Er is gewerkt aan diverse statische analyse en rekentechnieken, waarbij het mogelijk is gebleken om slijtage van vroegtijdig falen te onderscheiden. Er is gebleken dat vroege storingen, na het ogenschijnlijk succesvol toetsen van de assetkwaliteit, vaak geen kinderziektes betreft maar snelle slijtage van een zwakke producten. Deze kunnen worden onderscheiden door de Weibull-vormparameter. Ook is het mogelijk om deze Weibull-vormparameter af te schatten met behulp van gewogen lineaire regressie (Weighted Linear Regression). Een algoritme dat zowel geschikt is voor lichtgewicht computergebruik als voor niet-geheel-tallige ranking-indices is getoetst. Een incident management freeware applicatie voor enkelvoudige faalkwesties om storingsdata te analyseren, aanstaande storingen te voorspellen, conformiteit van faalgedrag tegen specificaties te toetsen en optimaal periodiek onderhoud te plannen is ontwikkeld en beschikbaar via <https://iwo.nl/projects/iwo-releases-data-analyzer-tool-ida/>. Baanbrekend hierbij was de gepubliceerde "Power Function Algorithm for Linear Regression Weights with Weibull Data Analysis", door Robert Ross. Wolfram heeft het verzoek ingediend dit algoritme ook beschikbaar te maken als Wolfram Notebook en daarmee toegankelijk te maken voor Mathematica en Wolfram Language gebruikers wereldwijd.

## INHOUDSOPGAVE

	Aanleiding .....	3
	Doelstelling .....	3
	Resultaat .....	3
<b>1</b>	<b>INLEIDING .....</b>	<b>6</b>
	1.1 Achtergrond en aanleiding .....	6
	1.2 Omschrijving van de activiteiten .....	6
<b>2</b>	<b>GEbruIK VAN HEALTH INDEX VOOR ELEKTRICITEITSNETTEN .....</b>	<b>7</b>
	2.1 Verschillen en gebruiken betreffende Asset Health Indices .....	7
	2.2 Consensus betreffende een Asset Health Index .....	7
<b>3</b>	<b>DEFINITIES VAN SLEUTELBEGRIPPEN .....</b>	<b>7</b>
	3.1 Sleutelbegrip Health Index .....	7
	3.2 Sleutelbegrip Risk Index .....	8
<b>4</b>	<b>DATA-ACQUISITIE EN UITWISSELING .....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>VOORSPELLENDE HEALTH INDEX EN TOOLING .....</b>	<b>10</b>
	5.1 Conditievoorspelling van componenten .....	10
	5.2 Systeem .....	12
<b>6</b>	<b>INNOVATIEVE VEERKRACHT VOOR IEDEREEN .....</b>	<b>13</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....</b>	<b>13</b>
<b>8</b>	<b>REFERENTIES .....</b>	<b>15</b>

# 1 INLEIDING

## 1.1 Achtergrond en aanleiding

Een aantal simultane ontwikkelingen in de elektriciteitsvoorziening zijn: de transitie naar duurzame energie, internationalisering van energiehandel en koppeling van netten, security van strategische infrastructuren, alsmede het Asset Management (AM) businessmodel voor netbeheer met de bedrijfswaarden bij elektriciteitsbedrijven.

Om echt een smart grid te worden, moeten nog een flink aantal belangrijke stappen gezet worden in de huidige elektrische infrastructuur. Voor de toekomstbestendigheid van de Europese energienetten is *data-driven* netbeheer noodzakelijk. De flexibiliteit en resilience (veerkracht) van het net ondervinden twee belangrijke beperkingen: ten eerste schaarse planningsmogelijkheden voor VNB (Voorziene Niet-Beschikbaarheid) voor onderhoud en inspectie en ten tweede scheiding en security bij System Operation data versus AM (netbeheer). Online monitoring leidt tot een explosie van data die bovendien in de huidige setting niet de juiste afdeling Asset Management bereikt (2018). Het huidige systeem is hier nog niet op ingericht, maar een flexibel en intelligent net heeft wel behoefte aan dergelijk datamanagement om dieper in de toekomst te kunnen kijken en daarop te anticiperen.

## 1.2 Omschrijving van de activiteiten

De ontplooiende projectactiviteiten zijn verdeeld in de volgende onderdelen:

- Analyse van benaderingen en inrichting van Asset Management- modellen met Health Index en Risk Index in Nederland, Europe en wereldwijd.
- Overeenstemming over definities van sleutelbegrippen en principes (NL) als fundament voor besluitvorming met HI.2.0 en RI.2.0 in een flexibel/resilient net.
- Ontwerp van systematiek voor grootschalige data-acquisitie en uitwisseling tussen System Operations (bedrijfsvoering) en Asset Management.
- Uitwerken van (big) data-handling, algoritmes en besluitvorming rond beheer gebaseerd op HI.2.0 en RI.2.0 met sterk verbeterde voorspelbaarheid met een pilot ter toetsing van het principe.
- Ontwikkelen freeware voor incident management besluitvorming bij falende componenten voor gebruik in elektriciteitsbedrijven, MKB en onderwijs.

## **2 GEBRUIK VAN HEALTH INDEX VOOR ELEKTRICITEITSNETTEN**

Ten aanzien van de gezondheid van assets zijn diverse gebruiken aangetroffen bij netbeheerders over de hele wereld. In algemene zin wordt een gezondheidsindex (Health Index, HI) gebruikt om de toestand of gezondheid van een asset weer te geven, terwijl een risico-index (RI) wordt gebruikt om het bijbehorende risico weer te geven. De RI wordt gebruikt om de netbeheerder een systeem dashboard te bieden dat de prioriteit van de vereiste acties weergeeft.

### **2.1 Verschillen en gebruiken betreffende Asset Health Indices**

Asset Health Indices zijn bekend onder diverse (Engelstalige benamingen), o.a. Equipment Health Rating (EHR), Asset Condition Assessment (ACA) en Asset Condition Index (ACI). Afhankelijk van de organisatie en de betreffende assets kan een HI een 'rapportcijfer', een kleurcode, een (geschatte) kans op falen of de (geschatte) restlevensduur betreffen. Bij diverse assets wordt de 'Criticality' van de asset meegenomen in de bepaling van de HI, soms wordt de HI juist als input gebruikt in een risico. Er zijn verschillende wiskundige vergelijkingen of algoritmen ontwikkeld om HI te formuleren. Voorbeelden van wiskundige vergelijkingen of algoritmen zijn de score- en classificatiemethode, de tiermethode, de matrices/entropy weight health index (EWHI)-methode en multi-feature factors assessment-models.

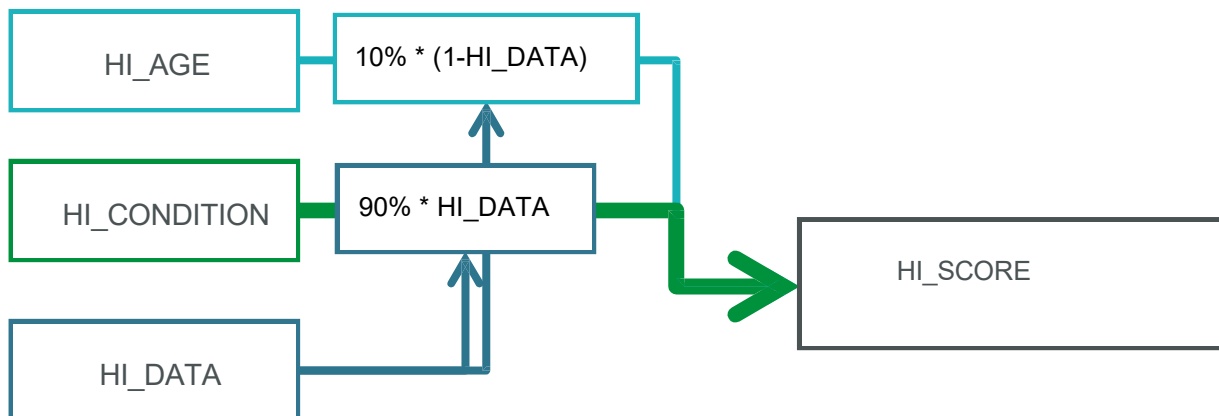
### **2.2 Consensus betreffende een Asset Health Index**

De kern van een Asset Health Index bevat veelal één of meerdere van de volgende aspecten: (i) een manier om de algehele gezondheid van een asset te meten, (ii) een lijst met gegevensparameters voor een asset die worden meegenomen in een berekende gezondheidsbeoordeling, (iii) een manier om verschillende assets en asset-types op een consistente manier te vergelijken, (iv) een output van Big Data en asset analytics, (v) een input, of bouwsteen, voor een breder assetmanagementproces. Gedurende de looptijd van dit project is internationaal, o.a. binnen de Cigré-werkgemeenschap en binnen ENTSOe WG AIM dat een HI een (technische) 'fit-for-purpose' indicator is en dat zaken zoals 'vervangbaarheid' niet in de deze indicator opgenomen zijn.

## **3 DEFINITIES VAN SLEUTELBEGRIPPEN**

### **3.1 Sleutelbegrip Health Index**

De bepaling van HI is afhankelijk van het assettype en de beschikbare informatie betreffende de asset. Ter illustratie, een voorbeeld van een HI, gebaseerd op een gewogen score van leeftijd en conditie (gebaseerd op gemeten conditie indicatoren):



*Figuur 1 Illustratie van de bepaling van een HI op basis van leeftijd en conditie.*

De weging is gebaseerd op het aantal van bekende conditie-indicatoren. Indien alle conditie indicatoren bekend zijn, kan de weging 90% HI\_conditie en 10% HI\_leeftijd zijn, echter, indien geen conditie indicatoren beschikbaar zijn, zou de HI geheel gebaseerd kunnen worden op de leeftijd van de betreffende asset. Het is een voorbeeld; er zijn verschillende rekenmethoden, schalen en algoritmen in gebruik.

### 3.2 Sleutelbegrip Risk Index

Risico-index (RI) relateert HI aan de risico's die samenhangen met het falen van de asset ten aanzien van de bedrijfswaarden van de eigenaar (Corporate Business Values, CBV). Gedurende de besluitvorming betreffende de asset, kan geprioriteerd op basis van de risico's met betrekking tot falen. De asset manager kan verschillende CBV's overwegen, zoals:

- Prestatie
- Veiligheid
- Financieel
- Reputatie
- Klanttevredenheid
- Omgeving
- Compliance
- Maatschappelijke verantwoordelijkheid
- ..e.d.

Een asset manager bepaalt het risico als:

$$\text{risico} \approx \text{waarschijnlijkheid van falen} \times \text{impact van het falen}$$

Overigens hoeft falen geen fysieke schade te betreffen, het kan ook 'ongeschikt voor de functie' betekenen. Zo zou een transformator bijvoorbeeld vergunningseisen t.a.v. geluid kunnen overschrijden en daarom vervangen moeten worden, terwijl de elektrische functionaliteit nog steeds voldoet.



Gewogen CBV's, op basis van de kennis/regels van experts, worden gebruikt om het risico op uitval van een asset te bepalen. Hoe hoger het risico, in geval van storing, hoe hoger de prioriteit van het asset dat in aanmerking moet worden genomen voor onderhoud, reparatie/upgrade, vervanging, bewaking en contingentiecontrole. Verschillende organisaties kunnen verschillende gewichten hebben/toepassen aan de CBV's, en ook verschillende CBV's hebben.

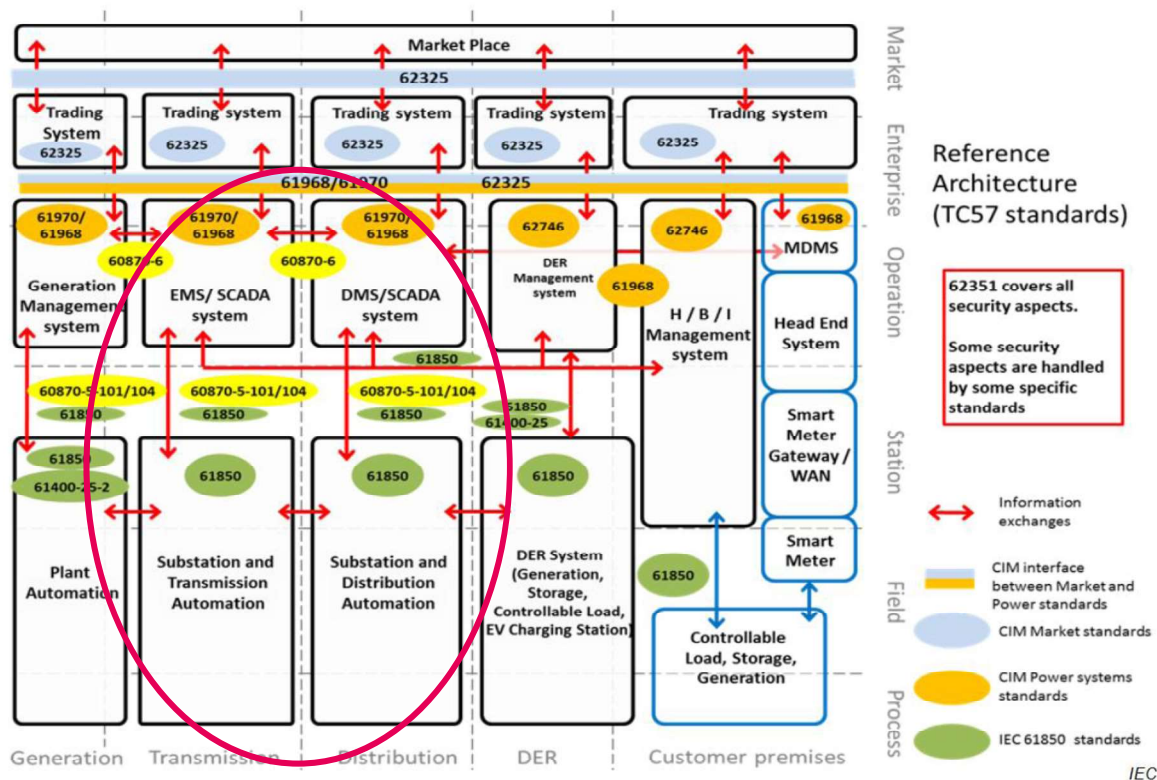
## **4 DATA-ACQUISITIE EN UITWISSELING**

De kernaanbevelingen voor informatie- en gegevensuitwisseling tussen SO en AM zijn beschreven in internationale standaarden, zie Figuur 2. De inpassing van assetmanagementprocessen in de informatiestructuur is voor distributienetten verder uitgewerkt dan voor transportnetten (op basis van de hiervoor genoemde normen). Beveiligingsaanbevelingen hebben betrekking op alle niveaus van de TSO- en DSO-organisaties. De fundamenteën zijn vergelijkbaar met die van andere kritieke infrastructuurdomeinen. Het Ministerie van Infrastructuur en Milieu en Rijkswaterstaat (RWS) werken met de CSIR [1]. De CSIR 2.4 en CSIR 3.4A zijn beide consolidaties van de Baseline Informatiebeveiliging Overheid (BIO) (en ISO 27001) en de IEC 62443 [2] (een serie die zich richt op de cyberbeveiliging van Industrial Automation and Control Systems (IACS)) voor infrastructuur voor mobiliteit en waterbeheer. Het is belangrijk om te beseffen dat elektriciteitsnetten (zowel transmissie als distributie), ook te maken hebben met de twee benaderingen van cybersecurity (harmonisatie van de BIO en IEC 62443). Vanuit de context van de BIO ligt de focus op informatie en vertrouwelijkheid van die informatie. Een voorbeeld het BIO-deel is het real-time energieverbruik van een privéwoning. Vanuit het perspectief de besturing en automatisering van de netten ligt de focus op betrouwbaarheid (beschikbaarheid) en veiligheid, overeenkomstig met de IEC 62443.

De dataverzameling door AM, ten behoeve van bijvoorbeeld 'dynamic rating' kan dienen als een illustratie voor de inrichting van twee verschillende datapaden, afhankelijk van de inrichting van de communicatie tussen AM en SO.

Bijvoorbeeld: continue bewaking van asset-temperaturen en het in realtime aanpassen van de belastbaarheidsclassificatie (dynamic rating) op basis van temperatuuropbouw. Hierbij is de belastbaarheidsclassificatie afhankelijk van de output van de betreffende sensoren. Wanneer deze sensordata direct het normale traject door de SCADA-systemen volgt, zal de belastbaarheidsclassificatie binnen het streng beveiligde deel van OT/IT-infrastructuur moeten geschieden. Deze opzet kan betekenen dat asset management activiteiten direct in de SO omgeving, realtime, uitgevoerd moeten worden. Belangrijke voorwaarde voor deze werkwijze is dat de datakwaliteit en het gedrag van de sensoren, niet tot onjuist beoordelingen in realtime mogen leiden. Een alternatief voorbeeld is om data vanuit vele bronnen, inclusief eenvoudigere IoT gebaseerde sensoren te combineren door middel van een data-lake (of een datawarehouse). Uit de analyses van

deze data kunnen, zorgvuldig opgestelde en getoetste, 'stationaire' kennisregels worden geformuleerd die in de besturingssystemen kunnen worden toegepast, zonder dat een real-time feedbacklus van AM naar het SO beveiligingsniveau creëert. De belangrijke consequentie is dat de aanpassingen van de belastbaarheidsclassificatie voor de operator in sommige gevallen niet transparant zijn, en dat een continue bewaking van asset-temperaturen en het in realtime nog steeds wenselijk is.



Figuur 2 Reference Architecture IEC 62357-1 [3], roze ovaal toont de relevante normen voor het FIND GO project.

## 5 VOORSPELENDE HEALTH INDEX EN TOOLING

De HI wordt, ten behoeve van mogelijkheden tot ontwikkeling van HI2.0 en RI2.0, uitgedrukt als een functie van de hazard rate van de asset, gebaseerd op (conditie) indicatoren van de betreffende asset.

### 5.1 Conditievoorspelling van componenten

Wanneer voor een type asset er bekende relaties tussen toestandsbepaling en de hazard rate bestaan en er tevens een inschatting bestaat voor de trend van de toestand, kan een toekomstige HI worden bepaald uit conditie-indicatoren. Dit is dan een voorspellende HI. Deze strategie is sterk in gevallen waarin de degradatiepaden van het assettype bekend zijn. Dit maakt het mogelijk om het algemene verouderingsverloop te beschrijven voor een (sub)populatie van assets, maar moeilijk voor een specifiek asset omdat daarvoor een individuele toestandsbepaling goed moet correleren met de

individuele faalkans [4]. Tevens vormen ontbrekende gegevens voor specifieke assets de grootste uitdaging zijn. Het kan ook zijn dat de 'zorgwekkende' assets een tekortkoming hebben, waardoor de statistiek van 'normale' assets niet van toepassing is. Deze afwijkingen van de norm vereisen hun eigen statistische analyse.

De meest voor de hand liggende aanpak bij een bekend verouderingsverloop van de conditie-indicatoren, in combinatie met real-time monitoring door asset management vanuit een bedrijfsvoeringscentrum, is door middel van lineaire regressie. Hierbij wordt (gefilterde) data, één of twee stappen in het verleden ( $n-1$ , of  $n-2$ ), gecombineerd met het heden ( $n$ ), om een prognose waarde voor de toekomst te voorspellen ( $n+1$ ), waarbij ook de ontwikkeling van de tijdstap relevant is ten aanzien van het bekende verouderingsverloop.

Wanneer de faalmechanismen en/of degradatiepaden niet bekend zijn, worden de relaties tussen data en gezondheid in eerste instantie verborgen. Dus een lager niveau van rijping van kennis. Idealiter zouden we graag een snel antwoord willen hebben op hoe nieuwe faalmodi zich in de loop van de tijd ontwikkelen en hoe nieuwe verklikkers (tell-tales) zich in de loop van de tijd ontwikkelen. Tijd is de sleutel, aangezien dit fundamenteel is voor het plannen van onderhoud. Nieuwe gegevens en voorheen ongebruikte gegevensbronnen kunnen beschikbaar zijn en benut worden om deze nieuwe relaties en faalwijzen bloot te leggen. Zoek bijvoorbeeld een regio met een ander klimaat om een klimaatsverandering-scenario voor voorspellende HI te voeden. Indien versnellingsfactoren voor veroudering kunnen worden ingeschat tussen te twee situaties, dan kunnen hiermee sneller relaties tussen klimaat en verschillende conditie-indicatoren worden bepaald.

In deze situatie is het gebruik van een data-lake of datawarehouse in combinatie met meer geavanceerde data-analyse strategieën geschikt. Een voorspellende HI begint dan met het bijhouden van de historie van asset conditiebepalingen. In cloud-gebaseerde computersystemen zijn slimme sensoren in combinatie met IoT de belangrijkste factoren. Sensoren in het veld kunnen echter zelf ook storingen ondervinden en de verzamelde gegevens moeten dan worden opgeschoond en voorverwerkt. Preprocessing helpt bij het optimaliseren van de opslagbronnen en het voorbereiden van de gegevens voor verdere analyse. Er is aandacht besteed aan een methode om de gegevens voor te verwerken. Conventionele machine learning en deep learning-algoritmen worden vervolgens gebruikt voor voorspellende analyse. Echter een validatie en rationele verklaring van de voorspellingen zijn niet overbodig om de voorspellingen praktisch in te kunnen zetten. In opkomst is de discipline van explainable artificial intelligence, waarbij ontdekte verbanden in data te herleiden en het mogelijk wordt om enerzijds technische inzichten af te leiden uit gevonden correlaties en anderzijds valse correlaties te detecteren en uit te filteren. [5]


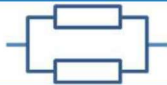
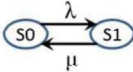
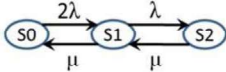
Opgemerkt moet worden dat veroudering en faalversnelling invloed hebben op factoren die ook andere aspecten in een risicobeoordeling kunnen beïnvloeden. Er zouden diverse scenario's voor belasting kunnen worden gebruikt die (aannemend dat de versnellingsfactoren bekend zijn) van invloed zijn op de voorspellende HI en daarmee van belang zijn voor de voorspellende RI. Tijdsinvloed van geld zou een heel logisch voorbeeld kunnen zijn hoe risico's zich zouden kunnen ontwikkelen. Daarnaast kunnen beïnvloedingsfactoren die veroudering versnellen, maar ook ontwikkelingen in de bedrijfsstrategie versnellen, zeer interessant zijn voor scenario's. Een historisch voorbeeld zijn geluidnormen voor transformatoren, waarbij de gebouwde omgeving steeds dichterbij een onderstation komt te liggen en daardoor het risico op noodzakelijke vervanging versneld toeneemt.

## 5.2 Systeem

Systeemgerichte strategieën ten behoeve van het verminderen van storingen zijn sterk afhankelijk van de systeem configuratie, het faalgedrag van de assets en respons van asset management. Er zijn methoden om systeemverdelingen bij een eenvoudige configuratie direct te bepalen via Markov-ketens bijvoorbeeld [6]. Wanneer de systeemstructuur ingewikkelder is, kunnen diverse aanpakken, o.a. waarheidstafels, voorwaardelijke bepalingen, minimale paden, toegepast worden. Bij zeer grote configuraties zijn statistische bepalingen met simulaties en big data meer geëigend.

Er moet onderscheid gemaakt worden tussen parallellen en serie systemen. Hierbij moet aandacht geschonken worden aan situaties waarbij er een schijnbare redundantie bestaat waarbij een enkelvoudig falen toch diverse componenten/deelsystemen (die parallel aan elkaar staan) tegelijk beïnvloed worden. Dit is de zgn. 'common cause' problematiek. Een correct toegepaste redundantie verhoogt de beschikbaarheid/betrouwbaarheid, geïllustreerd door de Mean Time Between Failures in de Tabel 1.

*Tabel 1 Over verschillen tussen een enkel en een redundante verbinding ten aanzien van faalgedrag. [7]*

Entity \ Case:	Single circuit	Redundant connection
Block diagram		
States	S0: circuit up; connection up S1: circuit down, connection down	S0: circuit up; connection up S1: 1 circuit down, connection up S2: 2 circuits down, connection down
Applied state diagram. Example: failure rate $\lambda = 1/20 \text{ yr}^{-1}$ ; repair rate $\mu = 36.5 \text{ yr}^{-1} = 0.1 \text{ d}^{-1}$		
Mean Time Between Failures MTBF	$MTBF_1 = \frac{1}{\lambda}$	$MTBF_2 = \frac{2\lambda + \mu}{2\lambda^2}$
Mean Time Between Failures MTBF [yr]	<b>20</b>	<b>7320</b>
Availability $A_{\infty}$	$A_{\infty,1} = \frac{\mu}{\mu + \lambda}$	$A_{\infty,2} = \frac{\mu^2 + 2\lambda\mu}{\mu^2 + 2\lambda\mu + 2\lambda^2}$
Availability $A_{\infty}$ [%]	99.86	99.9996
Unavailability $1-A_{\infty}$ [%]	0.14	0.0004
Annual outage time [hr]	12	0.03

## 6 INNOVATIEVE VEERKRACHT VOOR IEDEREEN

Een doel van het FIND GO project is om de data-analyse aan een breed publiek te ontsluiten. Daartoe is software beschikbaar gesteld die toegankelijk is bij afdelingen voor vermogensbeheer en kleine bedrijven. Veel technieken, waaronder een interactieve Weibull-plot en al dan niet gewogen lineaire regressie, zijn gegoten in algoritmen die kunnen worden verwerkt door typische, algemeen toegankelijke, kantoorsoftware zoals een spreadsheet. Dit is gemaakt beschikbaar als freeware voor niet-commerciële doeleinden en voor onderwijs. De applicatie is met handleiding beschikbaar via <https://iwo.nl/projects/iwo-releases-data-analyzer-tool-ida/>. Gedurende dit project is deze freeware zorgvuldig getest en verder ontwikkeld dankzij input vanuit diverse onderwijsprogramma's, waaronder de Power Minor (onderdeel van de HBO opleiding Elektrotechniek) en diverse masteropleidingen van zowel de Technische Universiteit Delft en de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen.

De huidige analyzer bundelt faciliteiten voor het plotten van Weibull-gegevens met zowel bèta- als regressiebetrouwbaarheidslimieten. Het maakt het mogelijk om parameters te schatten door middel van gewogen of gewone lineaire regressie en het biedt eenvoudige calculators om tijd te converteren naar verdelingsfuncties en vice versa. Met de analyzer is het mogelijk om op basis van OPEX en CAPEX de cyclus voor periodiek onderhoud te optimaliseren en het tijdstip van de volgende storing te voorspellen. Tevens is het mogelijk om tijd en kansen te bepalen van een toekomstige storing nadat enkele, maar niet alle, gebrekkige componenten gefaald zijn. [8] [9]

## 7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Ten behoeve van verschillende asset management strategieën zijn verschillende soorten data en informatie noodzakelijk om deze strategieën effectief te kunnen gebruiken. Het is afhankelijk van de asset soort, en ook de systeemconfiguratie welke strategieën in welke situatie het gunstigste zijn. Een overzicht van diverse strategieën, met de bijhorende aspecten en inhoud hiervan per strategie zijn opgenomen in Tabel 2.

Het is aan te bevelen om kritisch te kijken naar de werkelijke bottleneck in een systeem, waarbij dit systeem niet alleen fysiek-technisch van aard is. In analogie met een oneigenlijke redundantie in een technisch systeemontwerp zijn er ook bottlenecks van andere aard die tot kritisch falen kunnen leiden. Een belangrijk voorbeeld hiervan in de huidige Nederlandse situatie is het tekort aan arbeidskracht. Het optimaliseren op inzet van mensen is in deze situatie vaak verstandiger dan bijvoorbeeld op het optimaal benutten van de restlevensduur van componenten.

Tabel 2. Overzicht van relevante aspecten voor het toepassen van diverse asset management strategieën. [7]

Maintenance: Aspects: \	Corrective (CM)	Period Based (PBM)	Condition Based (CBM)	Risk Based (RBM)
<b>Statistics</b>	<b>Group</b>	<b>Group</b>	<b>Individual</b>	<b>Individual</b>
Criterion	Up or down; working or not	Elapsed period (e.g. time, #surges)	Condition (Hazard rate)	Risk (Hazard rate + impact)
Used asset lifetime	Full lifetime	Part of (extended) lifetime	Part of (extended) lifetime	Part of (extended) lifetime
Reactive/proactive	Reactive	Proactive	Proactive	Proactive
<b>Challenge</b>	<b>Unplanned outage → Flexible response → Possible emergency</b>	<b>Sensible general policy Sacrifice less significant lifetime</b>	<b>Adequate (comprehensive) diagnostics &amp; expert rules</b>	<b>Adequacy in assessing Risk Deal with low h, high impact</b>
Advantage	Exploiting full lifetime	Life extension by renewal, Predictable service and replacement	Life extension by renewal, Exploiting most of lifetime	Overall optimized CBV performance
Information	<b>Group</b> failure Group efforts (In)efficiency of maintenance	<b>Group</b> time to hazard rate Group efforts How to optimize period	<b>Individual</b> hazard rate Individual efforts How to assess hazard rates	<b>Individual</b> hazard rate Individual impact(s) How to assess risk
Data	Up or down state Historic failure times + causes Support for CM choice	Experienced renewal efficiency Service results + experience Support for PBM choice	Support relation condition-failure FMECA results + experience Support for CBM choice	As with CBM + failure impact Impact experience Support for RBM choice
<b>'HI' if all in CBM approach</b>	<b>Up or down state indicator</b>	<b>Elapsed period</b>	<b>Quantified condition (HI)</b>	<b>Quantified risk (RI)</b>

## **8 REFERENTIES**

- [1] M. v. L. M. T. M. v. N. Turabi Yildirim, „Cybersecurity Implementatierichtlijn Objecten, RWS informatie,” CIV/IRN/Security Centre/Security by Design, 2021.
- [2] IEC , „IEC 62443 Cyber security for Industrial Automation and Control Systems,” 2009.
- [3] IEC, „IEC 62357 Power systems management and associated information exchange - Part 1: Reference architecture,” 2016.
- [4] R. Ross en P. Ypma, „Data analytics for decision-making about preventive replacement and incident evaluation with ageing assets,” in *Nov 20-24, Cigré Colloquium SC A1/B2/D1*, New Delhi, India, 2019.
- [5] R. Ross, *Data Lakes – their role in predictive maintenance strategy*, Berlin, 2020.
- [6] R. Ross, *Reliability Analysis for Asset Management of Electric Power Grids*, Wiley-IEEE Press, 2019, p. 520.
- [7] R. Ross, *Presentation on Technical Asset Management and Grid Resilience*, Institute of Electrical Technology, Universitat Politècnica de València.
- [8] R. Ross, P. Ypma en G. Koopmans, „Weighted Linear Regression based Data Analytics for Decision Making after Early Failures,” in *Proceedings IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference*, Brisbane, 2021.
- [9] R. Ross, „Power Function Algorithm for Linear Regression Weights with Weibull Data Analysis,” 2022.

**OPEN UP**  
**NEW** HAN\_ UNIVERSITY  
OF APPLIED SCIENCES  
**HORIZONS.**