

Bepalen faalkans en hersteltijden voor Gemaal IJmuiden

Slim Watermanagement - impactanalyse van maatregelen gemaal IJmuiden op de faalkans van het NZK/ARK

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat

Referentie: INFR210421-R-001-3

Revisie: 3

Datum: 29 oktober 2021

Iv-Infra b.v.

Ingenieursbureau met Passie voor Techniek

Titel document: Bepalen faalkans en hersteltijden voor Gemaal IJmuiden
Ondertitel document: Slim Watermanagement - impactanalyse van maatregelen gemaal IJmuiden op de faalkans van het NZK/ARK
Referentie: INFR210421-R-001-3
Revisie: 3
Datum: 29 oktober 2021
Opdrachtgever: Rijkswaterstaat
Projectnummer opdrachtgever: Zaaknummer 31168856
Project: INFR210421 Slim Watermanagement - Bepalen faalkans gemaal IJmuiden

Revisie	Status	Datum	Auteur(s)	Gecontroleerd	Toelichting
0	Concept	13-08-2021	R. Huijmans	E. Persoon	Conceptrapportage voor bespreking met experts
1	Definitief concept	09-09-2021	R. Huijmans	E. Persoon	Conceptrapportage voor bespreking met projectgroep Faalkansanalyse. Opmerkingen n.a.v. expertoverleg d.d. 24-08-2021 verwerkt
2	Definitief concept	21-10-2021	R. Huijmans	E. Persoon	Definitieve conceptrapportage. Opmerkingen n.a.v. bespreking SWM – Projectgroep Faalkansanalyse verwerkt. “Knoppen Memo HKV” toegevoegd o.b.v. [5].
3	Definitief	29-10-2021	R. Huijmans	E. Persoon	Rapportage definitief gemaakt na bespreking met expertgroep en HKV d.d. 28-10-2021.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
1.1.	Doel	6
1.2.	Leeswijzer	6
1.3.	Referenties	7
2	Aanpak	8
2.1.	Herijking oorspronkelijke situatie	8
2.1.1.	Reproducen tabellen Notitie Delta-Pi	9
2.1.2.	Herijking Notitie Delta-Pi	10
2.2.	Deel I: Impact maatregelen op faalkans Gemaal IJmuiden	10
2.3.	Deel II: Draaiknoppen Gemaal IJmuiden	11
3	Herijking 0-situatie	12
3.1.	Onderhoudsdata	12
3.2.	Recente systeemmutaties	12
3.3.	Andere keuzes Notitie Delta-Pi	13
3.3.1.	Falen SVS-schakelaars	13
3.3.2.	Redundantiefactoren	13
3.3.3.	Netuitval	14
3.4.	Resultaat herijking	15
4	Deel I - Modelling en Aannamen	18
4.1.	Maatregel A1: Het borgen en vergroten van de pompcapaciteit	18
4.1.1.	Modelling	19
4.1.2.	Aannamen	20
4.2.	Maatregel A2: Het borgen en vergroten van de pompcapaciteit	21
4.2.1.	Modelling	22
4.2.2.	Aannamen	24
4.3.	Maatregel B: Tijdelijke pompcapaciteit vergroten, kostenbeheersing verbeteren	24
4.3.1.	Modelling	24
4.3.2.	Aannamen	25
4.4.	Maatregel C: Onderhoudsmaatregelen	25
4.4.1.	Modelling	25
4.4.2.	Aannamen	26
4.5.	Maatregel D: Adaptiviteit van het gemaal	27
4.5.1.	Modelling	27
4.5.2.	Aannamen	28
4.6.	Maatregel E: Compartimenteren van het gemaal	28
4.6.1.	Modelling	29
4.6.2.	Aannamen	29

4.7.	Maatregel F: Optimaliseren van de Energievoorziening	29
4.7.1.	Modellering	30
4.7.2.	Aannamen	30
4.8.	Simulatie Maatregel A, B en C	30
4.9.	Simulatie Maatregel D, E en F	31
5	Deel I - Resultaten	32
5.1.	Resultaten per maatregel	32
5.1.1.	Maatregel A1	32
5.1.2.	Maatregel A2	32
5.1.3.	Maatregel B	33
5.1.4.	Maatregel C	34
5.1.5.	Maatregel D	34
5.1.6.	Maatregel E1	35
5.1.7.	Maatregel E2	36
5.1.8.	Maatregel F	36
5.2.	Resultaten simulaties	37
5.2.1.	Simulatie Maatregel A1, B en C	37
5.2.2.	Simulatie Maatregel A2, B en C	38
5.2.3.	Simulatie Maatregel D, E1 en F	39
5.2.4.	Simulatie Maatregel D, E2 en F	40
6	Deel II - Draaiknoppen	42
6.1.	Draaiknoppen 0-situatie	42
6.2.	Draaiknoppen RCM	44
6.3.	Draaiknoppen Memo HKV	46
6.3.1.	Knoppen Gemaal IJmuiden voor faalkans NZK/ARK: 1/200	47
6.3.2.	Knoppen Gemaal IJmuiden voor faalkans NZK/ARK: 1/500	49
6.3.3.	Knoppen Gemaal IJmuiden voor faalkans NZK/ARK: 1/1000	54
7	Conclusie & Aanbevelingen	55
7.1.	Conclusie	55
7.2.	Aanbevelingen	55
BIJLAGEN		57
A.	Notitie Delta-Pi – Bijlage 1	57
B.	Notitie Delta-Pi – Bijlage 3	58
C.	0-situatie Gemaal	59
D.	0-situatie Gemaal en Spuisluis	60
E.	Maatregel A1	61
F.	Maatregel A2	62
G.	Maatregel B	63
H.	Maatregel C	64

I.	Maatregel D	65
J.	Maatregel E1	66
K.	Maatregel E2	67
L.	Maatregel F	68
M.	Simulatie Maatregel A1, B, C	69
N.	Simulatie Maatregel A2, B, C	70
O.	Simulatie Maatregel D, E1, F	71
P.	Simulatie Maatregel D, E2, F	72
Q.	Resultaten met weergave verschil oorspronkelijke analyse	73
R.	Detailbladen niet-beschikbaarheid en faalfrequenties 0-situatie	74
S.	Detailblad niet-beschikbaarheid en faalfrequenties Gemaal ter input DEZY	75

1 Inleiding

Het Deltaprogramma Zoetwater bevat een groot aantal initiatieven en maatregelen om de zoetwatervoorziening in Nederland robuuster te maken voor toekomstige effecten van klimaatverandering en om knelpunten die er nu al zijn aan te pakken. Slim Watermanagement (SWM) is één van de maatregelen in het uitvoeringsprogramma van het Deltaprogramma Zoetwater en draagt bij aan het realiseren van de doelen die voor zoetwater zijn geformuleerd [1].

In 2017 is een faalkansanalyse voor het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal (NZK/ARK) uitgevoerd. Daarvoor is het DEZY-model gebruikt waarmee relatief eenvoudig en snel sommen kunnen worden gemaakt. Voor dit model is de toenmalige faalkans van Gemaal IJmuiden bepaald [2] en toegepast. Een belangrijke conclusie van de faalkansstudie is de grote afhankelijkheid van het systeem NZK/ARK van het gemaal-/spuicomplex IJmuiden, en daarmee van de kans van optreden van storingen in dit object. In het kader van het Vervangings- en Renovatieprogramma (VenR) worden verbetermaatregelen voorgesteld die de faalkans van het Gemaal (aanzienlijk) zullen reduceren. Om met DEZY te kunnen berekenen wat een verbeterde faalkans betekent voor de faalkans van het NZK/ARK, moet de faalkans na realisatie van deze maatregelen opnieuw vastgesteld worden.

1.1. Doel

Omdat de verbetermaatregelen voor het Gemaal in VenR nog voornamelijk kwalitatief geformuleerde wensen en ideeën zijn, en nog niet geconcretiseerd, wil Rijkswaterstaat binnen SWM nagaan wat wijziging in de beschikbaarheid van bepaalde faalmodi [2] doet met de faalkans van het Gemaal. In deze rapportage kwantificeren we de efficiëntie van de voorgestelde maatregelen door middel van een faalkansanalyse. Hierbij bepalen we (1) de effecten van de maatregelen op de faalkans van het gemaal zodat daarmee de invloed op de faalkans van NZK/ARK-watersysteem kan worden bepaald en (2) vanuit het watersysteem redenerend: aan welke “knoppen” gedraaid kan worden om een acceptabele gedefinieerde faalkans voor het NZK/ARK te bereiken.

1.2. Leeswijzer

Het voorliggend document focust zich alleen op het Gemaal; de spuisluis wordt niet beschouwd. In dit rapport onderscheiden we twee “delen”. In Deel I berekenen we de effecten van de maatregelen op de faalkans van het gemaal zodat daarmee de invloed op de faalkans van het NZK/ARK kan worden bepaald. In Deel II bepalen we de knoppen waaraan gedraaid kan worden om een acceptabele gedefinieerde faalkans voor het NZK/ARK te bereiken.

In Hoofdstuk 2 lichten we de aanpak van de analyse toe. Vervolgens wordt in Hoofdstuk 3 de herijking van de Notitie Delta-Pi uiteengezet. Hieruit volgt een nieuwe 0-situatie die als referentie fungeert voor het kwantificeren van de impact van de bedachte maatregelen (Deel I, Hoofdstuk 4 en 5) en het bepalen van de “draaiknoppen” (Deel II, Hoofdstuk 6). In Hoofdstuk 4 beschrijven we de voorgestelde maatregelen evenals

de modelleerwijze en gemaakte aannamen. In Hoofdstuk 5 presenteren we de resultaten van de impact van de mogelijke maatregelen en enkele simulaties van combinaties van maatregelen. In Hoofdstuk 6 staan de resultaten van het onderzoek naar de “draaiknoppen”. We sluiten het rapport af met een korte conclusie en aanbevelingen in Hoofdstuk 7.

1.3. Referenties

- [1] Rijkswaterstaat (23 maart 2021). *Vraagspecificatie Bepalen faalkans en hersteltijden voor Gemaal IJmuiden*. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- [2] de Jong, P. (28 april 2016). *Afleiding faalkansen en hersteltijden voor Gemaal en Spuisluis IJmuiden*. Delta-Pi.
- [3] Huijmans, R., Willems, A. (2021). *Rapportage Overbrugging Gemaal IJmuiden*. Iv-Infra.
- [4] Movares. (9 april 2021) *Betrouwbaarheid van elektriciteitsnetten in Nederland -Resultaten 2020*. Netbeheer Nederland.
- [5] Vermeulen, C. (29 september 2021). *Memo Aanpak bepalen faalkans gemaal, gegeven faalkans watersysteem*. HKV.

2 Aanpak

In dit hoofdstuk beschrijven we de aanpak van de herijking, Deel I en Deel II van de analyse.

2.1. Herijking oorspronkelijke situatie

Zowel voor (1) het bepalen van de effecten van de voorgestelde maatregelen op de faalkans van het gemaal als voor (2) het bepalen van de “knoppen” waarmee we de faalkans van het NZK/ARK kunnen verkleinen tot een toekomstige faalkans, fungeert de Notitie Delta-Pi uit 2016 (zie [2]) als basis. In de notitie is een set aan tabellen gepresenteerd waarin inschattingen van faalkansen en hersteltijden zijn opgenomen voor het gemaal en de spuisluis IJmuiden.

De tabellen in Figuur 1 beschrijven de niet-beschikbaarheid én faalfrequenties van het gemaal, gecategoriseerd per faalconfiguratie (1 maalgang gefaald, 2 maalgangen gefaald, etc.) en herstelduurklasse (halve dag, 1 dag, 1 week, etc.). De niet-beschikbaarheden en faalfrequenties worden bepaald door de som te nemen van faalmodi die leiden tot het falen van één of meerdere maalgangen. De faalmodi waarop de waarden in Figuur 1 zijn gebaseerd, zijn terug te vinden in de Notitie Delta-Pi. Onderstaande tabellen zijn vervolgens gebruikt als invoerbestand in DEZY om de faalkans van het NZK/ARK te bepalen.

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Herstelduurklasse					
halve dag	7,07E-03	1,38E-05	4,48E-05	3,45E-04	5,06E-05
1 dag	1,12E-03	1,89E-05	0,00E+00	0,00E+00	1,46E-05
1 week	4,51E-03	9,11E-05	0,00E+00	0,00E+00	2,84E-04
1 maand	4,39E-02	2,21E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	1,23E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,21E-03

Gemaal	in faaltempo/faalfrequentie [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Herstelduurklasse					
halve dag	2,08E-03	1,54E-05	8,96E-06	1,27E-04	1,41E-04
1 dag	3,65E-05	9,00E-07	0,00E+00	0,00E+00	6,07E-07
1 week	3,42E-05	1,25E-06	0,00E+00	0,00E+00	2,53E-06
1 maand	6,73E-05	5,72E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	8,00E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,31E-06

Figuur 1: Faalkansen Gemaal IJmuiden, zoals opgenomen in Bijlage 1 van Notitie Delta-Pi.

Naast de tabellen in Figuur 1 zijn in de notitie soortgelijke tabellen opgenomen gebaseerd op faalmodi van de spuisluis en gebaseerd op faalmodi van algemene onderdelen met gevolgen voor gemaal én spuisluis. Een enkele voorgestelde maatregel heeft invloed op de waarden van deze algemene onderdelen, in Figuur 2 zijn de bijbehorende tabellen opgenomen.

Gemaal en Spuisl.	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduurklasse					6 maalgangen en 7 spuikokers gefaald
halve dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,12E-04
1 dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,95E-05
1 week	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,72E-04
1 maand	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-05
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,08E-03

Gemaal en Spuisl.	in faaltempo/faalfrequentie [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduurklasse					6 maalgangen en 7 spuikokers gefaald
halve dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,65E-04
1 dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,34E-06
1 week	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,85E-06
1 maand	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,00E-07
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,08E-07

Figuur 2: Faalkansen Gemaal en Spuisluis, zoals opgenomen in Bijlage 3 van Notitie Delta-Pi.

2.1.1. Reproducieren tabellen Notitie Delta-Pi

Om de tabellen in de Notitie van Delta-Pi [2] te reproducieren hebben we de faalmodi uit de notitie opgenomen in een Excel-bestand (.xlsx), zie Figuur 3. Ter illustratie: door de som te nemen van alle faalmodi onder *1 maalgang gefaald*, met herstelduurklasse *halve dag* worden de waarden gevonden die linksboven in de tabellen in Figuur 1 staan.

Faalmodi	Faaldata						Faalconfiguratieklasse									
	Merkbaar / Niet merkbaar falen	Testinterval (net-merkbaar falen) [uur]	Lambda praktijk [-/Aur]	Reparatieduur [uur]	Niet-beschikbaarheid [-]	Herstelduurklasse (halve dag / dag / week / maand / kwartaal)	in niet-beschikbaarheden [-]									
							1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Veroudering cilinder persschuif, incl. statische koppeling leiding / cilinder	mf	0,00E+00	9,37E-06	96,00	9,00E-04	week	9,00E-04					9,37E-06				
Veroudering bevestigingspunten ophanging door corrosie	mf	0,00E+00	9,22E-07	169,00	1,39E-04	week	1,39E-04					9,22E-07				
Blokkeren cardanische ophanging door corrosie	mf	0,00E+00	4,49E-06	169,00	7,55E-04	week	7,55E-04					4,49E-06				
Uitharden en daardoor lekkage / falen hydrauliekslangen	mf	0,00E+00	3,16E-05	3,00	9,48E-05	halve dag	9,48E-05					3,16E-05				
Falen door veroudering naderingschakelaar	mf	0,00E+00	8,44E-05	2,00	1,69E-04	halve dag	1,69E-04					8,44E-05				
Vastzitten kleppenraam door vervuiling / veroudering	mf	0,00E+00	7,59E-06	9,00	6,09E-05	halve dag	6,09E-05					7,59E-06				
Falen schuifgeleiding door verkeerde bevestigingen (menseijk falen)	mf	0,00E+00	6,70E-05	9,00	6,09E-04	halve dag	6,09E-04					6,70E-05				
Verminderde doorstroomopening / watertoevoer t.g.v. aangroei saalfse aan kroos	mf	0,00E+00	8,96E-06	5,00	4,48E-05	halve dag		4,48E-05					8,96E-06			
Random falen glasvezelverbinding (vervuiling, verkeerd onderhoud)	mf	0,00E+00	1,14E-04	2,00	2,28E-04	halve dag	2,28E-04					1,14E-04				
Slecht contact door corrosie of trillingen	mf	0,00E+00	1,08E-06	25,00	2,71E-05	dag	2,71E-05					1,08E-06				
Beschadigen wikkelingen (agv trillen, lekkend water, etc.)	mf	0,00E+00	7,14E-06	730,00	5,21E-03	maand	5,21E-03					7,14E-06				

Figuur 3: Screenshot Excel-bestand Notitie Delta-Pi

De verwachte *niet-beschikbaarheid* van een faalmechanisme is gelijk aan het product van de *Lambda praktijk* (ofwel verwachte faalfrequentie) en de (gemiddelde) *Reparatieduur*. *Lambda praktijk* betreft hier de faalfrequentie van het totaal aantal componenten waarop het faalmechanisme betrekking heeft.

Bijvoorbeeld, het faalmechanisme *Veroudering cilinder persschuif, incl. statische koppeling leiding / cilinder* heeft betrekking op alle persschuif-cilinders in het gemaal. Dit zijn er in totaal 24. Er kan dan gesteld worden dat de faalfrequentie per cilinder *Lambda praktijk / 24* is.

Omdat we niet de beschikking hebben over het oorspronkelijke RCMCost-model of de Excel-sheet waarmee de tabellen in de Notitie Delta-Pi [2] gegenereerd zijn, kunnen wij de *Lambda praktijk* niet reproduceren. Wij gebruiken daarom de faalfrequenties in de kolom *Lambda praktijk* als basis voor het kwantificeren van de maatregel-impact.

2.1.2. Herijking Notitie Delta-Pi

Omdat de faalmodi in de Notitie Delta Pi [2] en daarbij horende faaldata dateren uit 2016, zijn enkele faaldata mogelijk niet (meer) representatief. Oorzaken hiervan zijn bijvoorbeeld (1) nieuwe inzichten in levensduur en reparatieduur, (2) recente mutaties aan de systemen, of (3) andere keuzes t.o.v. Notitie Delta-Pi [2]. We updaten de faalmodi door deze te spiegelen aan het RCMCost-bestand uit 2018. Daarnaast analyseren we storingsdata op trends en nieuwe inzichten wat betreft de Mean Time To Repair (MTTR) of faalfrequentie. Op basis daarvan actualiseren we de faaldata. Het geüpdatete overzicht van faalmodi en faaldata noemen wij de '0-situatie'.

2.2. Deel I: Impact maatregelen op faalkans Gemaal IJmuiden

Nadat de 0-situatie vaststaat kan het effect van de maatregelen worden onderzocht. Rijkswaterstaat heeft de volgende mogelijke maatregelen voorgesteld:

- Maatregel A: Het borgen en vergroten van de pompcapaciteit;
- Maatregel B: Tijdelijke pompcapaciteit vergroten en kostenbeheersing verbeteren;
- Maatregel C: Onderhoudsmaatregelen;
- Maatregel D: Adaptiviteit van het gemaal;
- Maatregel E: Compartimenteren van het gemaal;
- Maatregel F: Optimaliseren van het gemaal.

In tegenstelling tot de vraagspecificatie wordt het verschil tussen "overbrugging" en "VenR" hier bewust niet aangegeven omdat het gaat om de effectiviteit van de maatregel. Als bijvoorbeeld maatregel C wordt ingezet op enig moment, dan zal bij succes van de maatregel deze een permanente verbetering zijn. Ook na de VenR.

De inhoud van de maatregelen en hoe deze verdisconteerd zijn in de Excel-werkbladen is nader toegelicht in Hoofdstuk 4. Aangezien de invulling van de bedachte maatregelen nog niet concreet is, zijn enkele aannamen noodzakelijk. Deze worden puntsgewijs besproken per maatregel. De resultaten per maatregel en van enkele combinaties van maatregelen zijn opgenomen in Hoofdstuk 5.

2.3. Deel II: Draaiknoppen Gemaal IJmuiden

Op basis van de faalkans van het gemaal uit 2016 is de verwachte kans dat het NZK/ARK een waterpeil van NAP +0,00m bereikt gelijk aan 1/75 per jaar [5]. In dit deel moet worden nagegaan aan welke “knoppen” Rijkswaterstaat kan draaien om een – nog vast te stellen – toekomstige faalkans van het NZK/ARK te realiseren.

Om de ‘knoppen’ te identificeren waaraan gedraaid kan worden om de verwachte faalkans van het NZK/ARK-watersysteem te verkleinen, hebben we twee invalshoeken. Voor de eerste invalshoek redeneren we vanuit het Gemaal IJmuiden. Aangezien er een grote afhankelijkheid bestaat tussen falen van het gemaal en de faalkans van het NZK/ARK-systeem zal een verbetering in beschikbaarheid van het gemaal leiden tot een lagere faalkans van het NZK/ARK. Het doel is dus om in kaart te brengen welke maatregelen de beschikbaarheid van Gemaal IJmuiden vergroten. Dit bepalen we (1) met behulp van een analyse van de meest dominante faalmechanismen in de huidige 0-situatie en (2) met behulp van de functie van RCMCost, waarmee we een rangschikking van bijdragen van de diverse faalmodi aan de niet-beschikbaarheid van het Gemaal kunnen presenteren. Daaruit kunnen we afleiden voor welke onderdelen maatregelen het meeste effect zullen hebben op de verwachte niet-beschikbaarheid van het gemaal, en dus wat de beste knoppen zijn om aan te draaien.

Met de tweede invalshoek redeneren we vanuit de gedachte welke faalkansreducties nodig zijn om een gewenste acceptabele faalkans van het NZK/ARK te bereiken. Gekozen is om een verwachte frequentie per jaar te onderzoeken van 1/100, 1/200, 1/500 en 1/1000 dat NAP + 0,00m wordt overschreden. Dit is een gerichte aanpak en berust op een iteratieslag met HKV, beheerder van het DEZY-model. HKV levert hierbij de benodigde faalkansreducties van de herijkte 0-situatie om de verwachte overschrijdingsfrequentie van het NZK/ARK te verkleinen tot 1/100, 1/200, 1/500 en 1/1000 jaar. Vervolgens gaan wij na hoe de benodigde faalkansreducties te bereiken zijn met praktische maatregelen. Zodoende kan worden bepaald welke faalkans van het watersysteem haalbaar is door aan “knoppen” van het gemaal te “draaien”.

3 Herijking 0-situatie

Omdat de faalmodi en daarbij horende faaldata dateren uit 2016, zijn enkele faaldata mogelijk niet (meer) representatief. Oorzaken hiervoor zijn bijvoorbeeld (1) nieuwe inzichten in levensduur en reparatieduur, (2) recente mutaties aan de systemen of (3) andere keuzes Notitie Delta-Pi. In dit hoofdstuk actualiseren we de faaldata waar mogelijk en geven de tabellen met de daaruit volgende resultaten. Deze vormen bij de analyse van de maatregelen (Deel I) én bij het bepalen van de draaiknoppen (Deel II) de referentiesituatie.

3.1. Onderhoudsdata

Uit analyse van de onderhoudsdata 2016 – 2021 blijkt het pompproces van maalgang 5 met ca. 100 meldingen de meeste storingen te bevatten. Ter vergelijking: de overige pompen waren in die periode ca. 55 keer in storing. De storingen aan het pompproces van maalgang 5 kennen uiteenlopende oorzaken. Bij ca. 72 meldingen met omschrijving “Pomp start niet” of “Pomp geeft storing” is de oorzaak helaas niet te herleiden. Overige meldingen zijn te verklaren door een storing aan één of meerdere persschuiven, water in de pomp, het falen van de niveaumeting buiten, of netwerkfouten.

Omdat we de achterliggende gegevens uit het oorspronkelijke RCMCost-model niet hebben en de storingsregistratie te weinig informatie geeft passen we de schattingen uit 2016 in de Notitie Delta-Pi niet aan. Tijdens het schrijven van dit document is Rijkswaterstaat in samenwerking met TNO bezig met een RCA (Root Cause Analysis) naar de oorzaak van het defect van pomp 5. Mogelijk dat dit een verklaring geeft voor de 72 storingen aan de pomp. Op basis van de uitkomst kunnen de storingen opnieuw geëvalueerd worden en mogelijk ook de schattingen uit 2016.

3.2. Recente systeemmutaties

Zoals omschreven in §2.1.2 bepalen we fysieke wijzigingen aan het gemaal zelf, denk aan wijzigingen aan de aandrijflijn of bediening, door de genoemde faalmodi in de Notitie te vergelijken met de faalmodi in een RCMCost-bestand uit 2018.

Uit deze analyse blijkt dat het bedien- en besturingssysteem is vernieuwd. In het RCM-model worden drie bedienvormen genoemd: reguliere bediening op afstand, noodbediening en calamiteitenbediening. Tevens wordt aangegeven dat enkele effecten van falen nog onderzocht moeten worden (bijvoorbeeld PLC Centraal, Safety PLC etc.). Met deze onzekerheden en de onzekerheden omtrent de faalkansen in de Notitie Delta-Pi (zie §2.1.1) is er onvoldoende achterliggende informatie om het aanpassen van de faaldata in de notitie te kunnen onderbouwen.

In de tabellen in Bijlage C en D is met geel aangegeven welke faalmechanismen niet terug te vinden zijn in RCMCost, of wel terug te vinden zijn, maar bij onderdelen die in de tussentijd zijn vervangen. Voor deze faalmechanismen geldt dat de faalfrequentie uit de notitie mogelijk niet meer representatief is, dat de MTTR soms is aangepast, en dat er in de nieuwe situatie in sommige gevallen sprake is van redundantie, waar dit

in de notitie nergens uit blijkt. We hebben voor deze faalmechanismen ook de waarden uit de Notitie Delta-Pi aangehouden

3.3. Andere keuzes Notitie Delta-Pi

3.3.1. Falen SVS-schakelaars

In de Notitie zijn een tweetal faalmodi opgenomen die – volgens de Notitie – leiden tot zowel het falen van één maalgang als 5 of 6 maalgangen. Het gaat om de volgende faalmechanismen:

- Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T5 (pomp 5);
- Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T1 (pomp 1 en 2).

Voor deze faalmodi is een hersteltijd aangehouden van 1461 uur respectievelijk 73,1 uur. In het RCMCost-bestand staat als toelichting op de faalmechanismen dat falen van de SVS-schakelaar T5 slechts 120 van de 1460 uur leidt tot uitval van 5 of 6 maalgangen. De niet-beschikbaarheid van de SVS-schakelaar met als gevolg dat 5 of 6 maalgangen falen is in de huidige notitie dus hoger dan uit de informatie uit RCMCost volgt. Mogelijk gaat het om een conservatieve keuze om het aantal faalmechanismen met verschillende resultaten of in het algemeen te beperken. Wij kiezen ervoor om in de 0-situatie de effecten van het falen apart te beschouwen: (1) één faalmechanisme voor het falen van de SVS-schakelaar dat leidt tot het falen van één maalgang met een Mean Time To Repair (MTTR) van 1460 uur en (2) één faalmechanisme voor het falen van de SVS-schakelaar dat leidt tot het falen van 5 of 6 maalgangen met een MTTR van 120 uur. Dezelfde aanpak geldt voor de SVS-schakelaar van T1, maar daar is de verwachte herstelduur voor 5 of 6 maalgangen gelijk aan 8 uur. We nemen de herstelduur van in dit geval 2 maalgangen gelijk aan 1460 uur net als voor de SVS-schakelaar T5 geldt. Deze waarde volgt ook uit RCMCost, waarom in de notitie voor 73,1 uur is gekozen is niet bekend. De aangepaste regels zijn in de lijst in Bijlage C gekleurd weergegeven.

3.3.2. Redundantiefactoren

In de Notitie Delta-Pi [2] zijn op een aantal faalmodi zogenoemde redundantiefactoren, ook wel RF genoemd, toegepast. Een redundantiefactor kan gebruikt worden om aan te geven dat de kans op falen van het gemaal kleiner is dan de kans van optreden van het faalmechanisme, omdat het betreffende onderdeel redundant is uitgevoerd, of omdat lokaal falen niet altijd leidt tot systeemfalen. Daarnaast wordt het gebruikt om aan te geven dat het herstel van het systeem minder lang duurt dan van het component, bijvoorbeeld als overgeschakeld kan worden op een noodvoorziening. Zo is voor de faalmechanismen genoemd in §3.3.1 in RCMCost voor de situatie dat het gemaal volledig faalt rekening gehouden met redundantiefactoren van $120/1460=0,0822$ en $8/1460=0,0055$.

Uit het RCMCost-bestand blijkt dat er diverse redundantiefactoren zijn gekozen. Soms zijn deze, wellicht conservatief, niet in de Notitie meegenomen, zoals bij de faalmechanismen in §3.3.1. Factoren die wel in de faalkansanalyse zijn meegenomen zijn in de Notitie Delta-Pi vermenigvuldigd met de MTTR. We hebben geen informatie waarom deze keuze zo gemaakt is, het is mogelijk een vereenvoudiging omdat het voor de resulterende niet-beschikbaarheid van een faalmechanisme niet relevant is of de RF vermenigvuldigd is met de faalfrequentie of de reparatietijd. Het gaat echter vaak om situaties waarin falen alleen gevolgen heeft in

combinatie met een andere gebeurtenis, en dus om een lagere faalfrequentie van het gemaal. Dit blijkt bij de onderstaande faalmechanismen het geval:

- *Falen van Ni/Cd accu's UPS110V*
- *Falen UPS 110V*
- *Falen van de accu's UPS pomp5&6*
- *Falen UPS pomp 5&6*
- *Falen hijs- en transportinstallatie en lieren (persschuiven)*
- *Externe faaloorzaak - Koperdiefstal (random falen) i.c.m. blikseminslag*
- *Externe faaloorzaak - Blikseminslag i.c.m. deels ontbrekende overspanningsbeveiliging aanwezig*
- *Falen signaalgevers*
- *Falen componenten CyberSecurity systeem;*
- *Falen van de luchtbehandelingskast / luchtbevochtiger omvormerruimte 1 t/m 4;*
- *Falen van de luchtbehandelingskast / luchtbevochtiger omvormerruimte 5 & 6*
- *Economische veroudering LAN netwerk*
- *Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T7 (rail B)*
- *Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T3 (Rail A)*
- *Uitval door verouderen trafo (T3)*
- *Uitval door verouderen trafo (T7)*
- *Falen afzuigventilator T3*
- *Economische veroudering LS verdeelinstallatie geheel gemaal zonder spuisluis*
- *Veroudering / falen van hoofdschakelaar H (rail A/rail B)*
- *Veroudering / falen van hoofdschakelaar NSA*
- *Veroudering brandstoftank (10000 liter), NSA + gebouwverwarming*
- *Veroudering noodstroomdieselaggregaat, inclusief generator. RF 1% (effect alleen bij uitval energienet)*
- *Random falen generator NSA*
- *Falen van de accu's UPS (in oude hoogspanningsruimte)*
- *Falen UPS (in oude hoogspanningsruimte).*

Om te zorgen dat de niet-beschikbaarheidswaarde (die dus per faalmechanisme hetzelfde blijft) wordt meegenomen onder de herstelduurklasse die past bij het herstel als daadwerkelijk falen van het gemaal optreedt, kiezen we ervoor de factor te vermenigvuldigen met de faalfrequentie. De resultaten zijn gekleurd weergegeven in Bijlage C.

3.3.3. Netuitval

Falen van het energienet is niet in RCMCost opgenomen, omdat het geen falen van een onderdeel van het object betreft. Er is wel bij de diverse noodstroomvoorzieningen rekening gehouden met een redundantiefactor (zie §3.3.2). Er is echter onvoldoende noodstroomcapaciteit om de pompen in bedrijf te houden. Ook als de noodstroomvoorzieningen functioneren heeft netuitval dus gevolgen voor de beschikbaarheid van het gemaal.

In de Notitie Delta-Pi is uitval van de energievoorziening niet als apart faalmechanisme terug te vinden, onder de faalmechanismen van het gemaal is wel 'Falen van alle maalgangen door CCF' opgenomen. Het zou kunnen dat netuitval als één van de oorzaken van Common Cause Failure (CCF) is beschouwd. We kunnen echter niet achterhalen met welke frequentie en duur van netuitval rekening is gehouden. Omdat één van de te beschouwen maatregelen bedoeld is om de kans op netuitval te reduceren, voegen we hiervoor in de 0-situatie een apart faalmechanisme toe. In de bestaande situatie wordt het gemaal van elektrische energie voorzien vanuit een hoogspanningsstation in Beverwijk met twee parallelle kabels langs de Noordersluisweg. Elektrisch is deze verbinding een gesloten ring. Bij mogelijke graafschade of uitval van het hoogspanningsstation is er geen redundantie in het energiesysteem.

Om de faalfrequentie van de energievoorziening te bepalen gebruiken we de landelijke, jaarlijks uitgebrachte, betrouwbaarheidscijfers [4], we gaan uit van het gemiddelde van de afgelopen 5 jaar voor het Hoog- en Middenspanningsnet. In het HS-net zijn in die periode gemiddeld 0,101 onderbrekingen per jaar geweest, in het MS-net is dit 0,176 per jaar. Een onderbreking duurde gemiddeld 44,2 minuten als deze in het HS-net optrad en 67,7 minuten in het MS-net. Uit [4] blijkt verder dat ongeveer 22% van de storingen in het MS-net veroorzaakt worden door graafschade.

We gaan daarom uit van een gemiddelde niet-beschikbaarheid van het elektriciteitsnet van $(0,101 * 44,2 + 0,22 * 0,176 * 67,7) / (8760 * 60) = 1,35E-05$, dit komt neer op gemiddeld iets meer dan 7 minuten per jaar. We vinden een faalfrequentie van ca. $(0,101 + 0,22 * 0,176) / 8760 = 1,59E-05$ per uur en een verwachte herstelduur van ca. $1,35E-05 / 1,59E-05 = 0,85$ uur = 50,71 minuten. We hebben dit faalmechanisme toegevoegd aan de lijst voor gemaal en spuisluis, zie Bijlage D.

3.4. Resultaat herijking

Met de geüpdatete faaldata hebben we de tabellen in de Notitie Delta-Pi uit 2016 geactualiseerd, zie Tabel 1 en Tabel 2. Zie ook de legenda onder Tabel 2. Groen geeft hier aan dat de faalfrequentie of niet-beschikbaarheid lager is t.o.v. de Notitie Delta-Pi. Rood geeft aan dat de faalfrequentie of niet-beschikbaarheid hoger wordt t.o.v. de Notitie Delta-Pi. Hoe donkerder de kleur wordt, des te groter het verschil ten opzichte van de notitie. Een kans van 0,00E+00 betekent dat een faalmechanisme met een bepaalde herstelduurklasse en gevolg (bijv. 3 maalgangen gefaald met herstelduurklasse 1 maand) niet voorkomt in de lijst Delta-Pi.

In dit document worden de geüpdatete tabellen de *0-situatie* genoemd. De maatregelen worden vervolgens gespiegeld aan de 0-situatie om zodoende een nauwkeurige inschatting te krijgen van de impact van de maatregelen. In Hoofdstuk 5 geven we per voorgestelde maatregel de resultaten waarbij we weergeven hoe groot het verschil met de 0-situatie is. We tonen ook de wijzigingen ten opzichte van de oorspronkelijke resultaten in de Notitie Delta-Pi, deze zijn opgenomen in Bijlage Q.

Tabel 1: Niet-beschikbaarheden en faalfrequenties 0-situatie Gemaal

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,07E-03	1,27E-05	4,48E-05	3,45E-04	5,63E-05
1 dag	1,12E-03	2,01E-05	0,00E+00	5,49E-07	1,52E-05
1 week	4,52E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,54E-04
1 maand	4,39E-02	2,21E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	1,24E-02	1,83E-03	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,08E-03	1,27E-05	8,96E-06	1,24E-04	1,46E-05
1 dag	3,65E-05	9,72E-07	0,00E+00	3,43E-08	6,31E-07
1 week	3,42E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,62E-06
1 maand	6,74E-05	5,72E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	8,02E-06	1,25E-06	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

Tabel 2: Niet-beschikbaarheden en faalfrequenties 0-situatie Gemaal en Spuisluis

Gemaal en Spuisluis	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse					6 maalgangen en 7 spuikokers gefaald
Halve dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,07E-04
1 dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 week	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 maand	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,52E-04
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,30E-03

Gemaal en Spuisluis	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse					6 maalgangen en 7 spuikokers gefaald
Halve dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,72E-04
1 dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 week	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 maand	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-07
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,55E-07



Het splitsen van de effecten van falen van de SVS-schakelaars geeft vooral een lagere niet-beschikbaarheid voor de situatie dat 5 of 6 maalgangen falen en de herstelduur van een kwartaal.

Het wijzigen van de manier waarop de redundantiefactoren zijn meegenomen heeft tot gevolg dat veel kortdurende storingen minder vaak voorkomen en er meer niet-beschikbaarheid door storingen met een lange herstelduur is.

We zien dat uitval van het energienet vooral terugkomt bij een hogere faalfrequentie in de herstelduurklasse 'Halve dag'. Omdat de herstelduur kort is, is het effect op de niet-beschikbaarheid niet zichtbaar in Tabel 2.

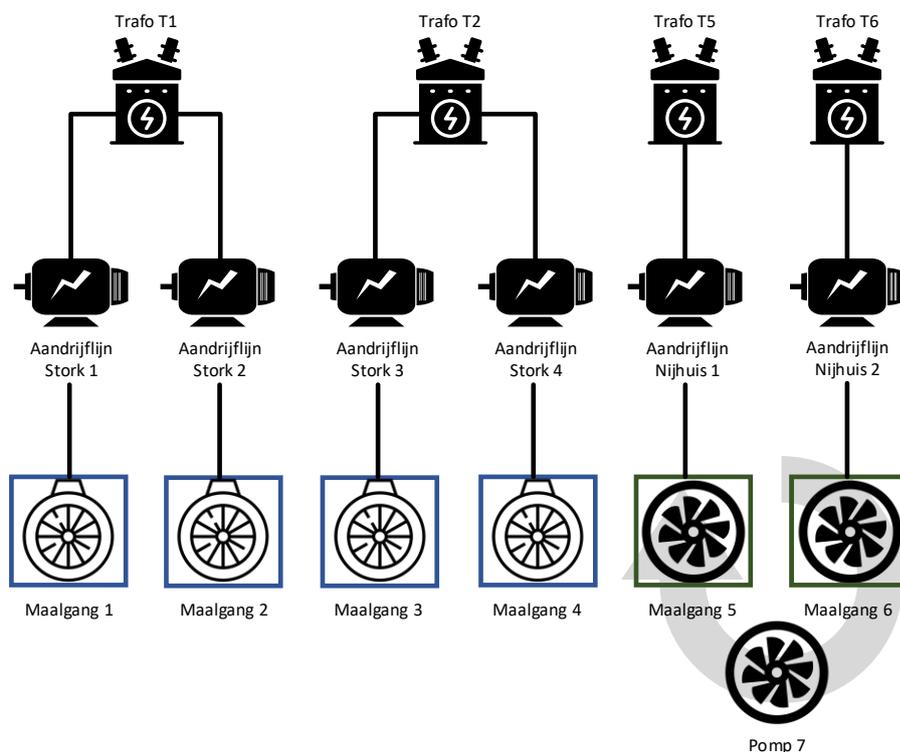
4 Deel I - Modelling en Aannamen

In dit hoofdstuk worden de voorgestelde maatregelen geïntroduceerd. Per maatregel geven we een toelichting van de modelleerwijze en de aannamen.

4.1. Maatregel A1: Het borgen en vergroten van de pompcapaciteit

Maatregel A1 betreft (1) het vervangen van de rotors van pomp 5 en pomp 6 en (2) de aanschaf van een nieuwe pomp 7, die een kopie is van pomp 5 en 6. De nieuwe pomp 7 wordt als reservepomp beschouwd van pomp 5 en 6, zoals weergegeven in Figuur 4.

Door de nieuwe pomp 7 als reservepomp van pomp 5 en 6 te zien, bestaat de mogelijkheid om – bij langdurige uitval van pomp 5 of 6 – de defecte pomp uit te hijsen en te vervangen door pomp 7. Hiermee wordt de tijd dat de maalgang niet gebruikt kan worden aanzienlijk gereduceerd. Aangezien de aandrijflijnen van pomp 1 t/m 4 verschillen van pomp 5 en 6, is het niet mogelijk om de nieuwe pomp 7 als reserve te beschouwen van pomp 1 t/m 4.



Figuur 4: Aangenomen configuratie Maatregel A1

4.1.1. Modelling

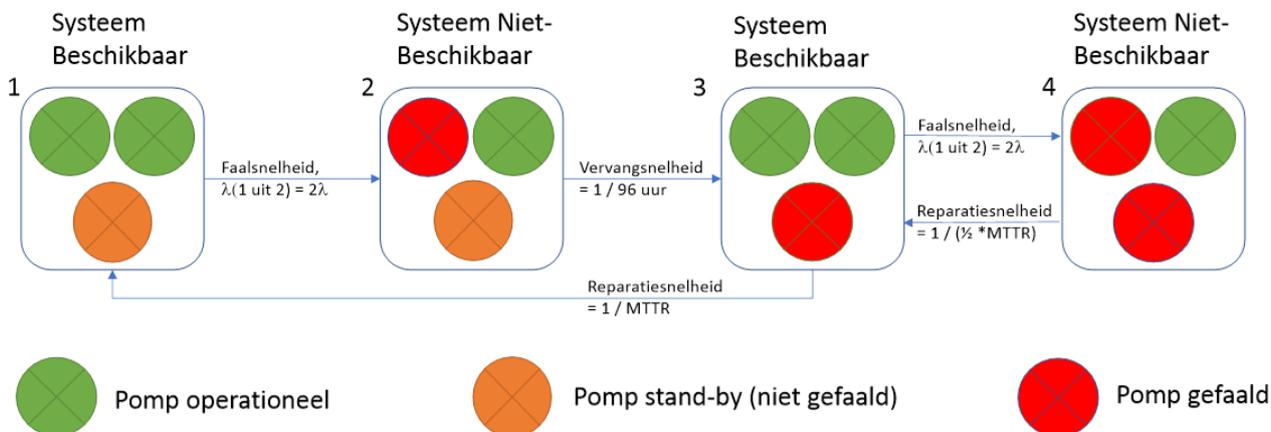
Deze maatregel brengt geen wijzigingen toe aan de huidige systemen. Het vervangen van de rotors van pomp 5 en pomp 6 zal in de praktijk een kleinere kans op falen geven, maar aan de waarde die in 2016 is aangenomen is te zien dat toen ook werd aangenomen dat dit onderdeel een kleine faalkans heeft ($2,9E-07$ per uur per pomp), en dit is in de 0-situatie niet aangepast (zie §3.1).

Wat wel wijzigt ten opzichte van de 0-situatie is de snelheid waarmee het systeem van 3 Pentair-pompen weer functioneel is bij langdurige uitval van een component. In [3] is aangenomen dat het vervangen van een pomp door de reservepomp ca. 4 dagen (96 uur) in beslag neemt. Daarmee kan worden gesteld dat de maatregel enkel effect heeft bij falen van componenten van een pomp met een MTTR langer dan 96 uur. Dit betreft de volgende faalmechanismen:

- *Beschadigen wikkelingen (agv trillen, lekkend water, etc.);*
- *Lekkage handvijzels, random falen (mogelijk door veroudering rubbers van pakking);*
- *Slijtage lager bulbpomp (achter) als gevolg van draaiuren, olietekort, trillingen);*
- *Slijtage lager bulbpomp (voor) als gevolg van draaiuren, olietekort, trillingen);*
- *Falen stator / rotor (van de elektromotor bulbpomp);*
- *Opgebouwde serieuze beschadiging waaier door objecten (random falen);*
- *Lekkage vijzels (mogelijk door veroudering rubbers van pakking), waardoor zout water in pomp binnendringt (detectie in bedrijf, door vlotters in pomp);*

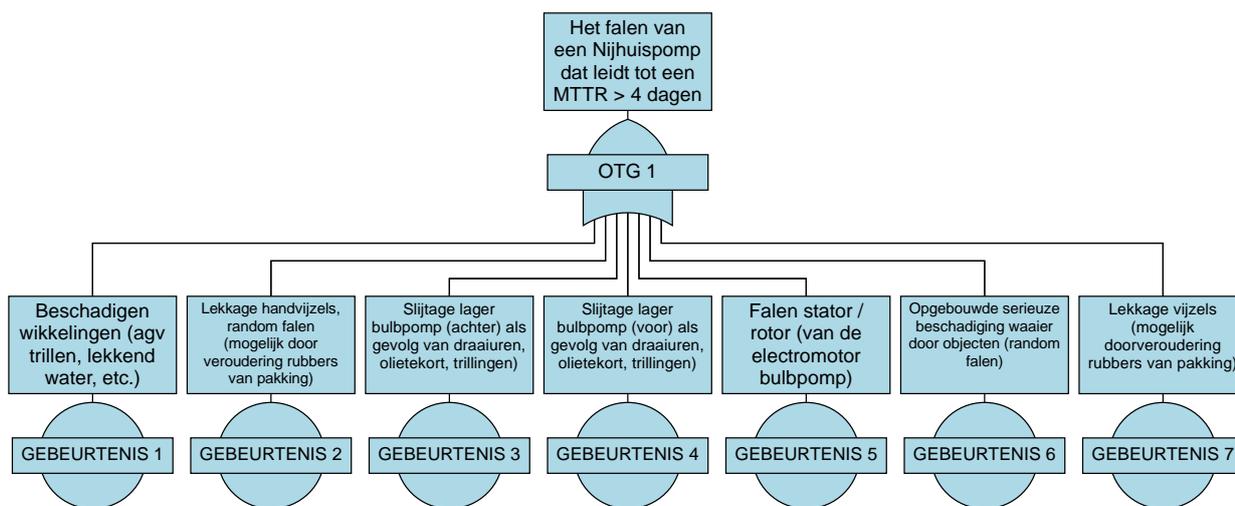
Het verdisconteren van deze vervangingsnelheid kan op twee manieren. De meest eenvoudige oplossing is het reduceren van de MTTR naar de vervangingsnelheid. Hiermee wordt de MTTR van het component gelijk aan de vervangingsnelheid. Hiermee wordt de kans dat een andere pomp defect raakt tijdens het herstel van een defecte pomp verwaarloosd. Een tweede oplossing is om het systeem te vatten in een Markovketen, waarin de kans dat een andere pomp defect gaat tijdens het herstel van een defecte pomp wel in acht wordt genomen.

Met inachtneming van het defect van pomp 5 en de vertoonde schades bij pomp 6 in augustus 2020, kan de kans dat een andere pomp defect gaat tijdens het herstel van een defecte pomp niet worden verwaarloosd. Om die reden kiezen we ervoor de niet-beschikbaarheid en faalfrequentie met behulp van een Markovketen te berekenen, zie Figuur 5. De Markovketen omschrijft de fasen waarin het systeem van drie pompen zich kan bevinden, in dit geval zijn dat vier fasen. De kansen dat een fase in een andere fase overgaat, zogenoemde *overgangskansen*, zijn gedefinieerd in de onderstaande figuur. Merk op dat λ en de *MTTR*, respectievelijk de verwachte faalkans van één pomp en de gemiddelde reparatieduur van één pomp de enige variabelen zijn.



Figuur 5: Markovketen Maatregel A1

Deze λ en de $MTTR$ zijn bepaald door de faalmechanismen van de Nijhuispomp groter dan 96 uur in een foutenboom te zetten, zie Figuur 6. Het resultaat van de Markovketen is een niet-beschikbaarheid en faalfrequentie van de drie Pentair-pompen. De resultaten van de Markovketen zijn te vinden in Bijlage E.



Figuur 6: Foutenboom Maatregel A1

4.1.2. Aannamen

Bij het modelleren van de reservepomp door middel van een Markovketen doen we de volgende aannamen:

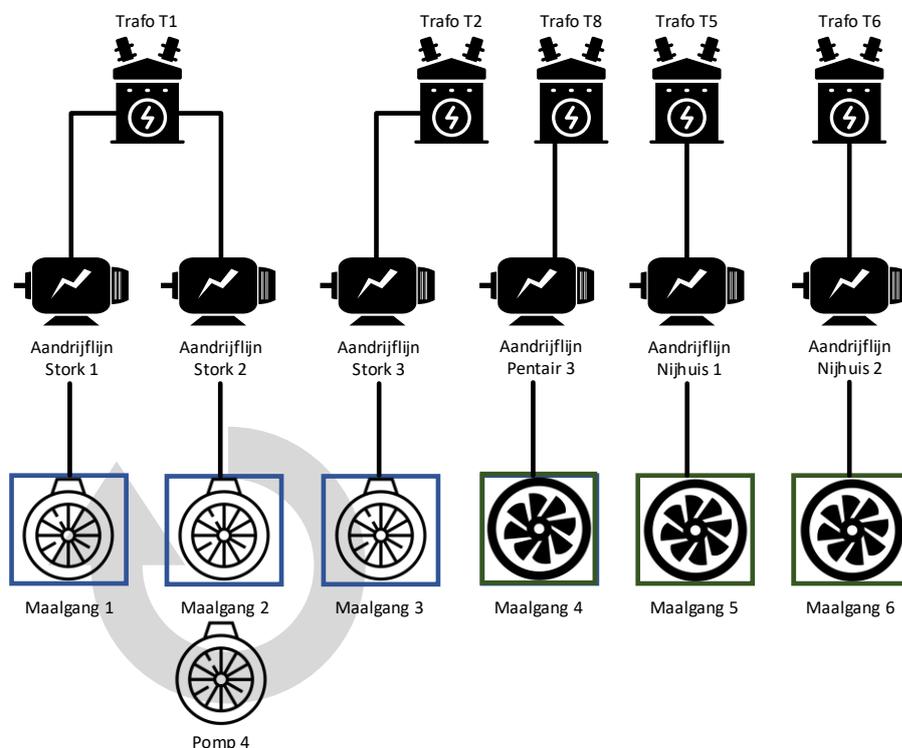
- Voor pompen 5 en 6 zijn dezelfde faaldata gehanteerd zoals deze in 2016 zijn vastgesteld (zie §3.1), voor de nieuwe pomp 7 houden we dezelfde waarden aan.
- Het vervangen van een gefaalde pomp door de reservepomp kost gemiddeld 4 dagen (96 uur) (zie ook [3]). Het kan ook gaan om het vervangen van defecte componenten van de pomp. Om de gehele pomp te vervangen moet een transporteur binnen korte tijd beschikbaar zijn (de pomp staat op een andere locatie opgeslagen).

- De reservepomp wordt op een externe locatie opgeslagen en daar wordt de pomp goed onderhouden zodat de aangenomen faalkans blijft gelden.
- Kans op onafhankelijk falen van een tweede pomp in de vervangingsperiode van 96 uur is verwaarloosbaar.
- Kans op onafhankelijk falen van een derde pomp in de reparatieduur (MTTR) van de eerste (twee) pomp(en) is verwaarloosbaar.
- Als een tweede pomp faalt (fase 4), zal dit *naar verwachting* halverwege de reparatieduur van de eerste pomp optreden.
- Bij twee gefaalde pompen zal één pomp op de opslaglocatie van de reservepomp worden gerepareerd. De andere pomp kan in de werkplaats van het gemaal worden gerepareerd.
- De tijd voor transport van een elders gerepareerde pomp naar het gemaal maakt onderdeel uit van de MTTR.

4.2. Maatregel A2: Het borgen en vergroten van de pompcapaciteit

Deze maatregel betreft (1) het vervangen van de rotors van pomp 5 en pomp 6 en (2) de aanschaf van een nieuwe pomp 7, die een kopie is van pomp 5 en 6, waarbij de nieuwe pomp 7 in maalgang 4 wordt gezet. Hiervoor moet de aandrijflijn aangepast worden, we nemen voor deze analyse aan dat het eenzelfde aandrijflijn is als voor pomp 5 en pomp 6 (met dezelfde faalmechanismen). Door de nieuwe pomp 7 in maalgang 4 te zetten, en de vrijgekomen Storkpomp 4 als reservepomp te beschouwen, ontstaat de mogelijkheid om – bij langdurige uitval van pomp 1, 2 of 3 – de defecte pomp uit te hijsen en te vervangen door pomp 4. Hiermee wordt de tijd dat via de betreffende maalgang niet kan worden gepompt aanzienlijk gereduceerd. Daarnaast betekent het dat de totale capaciteit van het gemaal stijgt van 260 m³/s naar 270 m³/s.

In de huidige situatie worden de Nijhuispompen aangedreven door middel van een statische omvormer. Dit in tegenstelling tot de Storkpompen die worden aangedreven door een roterende omvormer. Door dit verschil moet de aandrijflijn van de huidige Storkpomp 4 worden aangepast naar een Pentair-aandrijflijn om deze geschikt te maken voor de nieuwe pomp 7. Naast de aanpassingen in de aandrijflijn moet een vijfde transformator worden geplaatst t.b.v. pomp 7 in maalgang 4. Trafo T2 is nog steeds nodig voor de aandrijving van pomp 3. De aangenomen configuratie is gevisualiseerd in Figuur 7.



Figuur 7: Aangenomen configuratie Maatregel A2

4.2.1. Modelleren

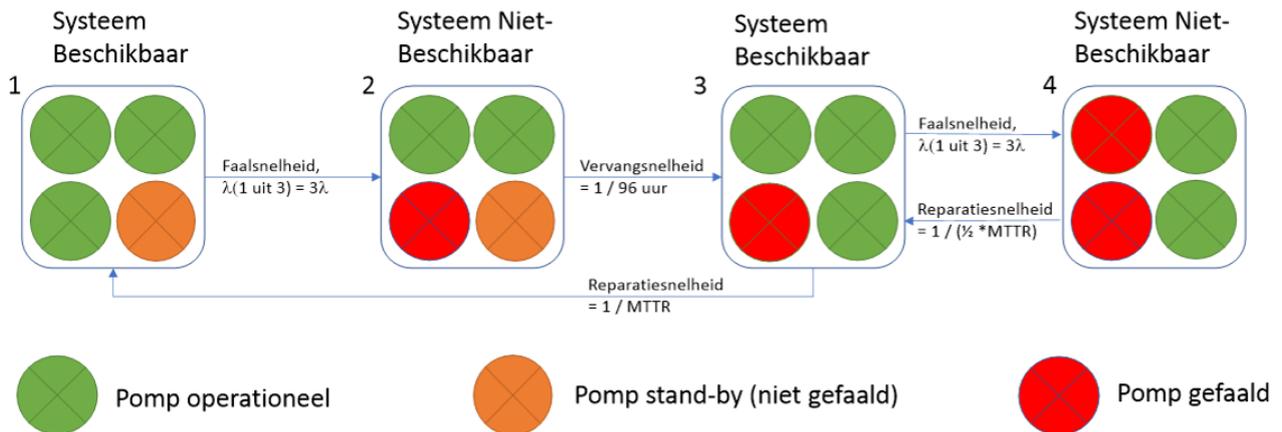
De modellering van maatregel A2 splitsen we op in twee delen: (1) de extra aandrijflijn van pomp 4 en (2) de verdiscontering van de vervangingsnelheid van de Stork-pompen.

Allereerst modelleren we de extra aandrijflijn door het aantal componenten te wijzigen van trafo's, capitoorschakelaars, generatoren etc. De faalmechanismen die hierdoor wijzigen zijn in Bijlage F blauw gearceerd.

Ten tweede moet het effect van de reserve Stork-pomp worden gekwantificeerd. Zoals in §4.1.1 is gesteld heeft de maatregel enkel nut bij componenten met een MTTR langer dan 96 uur. Dit betreft de faalmechanismen:

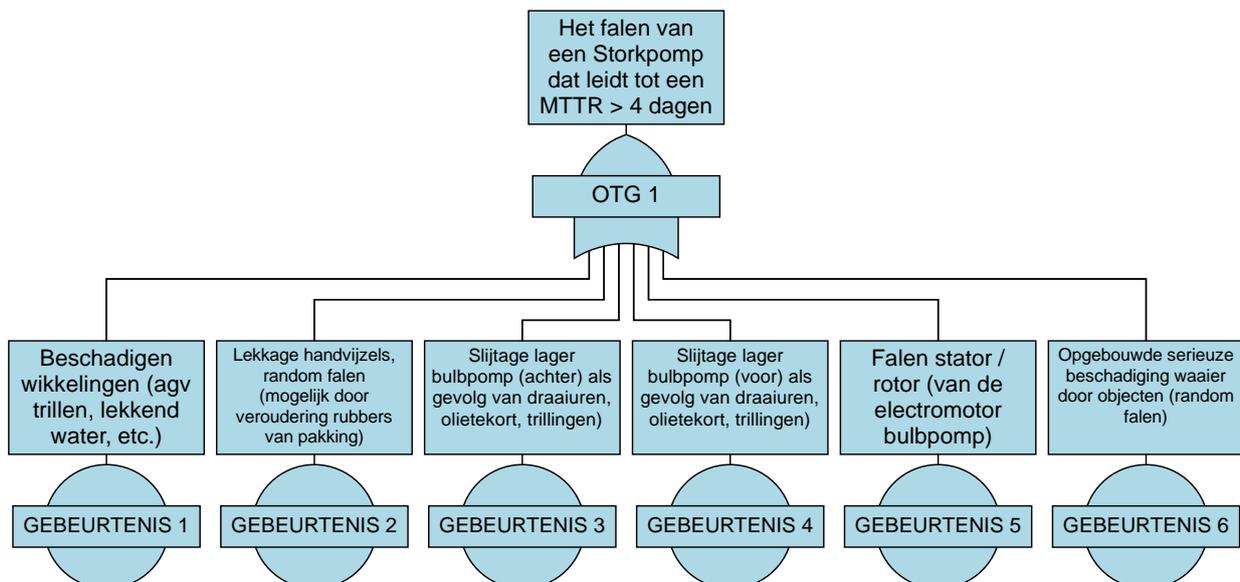
- Beschadigen wikkelingen (agv trillen, lekkend water, etc.);
- Lekkage handvijzels, random falen (mogelijk door veroudering rubbers van pakking);
- Slijtage lager bulbpomp (achter) als gevolg van draaiuren, olietekort, trillingen);
- Slijtage lager bulbpomp (voor) als gevolg van draaiuren, olietekort, trillingen);
- Falen stator / rotor (van de elektromotor bulbpomp);
- Opgebouwde serieuze beschadiging waaier door objecten (random falen);

Gegeven het feit dat de Storkpompen aan het eind van hun levensduur zijn en schades vertonen, kan de kans op defect tijdens onderhoud aan een defecte pomp niet worden verwaarloosd. Om die reden hebben we dit effect eveneens gemodelleerd d.m.v. een Markovketen. Zodoende wordt de kans dat een andere pomp defect gaat tijdens het herstel van een defecte pomp in acht genomen. In dit geval kent de keten eveneens vier fasen, zie Figuur 8.



Figuur 8: Markovketen Maatregel A2

Deze λ en de $MTTR$ zijn bepaald door de faalmechanismen van de Storkpomp groter dan 96 uur in een foutenboom te zetten, zie Figuur 9. Het resultaat van de Markovketen is een verwachte niet-beschikbaarheid en faalfrequentie van de vier-Storkpompen. De resultaten van de Markovketen zijn te vinden in Bijlage F.



Figuur 9: Foutenboom Maatregel A2

4.2.2. Aannamen

Voor het modelleren van de extra aandrijflijn nemen we het volgende aan:

- Voor pompen 5 en 6 zijn dezelfde faaldata gehanteerd zoals deze in 2016 zijn vastgesteld (zie §3.1), voor de nieuwe pomp 7 houden we dezelfde waarden aan.
- De aandrijflijn en trafo worden in een separate ruimte geplaatst: niet in de huidige elektrorimte.
- De nieuwe trafo en schakelaars zijn qua faalkans en MTTR gelijk aan trafo's T5 en T6.
- De impact van de maatregel op de bediening en besturing is verwaarloosbaar

Bij het modelleren van de reservepomp door middel van een Markovketen zijn de volgende aannamen getroffen:

- Het vervangen van een gefaalde pomp door de reservepomp (die op een andere locatie staat opgeslagen) kost gemiddeld 4 dagen (96 uur).
- Kans op onafhankelijk falen van een tweede pomp in de vervangingsperiode van 96 uur is verwaarloosbaar.
- Kans op onafhankelijk falen van een derde pomp in de reparatieduur (MTTR) van de eerste (twee) pomp(en) is verwaarloosbaar.
- *Als* een tweede pomp faalt (fase 4), zal dit *naar verwachting* halverwege de reparatieduur van de eerste pomp optreden.
- Bij twee gefaalde pompen zal één pomp op de opslaglocatie van de reservepomp worden gerepareerd. De andere pomp kan in de werkplaats van het gemaal worden gerepareerd.
- De tijd voor transport van een elders gerepareerde pomp naar het gemaal maakt onderdeel uit van de MTTR.

4.3. Maatregel B: Tijdelijke pompcapaciteit vergroten, kostenbeheersing verbeteren

Met deze maatregel wordt voorgesteld om een set van 4 á 5 baggerpompen ($10\text{m}^3/\text{s}$) in een containerunit ten zuiden van het spuicomples te plaatsen. De Noordersluisweg wordt voorzien van een tijdelijke onderdoorgang voor de aanzuigbuizen. Elektrische voeding zal uit het gemaal komen, via de huidige hoogspanningsvoeding.

Deze maatregel is bedacht om toe te passen in de periode dat er voor de mogelijke uitvoering van maatregel A2 tijdelijk geen pomp in maalgang 4 aanwezig is. Voordeel van de baggerpompen is dat de installatie buiten het gemaalgebouw wordt geplaatst.

4.3.1. Modelleren

We passen de faalmechanismen van de aandrijflijn van maalgang 1 tot en met 3 aan net als bij maatregel A2, zodat er drie aandrijflijnen zijn met in totaal twee transformatoren. Welke componenten precies benodigd zijn voor de baggerpompen en aansluiting daarvan is niet bekend. We houden rekening met ongeveer dezelfde faalmodi als voor de pompen van het gemaal. We nemen echter voor de baggerpompen niet de faalmechanismen mee waar sprake is van veroudering, slijtage, corrosie en dergelijke, omdat het gaat om

een tijdelijke installatie. De faalmechanismen specifiek voor pomp 5 en 6 veranderen niet ten opzichte van de 0-situatie, zie Bijlage G.

4.3.2. Aannamen

Voor het modelleren van de baggerpompen zijn de volgende punten aangenomen:

- Voor pompen 5 en 6 zijn dezelfde faaldata gehanteerd zoals deze in 2016 zijn vastgesteld (zie §3.1).
- Als minimaal één baggerpomp van de set faalt komt dit overeen met de situatie dat één maalgang faalt.
- In de berekening gaan we uit van 5 baggerpompen, dit is met het oog op de faalkans conservatief, maar betekent wel dat de totale capaciteit van het gemaal 270 m³/s wordt.
- Omdat ook baggerpompen van 10 m³/s niet gemakkelijk verkrijgbaar zijn houden we rekening met een herstelduur van een maand voor de motor en twee weken voor de waaier, waar dit voor de pompen in het gemaal respectievelijk een kwartaal en twee weken is.
- Het beschouwde aantal pompsensoren (in totaal 180) blijft gelijk.
- Voor de energievoorziening en besturing zijn in de tijdelijke situatie met baggerpompen evenveel componenten zoals schakelaars en Remote IO modules nodig.

4.4. Maatregel C: Onderhoudsmaatregelen

Deze maatregel betreft het toepassen van een datagedreven onderhoudsmanagementsysteem op basis van sensoren. Door toepassing van onderhoudsmaatregelen zoals “early warning”-systemen zal de onzekerheid omtrent het moment van falen (MTTF) over de tijd afnemen, totdat toekomstig falen voorspeld kan worden.

4.4.1. Modelleren

Met deze voorspelling kunnen de componenten met “early warnings” preventief worden vervangen in plaats van correctief. De kans op ongepland falen is hierdoor kleiner. Aangezien de faalfrequenties van de Notitie Delta Pi niet herleidbaar zijn, is in deze analyse aangenomen dat de kans 50% is dat een component met early warnings preventief wordt vervangen. Dat wil zeggen dat de kans 50% is dat een component, ondanks early warnings, tóch ongepland faalt. Daarmee wordt de faalfrequentie vermenigvuldigd met 0,5. Dit is een conservatieve aanname.

Daarnaast nemen we aan dat de downtime lager is omdat levertijden van de componenten vervallen als deze op basis van early warnings al worden besteld voordat falen daadwerkelijk optreedt. Dit geldt zowel voor correctieve als preventieve maatregelen. Dit leidt tot een lagere MTTR waardoor componenten in een lagere herstelduurklasse terecht komen. Doorgaans draagt de levertijd het meeste bij aan de totale MTTR. In deze analyse verdisconteren we de onderhoudsmaatregel in de MTTR's van de faalmodi door 50% van de MTTR te nemen. Dit is een conservatieve aanname.

Vervolgens is de vraag op welke componenten “early warning”-systemen nuttig kunnen worden toegepast. Rijkswaterstaat heeft een lijst “prestatiekillers” gegeven waarin alle componenten met een MTTR groter dan een week zijn opgesomd. De lijst bevat componenten van het Gemaal en de Spuisluis. De componenten m.b.t. het gemaal zijn gespiegeld aan de componenten in het RCMCost-bestand die zijn gemodelleerd met

veroudering. Dit geeft een lijst faalmodi die onderhevig zijn aan veroudering en zijn aangemerkt als prestatiekiller, zie Bijlage H. De faalmodi waarop 50% reductie op de faalfrequentie en MTTR is toegepast zijn de volgende.

Pompen

Door de pompen te monitoren op variabelen als trillingen, olieniveau, draaiuren en rendement kan componentfalen voortijdig worden gedetecteerd. Dit heeft effect op de onderstaande faalmodi met MTTR groter dan een week:

- *Beschadigen wikkelingen (agv trillen, lekkend water, etc.)*
- *Slijtage lager bulbpomp (achter) als gevolg van draaiuren, olietekort, trillingen)*
- *Slijtage lager bulbpomp (voor) als gevolg van draaiuren, olietekort, trillingen)*
- *Falen stator / rotor (van de elektromotor bulbpomp)*
- *Opgebouwde serieuze beschadiging waaier door objecten (random falen)*

Persschuiven

Door bijvoorbeeld de vervuiling van de olie te monitoren kan componentfalen voortijdig worden gedetecteerd. Dit heeft effect op de onderstaande faalmodi met MTTR groter dan een week:

- *Falen / veroudering / bereiken technische levensduur van hydraulisch aggregaat een persschuif van een maalgang, leidende tot lekkages*

Transformatoren

Door het aantal schakelingen van de SVS-schakelaars te monitoren kan falen voortijdig worden gedetecteerd. Het verouderen van de trafo wordt gedetecteerd door de temperatuur te monitoren. Dit kan via separate sensoren of via de draaiuren van de airco-unit in de transformatorruimte. Dit heeft effect op de onderstaande faalmodi met MTTR groter dan een week:

- *Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T5 (pomp 5)*
- *Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T1 (pomp 1 en 2)*
- *Uitval door verouderen trafo (T1, T2)*
- *Uitval door verouderen trafo (T5, T6)*

4.4.2. Aannamen

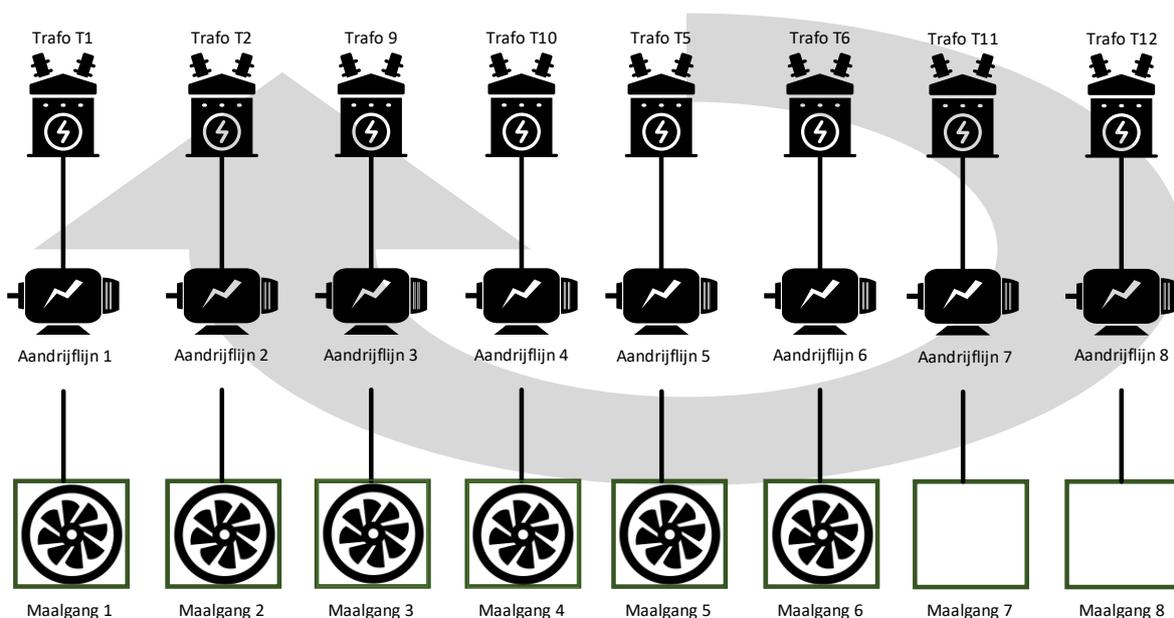
Op maatregel C zijn de volgende aannamen van toepassing:

- Voor pompen 5 en 6 zijn dezelfde faaldata gehanteerd zoals deze in 2016 zijn vastgesteld (zie §3.1).
- De gegeven MTTR's (langer dan een week) in de Notitie Delta-Pi bestaan voor minimaal 50% uit levertijd van het component.

4.5. Maatregel D: Adaptiviteit van het gemaal

Deze maatregel betreft het uitbreiden van het gemaal met twee extra maalgangen aan de noordzijde van het gemaal tijdens de VenR-periode in 2028. Om de maalgangen ook functioneel te maken worden de elektroruimte en kraanbaan verlengd. Met het schrijven van dit document is de volledige scope van de VenR-opgave niet bekend. Om die reden baseren we de configuratie op enkele aannamen.

Deze maatregel wordt voorgesteld omdat bij de vervanging van de vier oudste pompen flexibiliteit nodig is om de benodigde pompcapaciteit te kunnen leveren. In tegenstelling tot maatregel A nemen we daarom aan dat - na implementatie van Maatregel D - de oude pompen vervangen zijn en dat daardoor ook de aandrijflijnen voor alle maalgangen hetzelfde zijn ingericht (zoals weergegeven in Figuur 10). Bij een defect van een willekeurige aandrijflijn, is het mogelijk om de pomp (die gewoon nog functioneert) in één van de twee vrije maalgangen te zetten om vervolgens volledig te functioneren. Hiermee wordt langdurige niet-beschikbaarheid van de maalgang gereduceerd.



Figuur 10: Configuratie Maatregel D

4.5.1. Modelling

Deze maatregel heeft een positief effect door de uitwisselbaarheid van de maalgangen. Daar waar maatregel A1 en A2 een roulatiesysteem met de pompen beschrijven, is hier hetzelfde van toepassing op de aandrijflijnen en/of maalgangen. Als één maalgang faalt, kan de bijbehorende pomp in ca. een dag in een andere maalgang worden geplaatst.

In §4.1.1 zijn twee opties voorgesteld om een reservepomp, of in dit geval maalgang, te verdisconteren in de faalkansen: via de MTTR of m.b.v. een Markovketen. Er zijn echter twee reservemaalgangen. We achten de kans dat een derde maalgang faalt tijdens reparatie van twee andere defecte maalgangen verwaarloosbaar

klein, daarom verdisconteren we de maatregel hier in de MTTR's. De faalmodi met een MTTR groter dan één dag worden gereduceerd naar één dag. De faalmechanismen waarop dit betrekking heeft zijn gegeven in Bijlage I.

4.5.2. Aannamen

Voor het modelleren van deze maatregel zijn de volgende aannamen van toepassing:

- Voor alle pompen zijn dezelfde faaldata gehanteerd zoals deze in 2016 voor pomp 5 en 6 zijn vastgesteld (zie §3.1).
- Alle maalgangen zijn universeel en pompen zijn daarom onderling uitwisselbaar.
- De aandrijflijnen en voeding van alle maalgangen zijn identiek aan huidige maalgangen 5 en 6.
- Het uittakelen en plaatsen van een pomp in een nieuwe maalgang zal ca. één dag bedragen.

4.6. Maatregel E: Compartimenteren van het gemaal

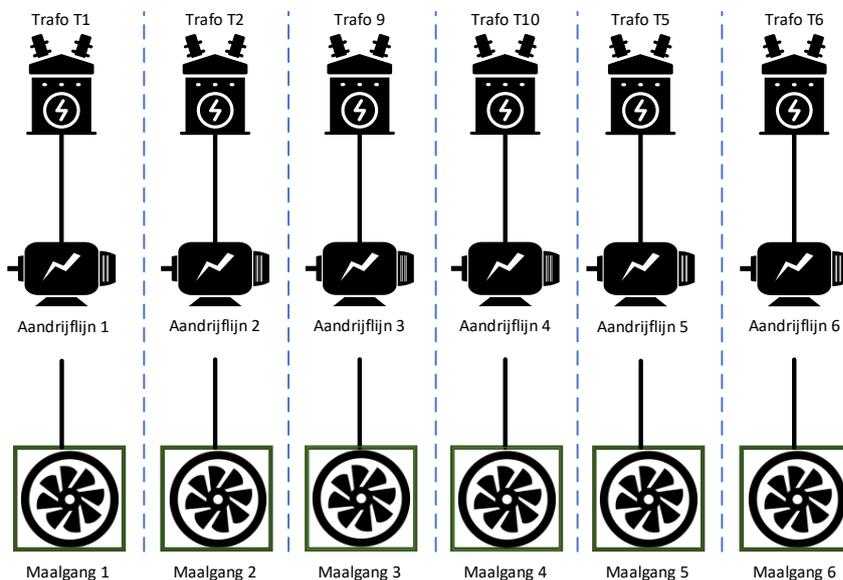
Een enkel pompsysteem van het gemaal bestaat in hoofdzaak uit de energievoorziening, de aandrijflijn met vermogenselectronica, de machinebesturing, de meet- en monitoringssystemen, de pompmotor, de pomp en de kleppen voor en achter de pomp. Door te compartimenteren wordt voorkomen dat bij het falen van dit systeem door interne en/of externe oorzaken de overige pompsystemen ook falen. Ter illustratie: als in de huidige situatie trafo T1 faalt, faalt zowel pomp 1 als pomp 2. Het uitvallen van twee pompen kan in dit geval worden voorkomen door elke pomp en aandrijflijn aan te sluiten op een individuele trafo.

Compartimenteren kan alleen functioneel door te zorgen dat er geen afhankelijkheden binnen het systeem zijn, of ook fysiek. Om fysiek te compartimenteren worden zowel de maalgangen als de elektroruimte verdeeld in acht gesloten compartimenten, waarbij de wanden in de elektroruimte brandwerend zijn uitgevoerd. Als ergens in de installatie brand ontstaat wordt op die manier het risico beperkt dat dit gevolgen heeft voor de andere maalgangen. In de huidige situatie bestaat er al een wand tussen de elektroruimte met Stork-aandrijflijnen en de Pentair-aandrijflijnen.

We splitsen de maatregel in twee delen:

- Maatregel E1: het systeem is functioneel gecompartmenteerd,
- Maatregel E2: het systeem is functioneel én fysiek gescheiden.

De configuratie is weergegeven in Figuur 11.



Figuur 11: Configuratie Maatregel E

4.6.1. Modelling

Het functioneel compartimenteren heeft met name impact op het aantal componenten bij de trafo's en besturing, bijvoorbeeld de capitoorschakelaars, trafo's, switches etc. In Bijlage J zijn de desbetreffende faalmodi en aantal componenten aangegeven.

Door het fysiek compartimenteren zal bij brand één maalgang uitvallen in plaats van twee zoals dat in de Notitie Delta-Pi is verdisconteerd. Over het geheel gezien verschuift de faalconfiguratieklasse van twee of meerdere maalgangen naar één maalgang.

4.6.2. Aannamen

De volgende aannamen zijn toegepast:

- Voor pompen 5 en 6 zijn dezelfde faaldata gehanteerd zoals deze in 2016 zijn vastgesteld (zie §3.1).
- Centrale bediening en besturing wordt niet gecompartmenteerd.
- De faalkansen van maalgangen 1 t/m 4 blijven gelijk aan de faalkansen van de Storkpompen.
- De extra trafo's zijn gelijkwaardig aan trafo's T1 en T2.
- De kans op brand blijft hetzelfde.

4.7. Maatregel F: Optimaliseren van de Energievoorziening

In de huidige situatie wordt het gemaal van elektrische energie voorzien uit een hoogspanningsstation in Beverwijk met twee parallelle kabels langs de Noordersluisweg. Bij mogelijke graafschade of uitval van het hoogspanningsstation is er geen redundantie in het energiesysteem. Daarom wordt voorgesteld een tweede voedingskabel van een ander hoogspanningsstation aan te leggen, zodat door graafschade niet meer beide kabels falen en de gewenste redundantie wordt bereikt.

4.7.1. Modellering

Het falen van de energievoorziening is niet opgenomen in de tabellen in de Notitie Delta-Pi, daarom hebben we dit in de 0-situatie toegevoegd, zie §3.3.3. Bij bovenstaande faalmodi blijkt dat bij falen van de noodstroomvoorzieningen wel rekening is gehouden met netuitval, via een RF van 1% (zie §3.3.2).

- *Falen van Ni/Cd accu's UPS110V*
- *Falen UPS 110V*
- *Falen van de accu's UPS pomp5&6*
- *Falen UPS pomp 5&6*
- *Veroudering / falen van hoofdschakelaar NSA*
- *Falen onderdeel PLC NSA (S5 siemens economische veroudering): CPU, kaart, backplane, voeding, etc. (random falen)¹*
- *Veroudering brandstoftank (10000 liter), NSA + gebouwverwarming*
- *Veroudering noodstroomdieselaggregaat, inclusief generator. RF 1% (effect alleen bij uitval energienet)*
- *Random falen generator NSA*
- *Falen van de accu's UPS (in oude hoogspanningsruimte)*
- *Falen UPS (in oude hoogspanningsruimte)*

We hebben het effect van een tweede, apart aangesloten voedingskabel verdisconteerd in de faalfrequentie van deze faalmechanismen door de redundantiefactor nog kleiner te maken, en de kans op netuitval zelf ook verkleind. Voor de individuele effecten, zie Bijlage L.

4.7.2. Aannamen

De volgende aannamen zijn van toepassing op het modelleren van deze maatregel:

- We houden rekening met een factor 10 kleinere faalfrequenties voor de faalmechanismen die alleen effect hebben bij netuitval.
- De kans op falen van twee onafhankelijke netaansluitingen is bijzonder klein. We nemen een factor 10 kleinere kans van optreden aan. Dit is conservatief.

4.8. Simulatie Maatregel A, B en C

In [1] is gevraagd om enkele simulaties te draaien waarbij de voorgestelde maatregelen gecombineerd worden. Hierbij moeten maatregel A, B en C gecombineerd worden en maatregel D, E en F. Aangezien maatregel A bestaat uit twee verschillende voorstellen, is de simulatie gesplitst in twee simulaties: A1, B en C én A2, B en C. In respectievelijk Bijlage M en Bijlage N zijn alle gebruikte gegevens opgenomen.

Omdat de maatregelen overlap hebben, zijn deze op verschillende manieren te combineren. Voor maatregel A1, B en C betekent dit dat er een nieuwe pomp 7 is, die als reservepomp dient van pomp 5 en 6, en dat er

¹ Hiervan kunnen we de aangenomen RF niet zien omdat dit onderdeel sinds 2016 is aangepast en niet meer in het RCMCost-model staat. We nemen aan dat falen van de PLC van het NSA alleen kritiek is bij uitval van de energievoorziening.

baggerpompen worden opgesteld in plaats van dat er een pomp in maalgang 4 aanwezig is. Het preventief onderhoud van maatregel C betekent dat een aantal verwachte faalfrequenties en herstelduren gereduceerd worden. Dit heeft ook effect op de Markovketen (maatregel A1).

De maatregelen A2, B en C zijn lastiger te combineren, de baggerpompen van maatregel B gelden als tijdelijke maatregel waarna de situatie zoals voorgesteld in maatregel A2 ontstaat met een nieuwe pomp in maalgang 4. We combineren de maatregelen door aan te nemen dat de baggerpompen inzetbaar blijven na de ombouw, voor het geval één van de vaste pompen faalt. Omdat er al een reservepomp voor maalgang 1 t/m 3 is door maatregel A2, geldt dit vooral in het geval dat pomp 4, 5 of 6 faalt. Voor componenten waarvan de herstelduur langer is dan een week wordt deze gelijk aan een week gesteld, we nemen aan dat binnen die tijd de baggerpompen ingezet kunnen worden.

4.9. Simulatie Maatregel D, E en F

Aangezien maatregel E bestaat uit twee verschillende voorstellen, is de simulatie van maatregel D, E en F gesplitst in twee simulaties: D, E1 en F én D, E2 en F. De maatregelen zijn te combineren door de MTTR's van de maalgangcomponenten te verkleinen naar een dag (Maatregel D) en de aantallen componenten aan te passen om zodoende functioneel te compartimenteren (Maatregel E1, zie Bijlage O), of functioneel en fysiek te compartimenteren (Maatregel E2, zie Bijlage P). Een deel van Maatregel F heeft effect op de faalkans van Gemaal en Spuisluis en de resultaten worden net als in de Notitie Delta-Pi [2] in een aparte tabel gegeven.

5 Deel I - Resultaten

In dit hoofdstuk worden de geüpdatete tabellen gegeven. Indien een niet-beschikbaarheid of faalfrequentie wit is gearceerd, zijn hier geen wijzigingen ten opzichte van de 0-situatie. Bij een groene arcering is de waarde lager dan de 0-situatie en bij een rode arcering, logischerwijs, hoger dan de 0-situatie, zie de legenda onderaan Tabel 2. Wijzigingen ten opzichte van de oorspronkelijke resultaten in de Notitie Delta-Pi zijn opgenomen in Bijlage Q.

5.1. Resultaten per maatregel

5.1.1. Maatregel A1

In onderstaande tabel is te zien dat de faalfrequenties en niet-beschikbaarheden “opschuiven” van 1 kwartaal en 1 maand herstelduur, naar 1 week herstelduur. Dit komt omdat lange storingen in pomp 5 en 6 worden verholpen door een reserve-Nijhuis pomp in de maalgang te plaatsen, waarvan we aannemen dat dit ongeveer vier dagen duurt. Het effect is met name bij de niet-beschikbaarheden zichtbaar omdat het om lange herstelduren gaat, de wijzigingen in de faalfrequenties zijn van een andere orde grootte.

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,07E-03	1,27E-05	4,48E-05	3,45E-04	5,63E-05
1 dag	1,12E-03	2,01E-05	0,00E+00	5,49E-07	1,52E-05
1 week	7,09E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,54E-04
1 maand	2,64E-02	2,21E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	1,11E-02	1,83E-03	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,08E-03	1,27E-05	8,96E-06	1,24E-04	1,46E-05
1 dag	3,65E-05	9,72E-07	0,00E+00	3,43E-08	6,31E-07
1 week	6,08E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,62E-06
1 maand	4,11E-05	5,72E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	7,44E-06	1,25E-06	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

5.1.2. Maatregel A2

Bij deze maatregel krijgen pomp 3 en 4 gescheiden aandrijflijnen. Hierdoor schuiven enkele storingen waardoor 2 maalgangen falen naar links op omdat nog maar 1 maalgang tegelijk faalt. Tegelijkertijd stijgt het aantal componenten, met name met korte herstelduren, maar ook een enkele waarvan falen een herstelduurklasse van een kwartaal heeft. Door de reservepomp wordt de herstelduur van een aantal componenten korter, waarvan de meeste in de 0-situatie in de herstelduurklasse van een maand vallen.

Maatregel A2 heeft ten opzichte van maatregel A1 een groter positief effect op de kans dat 2 maalgangen falen, maar door de extra componenten is de kans dat 1 maalgang faalt iets hoger. Met name langdurige storingen over meerdere maalgangen dragen negatief bij aan de faalkans die met het DEZY-model wordt bepaald.

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,80E-03	9,21E-06	4,48E-05	3,45E-04	5,63E-05
1 dag	1,14E-03	2,01E-05	5,49E-07	0,00E+00	1,52E-05
1 week	7,67E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,33E-04
1 maand	2,65E-02	2,13E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	1,38E-02	9,13E-04	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,18E-03	1,20E-05	8,96E-06	1,24E-04	1,46E-05
1 dag	3,75E-05	9,72E-07	3,43E-08	0,00E+00	6,31E-07
1 week	6,53E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,28E-06
1 maand	4,00E-05	5,61E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	9,41E-06	6,25E-07	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

5.1.3. Maatregel B

De onderstaande tabel laat zien dat de baggerpompen ervoor zorgen dat er minder storingen zijn waardoor 2 maalgangen falen en ook het aantal en de duur van korte storingen met gevolgen voor 1 maalgang daalt. Het aantal storingen met een herstelduurklasse van 1 maand of 1 kwartaal stijgt, maar de verwachte niet-beschikbaarheid in de herstelduurklasse van 1 maand daalt juist, omdat de gemiddelde herstelduur van de storingen korter is.

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	6,73E-03	9,21E-06	4,48E-05	3,45E-04	5,63E-05
1 dag	9,52E-04	2,01E-05	5,49E-07	0,00E+00	1,52E-05
1 week	3,90E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,33E-04
1 maand	4,25E-02	2,13E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	1,30E-02	9,13E-04	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	1,92E-03	1,20E-05	8,96E-06	1,24E-04	1,46E-05
1 dag	3,13E-05	9,72E-07	3,43E-08	0,00E+00	6,31E-07
1 week	2,97E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,28E-06
1 maand	7,06E-05	5,61E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	8,51E-06	6,25E-07	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

5.1.4. Maatregel C

De onderhoudsmaatregelen hebben positieve gevolgen voor de kans op ongeplande storingen en de herstelduur. Dit heeft zijn neerslag in beide tabellen. Soms verschuiven storingen naar een andere herstelduurklasse, waardoor er een positief effect voor de hogere klassen is en een negatief effect voor de klassen daaronder.

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,07E-03	1,27E-05	4,48E-05	3,45E-04	5,13E-05
1 dag	1,12E-03	2,01E-05	0,00E+00	5,49E-07	1,52E-05
1 week	5,69E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,36E-04
1 maand	3,28E-02	2,54E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	6,22E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,08E-03	1,27E-05	8,96E-06	1,24E-04	1,40E-05
1 dag	3,65E-05	9,72E-07	0,00E+00	3,43E-08	6,31E-07
1 week	4,12E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,97E-06
1 maand	4,84E-05	6,23E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	4,48E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

5.1.5. Maatregel D

De onderstaande tabel laat het effect van de twee extra maalgangen op de faalkansen zien. Omdat de maalgangen uitwisselbaar zijn en de pompfunctie in ca. 1 dag hersteld is, verschuiven de verwachte faalfrequenties naar die herstelduurklasse. Hetzelfde geldt voor de niet-beschikbaarheden. Omdat we uitgaan van 6 aparte aandrijflijnen zijn er ook minder storingen te verwachten met gevolgen voor meerdere maalgangen.

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,07E-03	1,27E-05	4,48E-05	3,45E-04	4,63E-05
1 dag	2,03E-03	5,79E-05	0,00E+00	5,49E-07	1,10E-04
1 week	7,19E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,97E-04
1 maand	4,37E-02	2,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	3,81E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,08E-03	1,27E-05	8,96E-06	1,24E-04	1,33E-05
1 dag	7,47E-05	2,77E-06	0,00E+00	3,43E-08	4,56E-06
1 week	5,64E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,31E-06
1 maand	6,72E-05	5,50E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	1,74E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

5.1.6. Maatregel E1

De onderstaande tabel geeft een beeld van de impact van het functioneel compartimenteren. Duidelijk is dat faalmodi naar de faalconfiguratieklasse van 1 maalgang verschuiven, wat in lijn is met de maatregel.

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,13E-03	6,55E-08	4,48E-05	3,39E-04	4,63E-05
1 dag	1,14E-03	1,15E-06	0,00E+00	5,49E-07	1,52E-05
1 week	4,52E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,97E-04
1 maand	4,42E-02	2,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	1,62E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,15E-03	2,09E-08	8,96E-06	1,13E-04	1,33E-05
1 dag	3,74E-05	7,19E-08	0,00E+00	3,43E-08	6,31E-07
1 week	3,42E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,31E-06
1 maand	6,79E-05	5,50E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	1,06E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

5.1.7. Maatregel E2

De onderstaande tabel geeft de resultaten als naast functioneel ook fysiek gecompartmenteerd wordt. Het beeld komt ongeveer overeen met dat van Maatregel E2, er zijn kleine verbeteringen zichtbaar.

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,13E-03	6,55E-08	4,48E-05	3,39E-04	4,63E-05
1 dag	1,23E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,52E-05
1 week	4,52E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,97E-04
1 maand	4,44E-02	1,68E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	1,62E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,15E-03	2,09E-08	8,96E-06	1,13E-04	1,33E-05
1 dag	3,74E-05	7,19E-08	0,00E+00	3,43E-08	6,31E-07
1 week	3,42E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,31E-06
1 maand	6,79E-05	5,50E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	1,06E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

5.1.8. Maatregel F

Aangezien maatregel F effect heeft op de tabellen van Bijlage 1 en Bijlage 3 uit de Notitie Delta-Pi, is hieronder het effect op beide geprojecteerd. Door de maatregel zijn enkele faalfrequenties gereduceerd, hierdoor zijn alle waarden gelijk gebleven of verbeterd ten opzichte van de 0-situatie. De wijzigingen voor alleen het gemaal zijn klein, voor gemaal en spuisluis zijn grotere verbeteringen zichtbaar.

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,07E-03	1,26E-05	4,48E-05	3,45E-04	5,63E-05
1 dag	1,12E-03	2,01E-05	0,00E+00	5,49E-07	1,52E-05
1 week	4,52E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,54E-04
1 maand	4,39E-02	2,21E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	1,24E-02	1,83E-03	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,08E-03	1,27E-05	8,96E-06	1,24E-04	1,46E-05
1 dag	3,65E-05	9,72E-07	0,00E+00	3,43E-08	6,31E-07
1 week	3,42E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,62E-06
1 maand	6,74E-05	5,72E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	8,02E-06	1,25E-06	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

Gemaal en Spuisluis	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse					6 maalgangen en 7 spuikokers gefaald
Halve dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,83E-04
1 dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 week	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 maand	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,35E-04
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,18E-03

Gemaal en Spuisluis	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse					6 maalgangen en 7 spuikokers gefaald
Halve dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,54E-04
1 dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 week	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 maand	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,87E-07
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,77E-07

Het verschil met de oorspronkelijke waarden in de Notitie Delta-Pi geeft een ander beeld, zie Bijlage Q. Daarin lijkt het of er een stijging is in het aantal en de duur van langdurige storingen met gevolgen voor gemaal en spuisluis. Dit komt omdat er in de faalmechanismen met gevolgen voor gemaal en spuisluis vaak rekening is gehouden met redundantiefactoren omdat het gaat om noodvoorzieningen of redundante installaties. Door de redundantiefactoren toe te passen op de kans van optreden en de herstelduurklasse te kiezen die past bij de herstelduur, zijn de gebeurtenissen in een hogere herstelduurklasse opgenomen.

5.2. Resultaten simulaties

5.2.1. Simulatie Maatregel A1, B en C

De onderstaande tabel betreft de combinatie van de voorgestelde maatregelen A1, B en C, zoals beschreven in §4.8. De maatregelen hebben vooral een positief effect voor de langere herstelduurklassen in de faalconfiguratieklasse waarin 1 maalgang faalt of 2 maalgangen falen, maar er is ook een positief effect voor (kortere) storingen met het gevolg dat 5 of 6 maalgangen falen.

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	6,73E-03	9,21E-06	4,48E-05	3,45E-04	5,38E-05
1 dag	9,52E-04	2,01E-05	5,49E-07	0,00E+00	1,52E-05
1 week	6,59E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,36E-04
1 maand	2,05E-02	2,52E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	5,34E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	1,92E-03	1,20E-05	8,96E-06	1,24E-04	1,40E-05
1 dag	3,13E-05	9,72E-07	3,43E-08	0,00E+00	6,31E-07
1 week	5,68E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,97E-06
1 maand	3,90E-05	5,87E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	3,77E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

5.2.2. Simulatie Maatregel A2, B en C

De onderstaande tabel betreft de combinatie van Maatregel A2, B en C. De maatregelen zorgen ervoor dat de resultaten verplaatsen van de hogere- naar de lagere herstelduurklassen en van de faalconfiguratieklasse 2 maalgangen gefaald naar 1 maalgang gefaald.

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,80E-03	9,21E-06	4,48E-05	3,45E-04	5,38E-05
1 dag	1,14E-03	2,01E-05	5,49E-07	0,00E+00	1,52E-05
1 week	1,46E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,36E-04
1 maand	7,93E-04	2,16E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,18E-03	1,20E-05	8,96E-06	1,24E-04	1,40E-05
1 dag	3,75E-05	9,72E-07	3,43E-08	0,00E+00	6,31E-07
1 week	1,04E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,29E-06
1 maand	1,53E-06	5,37E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

5.2.3. Simulatie Maatregel D, E1 en F

De onderstaande tabellen geven de combinatie van de voorgestelde maatregelen D, E1 en F weer, zoals beschreven in §4.9. Het beeld is overwegend groen, waarbij de faalconfiguratieklasse naar links verschuift door het compartimenteren, en de herstelduurklasse naar boven door de extra maalgangen.

De tabel van Gemaal en Spuisluis toont het (positieve) effect van Maatregel F, de andere maatregelen spelen hier geen rol.

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,13E-03	6,55E-09	4,48E-05	3,39E-04	4,63E-05
1 dag	2,09E-03	1,15E-06	0,00E+00	5,49E-07	1,52E-05
1 week	7,19E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,97E-04
1 maand	4,37E-02	2,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	3,81E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,15E-03	2,09E-09	8,96E-06	1,13E-04	1,33E-05
1 dag	7,74E-05	7,19E-08	0,00E+00	3,43E-08	6,31E-07
1 week	5,64E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,31E-06
1 maand	6,72E-05	5,50E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	1,74E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

Gemaal en Spuisluis	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse					6 maalgangen en 7 spuikokers gefaald
Halve dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,83E-04
1 dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 week	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 maand	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,35E-04
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,18E-03

Gemaal en Spuisluis	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse					6 maalgangen en 7 spuiokers gefaald
Halve dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,54E-04
1 dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 week	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 maand	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,87E-07
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,77E-07

5.2.4. Simulatie Maatregel D, E2 en F

De onderstaande tabel betreft de combinatie van maatregelen D, E2 en F. Het beeld komt grotendeels overeen met dat van §5.2.3. Door het fysiek compartimenteren verschuift het falen door brand van faalconfiguratieklasse '2 maalgangen gefaald' naar '1 maalgang gefaald'. Daardoor is er een kleine stijging in de niet-beschikbaarheid met herstelduurklasse van 1 maand, maar de niet-beschikbaarheid is dus lager voor 2 maalgangen ten opzichte van de simulatie met Maatregel E1. De tabellen voor 'Gemaal en Spuisluis' zijn identiek, dit geeft de impact van maatregel F weer.

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,13E-03	6,55E-09	4,48E-05	3,39E-04	4,63E-05
1 dag	2,15E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,52E-05
1 week	7,19E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,97E-04
1 maand	4,39E-02	1,68E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	3,81E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,15E-03	2,09E-09	8,96E-06	1,13E-04	1,33E-05
1 dag	8,01E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,31E-07
1 week	5,64E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,31E-06
1 maand	6,77E-05	5,00E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	1,74E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

Gemaal en Spuisluis	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	6 maalgangen en 7 spuikokers gefaald				
Halve dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,83E-04
1 dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 week	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 maand	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,35E-04
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,18E-03

Gemaal en Spuisluis	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	6 maalgangen en 7 spuikokers gefaald				
Halve dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,54E-04
1 dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 week	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 maand	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,87E-07
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,77E-07

6 Deel II - Draaiknoppen

Om de 'knoppen' te identificeren waaraan gedraaid kan worden om de faalkans van het NZK/ARK-watersysteem te verkleinen, hebben we twee invalshoeken. Vanuit de eerste invalshoek brengen we in kaart welke faalmechanismen het meest bijdragen, en zo met welke maatregelen Rijkswaterstaat het meest kan bereiken om de beschikbaarheid van Gemaal IJmuiden te vergroten. Dit bepalen we (1) in §6.1 met behulp van een analyse van de meest dominante faalmechanismen in de huidige 0-situatie en (2) in §6.2 met behulp van de functie van RCMCost waarmee we een rangschikking van bijdragen van de diverse faalmodi aan de niet-beschikbaarheid van het Gemaal kunnen presenteren.

Vanuit de tweede invalshoek nemen we de faalkansreducties als uitgangspunt die nodig zijn om een gewenste acceptabele faalkans van het NZK/ARK (1/100, 1/200, 1/500, 1/1000) te bereiken, zie §6.3. Op basis van de tabellen met de faalkans van het gemaal in de herijkte 0-situatie (zie Tabel 1) heeft HKV de benodigde faalkansreducties berekend om de faalkans van het NZK/ARK te verkleinen tot 1/100, 1/200, 1/500 en 1/1000 per jaar (zie [5]). Wij onderzoeken aan welke 'knoppen' van het gemaal in theorie gedraaid moet worden om de gewenste faalkans van het watersysteem te behalen, met welke maatregelen deze reducties kunnen worden bereikt en zo of de gewenste faalkans van het systeem in de praktijk haalbaar is door alleen aan 'knoppen' van het gemaal te draaien.

6.1. Draaiknoppen 0-situatie

In Bijlage R hebben we detailoverzichten opgenomen van alle faalmechanismen met de hoogste bijdrage per faalconfiguratie- en herstelduurklasse, voor alleen het gemaal en voor gemaal én spuisluis.

We zien bij de hoge bijdragen aan de verwachte niet-beschikbaarheid door falen van één maalgang pomponderdelen staan, bij de bijdrage aan de verwachte faalfrequentie heeft de omvormer van maalgang 5 (samen met de omvormer van maalgang 6) de meeste impact. Maatregelen zoals een reservepomp (zie Maatregel A, §4.1 en §4.2) en preventief onderhoud (Maatregel C, §4.4) kunnen het risico beperken. Helaas is falen van omvormers meestal niet vooraf detecteerbaar.

Falen van twee maalgangen treedt voornamelijk op door Common Cause Failure, of door falen van de SVS-schakelaar. Met deze schakelaar kan de trafo T1 worden afgeschakeld t.b.v. onderhoud. In de huidige situatie zijn pomp 1 en 2 op T1 aangesloten. Bij falen vallen dus twee maalgangen weg, vervangen duurt 1460 uur (volgens het model is dit ongeveer de levertijd van een schakelaar). Daarnaast is er voor gemiddeld 8 uur ook een effect op alle pompen, waardoor 6 maalgangen wegvallen. Dit komt omdat voor het vervangen van de schakelaar tijdelijk de hoofd-10kV-voeding moet worden afgeschakeld. Van dit faalmechanisme kan door functioneel te compartimenteren het gevolg worden beperkt tot één maalgang, zoals ook te zien is bij Maatregel E1 en E2, zie §4.6. Daarnaast kan, door inspecties en bijvoorbeeld het aantal schakelingen van de SVS-schakelaar bij te houden, falen vroegtijdig worden voorspeld, zie ook Maatregel C (§4.4). Op die manier kan het onderdeel besteld worden voordat falen is opgetreden en

vervanging op een gunstig moment worden ingepland zodat de impact voor het NZK/ARK-systeem minimaal is.

Falen van 3 of 4 maalgangen is niet voor lange tijd te verwachten. Falen van 5 of 6 maalgangen kan langdurig optreden door een storing van de luchtbehandelingskast in de server/computerruimte en door falen van alle maalgangen door CCF. Falen van de luchtbehandelingskast kan worden voorkomen door bijvoorbeeld redundantie, preventief onderhoud, en dergelijke, maar de gevolgen kunnen ook worden beperkt door meer te compartimenteren en niet alle installaties in één ruimte met dezelfde luchtbehandeling te plaatsen.

Common Cause Failure is hier als algemeen faalmechanisme meegenomen, het is niet uitgewerkt om welke gebeurtenissen het gaat. Falen kan komen door latente onderhoudsfouten, ontwerp- of fabricagefouten, externe invloeden die niet al apart in de lijst zijn opgenomen etc. Door onderhoudswerkzaamheden goed te controleren, bij storingen andere onderdelen van hetzelfde type te controleren, en bijvoorbeeld de pompen te monitoren kan het risico worden gereduceerd. Volgens de lijst komt falen gemiddeld eens per ca. 23 jaar voor en duurt gemiddeld twee maanden. Daarnaast treedt CCF van twee maalgangen met dezelfde frequentie op met een herstelduur van twee weken. Omdat al veel gebeurtenissen zoals brand en blikseminslag apart zijn opgenomen, lijkt dit redelijk conservatief geschat.

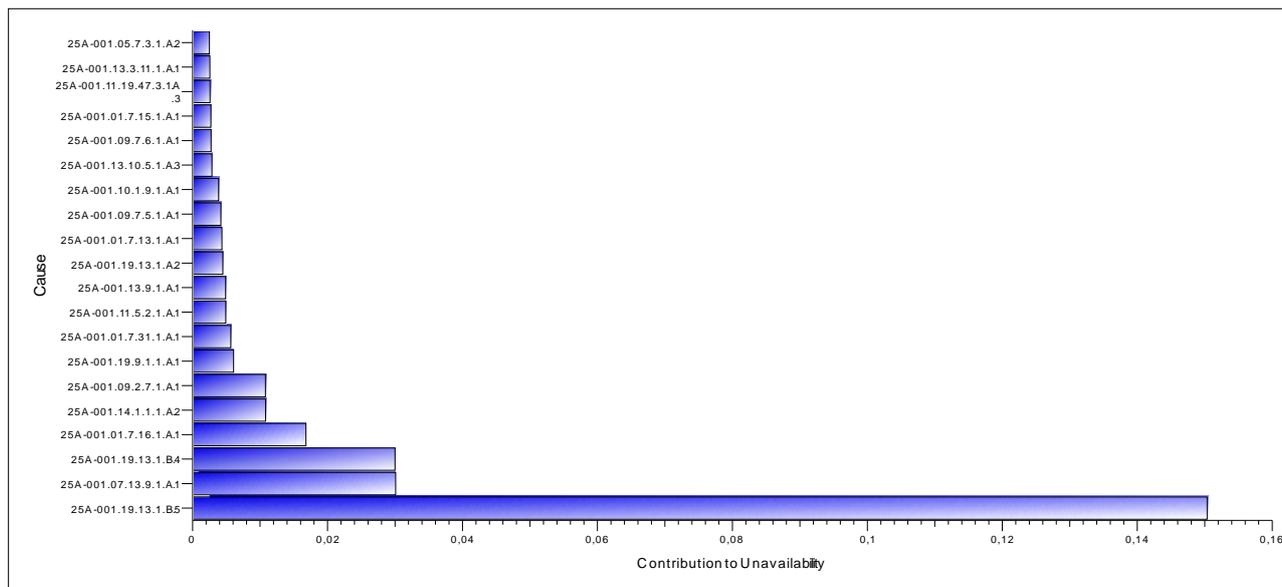
Voor 'Gemaal en Spuisluis' geldt dat alle beschouwde faalmechanismen gevolgen hebben voor alle maalgangen én spuiokers. Uit de tabel in Bijlage R blijkt dat in de kortste herstelduurklasse vooral netwerkstoringen met de bediening op afstand staan. In de herstelduurklasse van een maand gaat het om softwarefalen. Met goede back-up procedures en verschillende bedienvormen zouden gemaal en spuisluis binnen een kortere herstelperiode dan een maand weer operationeel moeten kunnen zijn. De voornaamste oorzaak waardoor het geheel van gemaal en spuisluis een kwartaal lang niet beschikbaar is, is falen van de koppelschakelaar tussen de energielevering en 10kV-hoofdverdeler. Dit risico zou met een onafhankelijke dubbele energieaansluiting (Maatregel F zoals beschreven in §4.7) worden verkleind.

Naast 'individuele' faalmechanismen bekijken we welke systeemonderdelen van het gemaal naar verwachting de meeste niet-beschikbaarheid of hoogste faalfrequentie hebben als de bijbehorende faalmechanismen worden opgeteld. Voor alleen het gemaal wordt het grootste deel van de verwachte niet-beschikbaarheid (van één of meerdere maalgangen) veroorzaakt door falen van de 'Bulbpompbehuizing inclusief pomp en overige installaties' (de waarde is in de lijst opgeteld voor alle pompen). De faalfrequentie is het hoogst door storingen van het hydraulisch aggregaat (voor alle maalgangen samen). Een reservepomp of extra maalgangen (Maatregel D, §4.5) kunnen dan het risico beperken. De faalfrequentie kan mogelijk worden verlaagd door 'early warning'-systemen.

Voor gemaal én spuisluis geldt dat de grootste bijdrage aan de verwachte faalfrequentie komt van het wegvallen van de verbinding met de bediening op afstand, maar dit is normaal gesproken van korte duur. De meeste impact op de verwachte niet-beschikbaarheid komt van falen van de hoogspanningsinstallatie omdat de onderdelen daarvan, zoals trafo's, relatief lange reparatieduren hebben.

6.2. Draaiknoppen RCM

De rangschikking die is gegenereerd met RCMCost is te zien in Figuur 12. In Tabel 3 zijn de daarin voorkomende faalmechanismen opgenomen, inclusief omschrijving en de functie waarop het falen effect heeft. Dit geeft enkele handvatten om de beschikbaarheid van de functie Spuien van het gemaal en dus van het watersysteem te verbeteren.



Figuur 12: Rangschikking bijdrage aan niet-beschikbaarheid

Tabel 3: Faalmechanismen met grootste bijdrage aan niet-beschikbaarheid per functie

#	Code	Omschrijving faalmechanisme	Effect op functie
1	25A-001.19.13.1.B.5	Kosten taakgroep SVO Klein jaarlijks onderhoud bulbpomp	n.v.t.
2	25A-001.07.13.9.1.A.1	De noodstop of het noodstop circuit faalt, niet merkbaar falen.	Spuien
3	25A-001.19.13.1.B.4	Kosten taakgroep SVO Groot onderhoud bulbpomp	n.v.t.
4	25A-001.01.7.16.1.A.1	Slijtage lager bulbpomp (voor) (als gevolg van draaiuren, olietekort, trillingen)	Spuien
5	25A-001.14.1.1.1.A.2	Veroudering / Degradatie / Aantasting / Scheurvorming beton spuicompex	Spuien
6	25A-001.09.2.7.1.A.1	Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T1 (pomp 1 en 2),	Spuien
7	25A-001.19.9.1.1.A.1	Onvoldoende lichtopbrengst en falen LED scheepvaartseinen	Goed huisvaderschap
8	25A-001.01.7.31.1.A.1	Falen stator / rotor (van de electromotor bulbpomp)	Spuien
9	25A-001.11.5.2.1.A.1	Camera + behuizing defect	VGM, Goed huisvaderschap
10	25A-001.13.9.1.A.1	Door oververhitting van elektronische apparatuur ontstaat brand in de serverruimte	Spuien
11	25A-001.19.13.1.A.2	Kosten taakgroep IN Toestandinspectie jaarlijks	n.v.t.
12	25A-001.01.7.13.1.A.1	Lekkage handvijzels, random falen, (mogelijk door veroudering rubbers van pakking), waardoor zout water in pomp binnendringt (detectie in bedrijf, door vlotters in pomp)	Spuien
13	25A-001.09.7.5.1.A.1	Veroudering brandstoftank (10000 liter), NSA + gebouwverwarming	Spuien

#	Code	Omschrijving faalmechanisme	Effect op functie
14	25A-001.10.1.9.1.A.1	Falen hijs- en transportinstallatie en lieren (bulbpompen)	Spuien
15	25A-001.13.10.5.1.A.3	Vandalisme leidt tot schade aan toegangshekken	VGM
16	25A-001.09.7.6.1.A.1	Veroudering noodstroomdieselaggregaat, inclusief generator.	Spuien
17	25A-001.01.7.15.1.A.1	Slijtage lager bulbpomp (achter) (als gevolg van draaiuren, trillingen)	Spuien
18	25A-001.11.19.47.3.1.A.3	Veroudering lampen binnen (vooral PL/TL)	Goed huisvaderschap
19	25A-001.13.3.11.1.A.1	Defect Megadeur + componenten, (extreme wind, falen componenten)	Goed huisvaderschap
20	25A-001.05.7.3.1.A.2	Economische veroudering onderdelen (electronica etc.) omvormer maalgang 5 t.g.v. diverse oorzaken	Spuien

De gebeurtenis die verreweg de meeste impact lijkt te hebben is niet relevant, in het model is een dummy faalwijze voor SVO (standaard verzorgend onderhoud) toegevoegd met een vaste niet-beschikbaarheid van een aantal weken per jaar voor klein onderhoud. De dummy voor groot onderhoud (1x per 5 jaar) staat op de 3e plaats, en toestandsinspecties zijn terug te vinden op nummer 11. De rest van de rangschikking bevat faalmodi die bijdragen aan de niet-beschikbaarheid van één of meer functies. In het RCMCost-bestand zijn meerdere functies gedefinieerd voor het Gemaalcomplex: Keren, Schutten, VGM, “Goed huisvaderschap” en Spuien. De functies Keren, Schutten, VGM en “Goed huisvaderschap” zijn niet relevant voor het bepalen van de faalkans van het NZK/ARK-systeem. Als we de faalmodi met effect op de functie Spuien eruit filteren, blijven 12 faalmodi over, zie Tabel 3. Hiervan is bij één gebeurtenis sprake van falen van een onderdeel van de spuisluis (nr. 5, het gaat om falen van één spuikoker).

Een aantal van de faalmodi in Tabel 3 heeft betrekking op het falen van één maalgang. Zoals hiervoor is aangehaald leveren de faalmodi in hoge herstelduurklassen met 5 of 6 maalgangen gefaald de voornaamste bijdrage aan de faalkans van het NZK/ARK-systeem. Dit is het geval bij de faalmodi met nummers 2, 6, 10, 13 en 16. Dit zijn op basis van het RCMCost-model de faalmodi die naar verwachting de grootste bijdrage leveren aan de faalkans van het NZK/ARK-systeem:

- *De noodstop of het noodstop circuit faalt, niet merkbaar falen.*
- *Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T1 (pomp 1 en 2),*
- *Door oververhitting van elektronische apparatuur ontstaat brand in de serverruimte,*
- *Veroudering brandstoftank (10000 liter), NSA + gebouwverwarming,*
- *Veroudering noodstroomdieselaggregaat, inclusief generator.*

De gebeurtenis die volgens het model de meeste impact op de functie Spuien heeft is het falen van de noodstop. Deze gebeurtenis is niet opgenomen in de Notitie Delta-Pi, mogelijk is het pas na het vervangen van de bediening- en besturingsinstallatie toegevoegd (zie § 3.2). Het is daarom ook geen geschikte ‘knop’ om aan te draaien omdat er geen positieve impact zal zijn ten opzichte van de huidige berekening. Dit falen heeft volgens het model effect op alle maalgangen, maar er is een redundantiefactor meegenomen van 1%. Er is rekening gehouden met een relatief korte reparatietijd van 4 uur, maar het falen is niet merkbaar verondersteld, waardoor de gemiddelde herstelduur langer is (het testinterval is één jaar). De verwachte niet-beschikbaarheid kan dan worden gereduceerd door vaker te testen, maar het eindeffect dat alle maalgangen falen zal niet tot de volgende noodstoptest onopgemerkt blijven. Het faalmechanisme is blijkbaar op een conservatieve manier gemodelleerd, zelfs met de redundantiefactor. De daadwerkelijke hersteltijd is kort, het

is niet waarschijnlijk dat falen van de noodstop het meest bijdraagt aan de faalkans van het systeem NZK/ARK.

De gebeurtenis die volgens het model daarna de meeste impact op de functie Spuien heeft is het falen van de SVS-schakelaar T1. Dit faalmechanisme hebben we eerder ook behandeld, zie pagina 42.

Brand in de serverruimte is in de Notitie Delta-Pi niet opgenomen, dit was misschien toen nog niet in RCMCost aanwezig, of het is niet meegenomen omdat het om falen van de ruimte gaat, dit betreft een onderdeel van 'terrein en wegen'. Er is in de notitie wel rekening gehouden met een kans op brand waardoor het gemaal en de spuisluis beide falen. In het model is als aantekening opgenomen dat redundantie niet aan de orde is en dat alle belangrijke servers in dezelfde ruimte staan. Herstel houdt in dat de aanwezige installaties vervangen moeten worden, dit duurt 6 maanden. Effect is dat de volledige spuicapaciteit weg valt. Door te zorgen voor back-up installaties, die niet in dezelfde ruimte staan, maar ook door (nood)bediening buiten de servers om mogelijk te maken, of door de ruimte fysiek te compartimenteren, kan dit risico worden verkleind.

De laatste twee faalmodi hebben te maken met de noodstroomvoorziening. Dit is in het RCMCost-model meegenomen met een redundantiefactor van 1%. Dit is conservatief: de verwachte kans op uitval van de reguliere energievoorziening is kleiner dan 1% (dit zou gemiddeld neerkomen op 87,6 uur per jaar). Daarnaast wordt gerekend met een bepaalde herstelduur van het falen, die voor de brandstoftank lang is omdat is uitgegaan van een jaar lang correctief onderhoud in de vorm van sanering van milieuschade naast het dienstengebouw. Normaal gesproken is de reguliere energievoorziening eerder terug dan de herstelduur van de storing aan de noodstroominstallatie, maar hier is in het model geen rekening mee gehouden. Het gaat dus om faalmechanismen met conservatief gekozen data, de kans is klein dat de energievoorziening van het gemaal lang uitvalt, dus de impact op de faalkans van het NZK/ARK is waarschijnlijk beperkt. Om de afhankelijkheid van de noodstroominstallaties te beperken en zo het risico te verkleinen kan gedacht worden aan een dubbele, niet-parallelle netaansluiting, zoals beschreven in §4.7.

6.3. Draaiknoppen Memo HKV

In de memo van HKV [5] is per gevraagde systeemfaalkans een tabel gegeven die de benodigde reducties op de faalfrequenties laat zien per faalconfiguratieklasse en herstelduurklasse. Zoals gesteld in §2.3 heeft HKV de benodigde faalkansreducties op basis van de herijkte 0-situatie berekend om de verwachte faalkans van het NZK/ARK te verkleinen tot 1/100, 1/200, 1/500 en 1/1000. Dit is berekend met behulp van het DEZY-model, alleen de tabel met faalfrequenties wordt beschouwd. Om de 0-situatie geschikt te maken voor de input in het DEZY-model heeft HKV enkele correcties doorgevoerd op Tabel 1 uit §3.4, namelijk:

- De maximale hersteltijd (MTTR) die in DEZY kan worden gehanteerd is 1 maand. De faalfrequenties voor 1 kwartaal zijn daarom opgeteld bij de faalfrequenties voor 1 maand.
- De faalfrequentie bij 1 maalgang gefaald met herstelduurklasse van een halve dag leidt (bij vermenigvuldiging met 720) tot een faalkans in de basisduur groter dan 1. Deze faalfrequentie is daarom verlaagd, en wel zodanig dat de som van alle enkelvoudige faalmodi voor het gemaal net iets kleiner is dan 1 (en de kans op niet falen net iets groter dan 0).

Het doorvoeren van bovenstaande correcties op de faalfrequenties in de 0-situatie, resulteert in Tabel 4.

Tabel 4: Invoer DEZY-model, op basis van de 0-situatie.

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	9,32E-04	1,27E-05	8,96E-06	1,24E-04	1,46E-05
1 dag	3,65E-05	9,72E-07	0,00E+00	3,43E-08	6,31E-07
1 week	3,42E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,62E-06
1 maand	7,54E-05	6,97E-06	0,00E+00	0,00E+00	5,68E-06

In de memo van HKV [5] zijn de benodigde faalkansreducties gepresenteerd in percentages van de faalfrequenties in Tabel 4, zie Tabel 5, Tabel 6 en Tabel 7. Ter illustratie, indien er 20% staat, moet de huidige faalfrequentie gereduceerd worden tot 20% van de originele waarde.

Om te onderzoeken aan welke knoppen het beste gedraaid kan worden hebben we voor de verschillende combinaties van herstelduur- en faalconfiguratieklasse de relatieve procentuele bijdrage per faalmechanisme van het gemaal berekend, zie Bijlage S.

6.3.1. Knoppen Gemaal IJmuiden voor faalkans NZK/ARK: 1/200

De onderstaande tabel is afkomstig uit de memo van HKV [5]. De tabel geeft de fracties van de faalfrequenties uit Tabel 4 die benodigd zijn om een NZK/ARK-faalkans van 1/200 per jaar te realiseren. In deze paragraaf geven we per combinatie van faalconfiguratieklasse en herstelduurklasse aan met welke maatregelen het aangegeven percentage kan worden gerealiseerd.

Tabel 5: Aanpassing faalkansen Tabel 4 om overschrijdingsfrequentie naar 1/200 per jaar te brengen

Gemaal	Percentages van de originele waarden in Tabel 4				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag					
1 dag					
1 week					
1 maand	50%				20%

Falen van 5 of 6 maalgangen, 1 maand herstelduur: 20%

Op basis van Tabel 5 moet de verwachte kans dat 5 of 6 maalgangen falen met een herstelduur van één maand worden gereduceerd tot 20% van de huidige faalkans. Dat komt neer op een faalfrequentie van 1,14E-06 per uur. Uit Bijlage S blijkt dat er twee faalmodi zijn waaraan we kunnen "draaien".

Conform de 0-situatie faalt het gemaal gemiddeld eens per 23 jaar door Common Cause Failure zodanig dat alle maalgangen falen met een herstelduur in de klasse van 1 maand. Zoals we al hebben aangegeven in

§3.3.3 is uit de Notitie Delta-Pi niet op te maken welke componenten en welke gemeenschappelijke oorzaken daaronder vallen. In het algemeen kan CCF worden tegengegaan door meer diversiteit toe te passen in fabricaten, gebruiks- en onderhoudsregimes etc. We nemen aan dat de verwachte frequentie van CCF daarmee verkleind kan worden tot ca. eens in de 100 jaar. Als we deze “knop” implementeren, komen we tot een totale faalfrequentie van $1,82E-06$, waarmee de gewenste waarde van $1,14E-06$ nog niet wordt gehaald.

Naast de frequentie kan ook gekeken worden naar de herstelduur, in deze situatie falen door Common Cause Failure alle maalgangen een maand lang (in de 0-situatie gaat het zelfs om 1460 uur). Door te onderzoeken welke componenten gevoelig zijn voor CCF met een herstelduur van een maand kunnen gericht reservedelen op voorraad worden genomen of kan gekozen worden voor (onafhankelijk falende) back-up-installaties zodat het falen sneller hersteld kan worden. Dit zal een positief effect hebben, maar omdat hierdoor in een andere herstelduurklasse de faalfrequentie stijgt kunnen we niet zien wat het effect op de totale verwachte faalkans is.

Naast CCF kijken we of het tweede faalmechanisme een mogelijke draaiknop levert, het gaat om falen van de luchtbehandelingskast van de serverruimte.

Na het opstellen van de notitie door Delta-Pi is de serverruimte van het gemaal aangepast. In deze analyse is geen rekening gehouden met de nieuwe situatie (zie §3.2). De faalfrequentie en de gevolgen van falen zijn daarom mogelijk conservatief. De betrouwbaarheid van de luchtbehandelingskast kan worden verbeterd door bijvoorbeeld redundantie, de herstelduur door de installatie en de temperatuur in de ruimte te monitoren, reservedelen op voorraad te leggen, en verminderd functioneren van de luchtbehandelingskast te herstellen voordat door falen van de installaties in de ruimte alle maalgangen een maand lang niet beschikbaar zijn. Op basis van de Notitie Delta-Pi zal dit echter geen significante bijdrage leveren. Het faalmechanisme draagt maar voor 12% bij (zie Bijlage S). Zelfs bij een perfecte luchtbehandelingskast kan de reductie naar 20% niet behaald worden zonder iets te doen aan de frequentie van CCF.

Het is dus mogelijk om de faalfrequentie van 5 of 6 maalgangen met een herstelduur van een maand te reduceren naar 20%. Om concrete maatregelen te kunnen vaststellen moeten wel enkele onduidelijkheden worden onderzocht. Zo moet worden nagegaan welke vormen van CCF een rol spelen voor het gemaal en moet de actuele situatie omtrent de serverruimte gemodelleerd worden.

Falen van 1 maalgang, 1 maand herstelduur: 50%

Op basis van Tabel 5 moet de verwachte kans dat 1 maalgang faalt met een herstelduur van één maand worden gereduceerd tot 50% van de huidige waarde. Dat komt neer op een faalkans van $3,77E-05$ per uur. Uit Bijlage S blijkt dat er 12 faalmodi bijdragen aan deze faalkans.

Het faalmechanisme met de hoogste relatieve bijdrage betreft het random falen van de handvijzels. Dit faalmechanisme heeft een verwachte faalkans van $3,47E-05$ per uur. Dit betekent dat op basis van de input van Delta-Pi blijkt dat falen van één van de handvijzels ca. eens per 3 jaar optreedt. Mogelijk is het onderdeel te vervangen door een betrouwbaarder systeem of is via preventieve onderhoudsmaatregelen de faalfrequentie te verkleinen. Het is niet mogelijk om alleen met deze maatregel de gewenste

betrouwbaarheid te bereiken, er is een reductie van $3,77E-05$ nodig. We nemen aan dat met maatregelen het systeem maar eens per 10 jaar lekt. De totale verwachte faalkans daalt daardoor van $7,54E-05$ naar $5,21E-05$ per uur.

Het tweede faalmechanisme betreft het falen van de waaier met een verwachte faalfrequentie van $1,40E-05$ per uur. Conform de Notitie Delta-Pi faalt één van de waaiers gemiddeld eens in de 8 jaar door serieuze beschadiging door objecten. Door objecten te weren met bijvoorbeeld een (beter) krooshek en kleine schades tijdig te repareren kan de faalfrequentie worden verkleind naar 1 keer per 20 jaar ($5,71E-06$ per uur). In combinatie met de maatregel met betrekking tot de handvijzels daalt de totale verwachte faalfrequentie daarmee tot ca. $4,39E-05$ per uur.

De daaropvolgende faalmechanismen dragen in mindere mate bij, maatregelen voor meerdere faalmechanismen zijn nodig om de gewenste reductie te bereiken. Om de totale faalfrequentie tot ca. 50% te kunnen reduceren kan bijvoorbeeld moet Maatregel C (zie §4.4) worden toegepast. In §4.4.1 is een lijst met faalmodi opgesomd waarop de onderhoudsmaatregel van toepassing is. Deze lijst heeft veel overlap met de faalmodi die leiden tot uitval van één maalgang met herstelduurklasse 1 maand/kwartaal. Het betreft de onderstaande faalmodi:

- *Beschadigen wikkelingen (agv trillen, lekkend water, etc.)*
- *Slijtage lager bulbpomp (achter) als gevolg van draaiuren, olietekort, trillingen)*
- *Slijtage lager bulbpomp (voor) als gevolg van draaiuren, olietekort, trillingen)*
- *Falen stator / rotor (van de elektromotor bulbpomp)*
- *Falen / veroudering / bereiken technische levensduur van hydraulisch aggregaat een persschuif van een maalgang, leidende tot lekkages*
- *Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T5 (pomp 5)*
- *Uitval door verouderen trafo (T5, T6)*

De combinatie van de genoemde “knoppen” leidt tot een verlaging van de verwachte faalkans tot $3,53E-05$ per uur. Daarmee wordt de benodigde 50% reductie behaald.

6.3.2. Knoppen Gemaal IJmuiden voor faalkans NZK/ARK: 1/500

De onderstaande tabel is afkomstig uit de memo van HKV [5]. De tabel geeft de fracties van de faalkansen uit Tabel 4 die benodigd zijn om een NZK/ARK-faalkans van 1/500 per jaar te realiseren. De waarden in Tabel 5 zijn verder gereduceerd en enkele andere faalfrequenties moeten ook worden verkleind. In deze paragraaf geven we per combinatie van faalconfiguratieklasse en herstelduurklasse aan met welke maatregelen het aangegeven percentage kan worden gerealiseerd.

Tabel 6: Aanpassing faalkansen Tabel 4 om overschrijdingsfrequentie naar 1/500 per jaar te brengen

Gemaal	Percentages van de originele waarden in Tabel 4				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	20%			20%	50%
1 dag					
1 week					
1 maand	10%	50%			4%

Falen van 1 maalgang, halve dag herstelduur: 20%

Conform de memo van HKV [5] is op deze faalconfiguratieklasse en herstelduurklasse een correctie toegepast. Met deze correctie wordt de berekende faalfrequentie van “1 maalgang gefaald voor een halve dag” van Tabel 1, ofwel $2,08E-03$ per uur, verkleind naar $9,32E-04$ per uur. Deze faalkans moet, conform Tabel 6, gereduceerd worden tot 20%. Dat betekent dat een faalfrequentie van $1,86E-04$ per uur moet worden behaald. Dit komt neer op iets minder dan 9% van de oorspronkelijke faalfrequentie.

Uit Bijlage S blijkt dat er 24 faalmodi zijn waaraan we kunnen “draaien”. De twee meeste dominante faalmechanismen hebben samen een relatieve bijdrage van 54% van de faalfrequentie. De faalmechanismen daarna dragen voor 6% of minder bij aan de totale faalfrequentie. Zonder in detail te bekijken welke maatregelen mogelijk zijn wordt daaruit al duidelijk dat het moeilijk is om een reductie tot 9% van de oorspronkelijke waarde te behalen.

Het faalmechanisme met de meest dominante bijdrage (33%) is lekkage in het hydraulisch systeem. In de 0-situatie heeft dit een kans van optreden van $6,82E-04$ per uur, wat betekent dat één van de zes hydraulische systemen eens per 2 maanden faalt. Het zou mogelijk moeten zijn de lekkende onderdelen te vervangen of het systeem op een andere manier betrouwbaarder te maken, zodat het olieniveau minder vaak dan eens per 2 maanden te laag is. Als we bijvoorbeeld in de faaldatabase van Rijkswaterstaat kijken vinden we voor lekkage van een hydraulisch systeem in het meest ongunstige geval een faalfrequentie van $1,7E-06$ per uur. Voor 6 systemen komt dit neer op $1,02E-05$ per uur, oftewel één van de zes systemen faalt eens per 11 jaar. Daarmee gaat de totale verwachte faalkans van $2,08E-03$ naar $1,41E-03$ per uur, ongeveer 68% van de oorspronkelijke waarde. Zoals eerder aangegeven zullen dus meer maatregelen nodig zijn.

De één na grootste bijdrage is van falen van de meetsysteem-sensoren (willekeurig type) van de pomp. De faalfrequentie per sensor is niet bijzonder hoog ($2,38E-06$ per uur komt overeen met één storing per ca. 48 jaar). Volgens de analyse zijn er echter 180 sensoren in totaal die allemaal bij een storing tot gevolg hebben dat één maalgang een halve dag niet beschikbaar is. Er zijn dus 30 kritieke sensoren per maalgang, en er is geen sprake van redundantie (redundantiefactoren zijn niet opgenomen). Een maatregel zou kunnen zijn om redundante sensoren te gebruiken (bijv. 2-uit-3-metingen). Ook kan bijvoorbeeld voor bepaalde signalen een failsafe ingebouwd worden, zodat in het geval dat de volledige pompcapaciteit benodigd is, de pomp ook aan gaat als het signaal van de betreffende sensor ontbreekt. Misschien is het niet bij alle 30 signalen noodzakelijk om de waarde te kennen om te pomp te gebruiken. Als we in lijn met andere faalmechanismen in de 0-situatie een redundantiefactor van 0,1 toepassen, wordt de kans van optreden van dit

faalmechanisme gelijk aan $4,29E-05$ per uur. Inclusief deze maatregel komt de totale verwacht faalkans op $1,02E-03$ per uur, ongeveer 49% van de oorspronkelijke waarde.

De lijst faalmodi die leiden tot het falen van één maalgang met herstelduurklasse “halve dag” bestaat verder voor een deel uit onderdelen van de bediening en besturing. In §3.2 is aangegeven dat de recente mutaties van het besturingssysteem niet zijn opgenomen in deze analyse. De faalfrequenties kunnen dus conservatief zijn. We gaan ervan uit dat het mogelijk is om redundantie in het systeem aan te brengen en geven de volgende faalmechanismen een RF van 0,1:

- *Falen omzetter tussen LAN switch en PLC maalgang, random falen*
- *Random falen glasvezelverbinding (vervuiling, verkeerd onderhoud)*
- *Random falen OP bedienpaneel in PLC kast,*
- *Falen onderdeel PLC maalgang: CPU, kaart, backplane, voeding, etc. (random falen)*
- *Random falen Remote IO modules maalgang (6 stuks)*
- *Veroudering SCADA servers*

Met een redundant bediening- en besturingssysteem ten opzichte van het besturingssysteem uit de Notitie Delta-Pi, wordt de totale verwachte faalfrequentie $6,93E-04$ per uur, ca. 33% van de oorspronkelijke waarde.

Om een reductie tot $1,86E-04$ per uur te behalen zijn dus nog meer maatregelen benodigd. De faalmechanismen met de hoogste vier bijdragen zijn al aangepakt. Op de vijfde plaats staat random falen van onderdelen van de omvormers van maalgang 5 en 6. Dit treedt gemiddeld één keer per jaar op (per maalgang één keer per twee jaar. In de faaldata base van Rijkswaterstaat is voor een omvormer een gemiddelde faalfrequentie gegeven van $1,2E-05$ per uur, dat komt overeen met één storing in 9,5 jaar. We nemen aan dat een dergelijke faalfrequentie haalbaar is door de omvormer of de storingsgevoelige onderdelen ervan te vervangen door meer betrouwbare componenten. De verwachte faalfrequentie van dit faalmechanisme daalt dan van $1,12E-04$ naar $2,4E-05$ per uur. In totaal is de verwachte faalfrequentie dan $6,05E-04$ per uur.

Er is dan nog een reductie van $4,19E-04$ per uur benodigd om tot de gewenste faalfrequentie van $1,86E-04$ per uur te komen. De bijdragen van de faalmechanismen zijn na de top 5 echter orde grootte 10^{-5} of kleiner. Als we bijvoorbeeld uitgaan van maatregelen waarmee de faalfrequentie tot 10% van de oorspronkelijke waarde daalt (dit komt overeen met een RF van 0,1), dan moeten deze maatregelen voor de volgende faalmodi worden genomen:

- *Falen door veroudering naderingsschakelaar*
- *Veroudering conservering van schuiven (Civiel en Wtb)*
- *Falen schuifgeleiding door verkeerde bevestigingen (menselijk falen)*
- *Lekkage membraan vijzel, random falen met gevolg dat vijzels zijn verbogen bij in- en uitnemen van de pomp.*
- *Falen hydrauliek systeem, inclusief drukmeting hydraulische vijzel*
- *Uitharden en daardoor lekkage / falen hydrauliekslangen*
- *Losraken bevestiging (bouten) A-frame op schuif*

- Defecte warmtewisselaar t.b.v. statische omvormer pomp
- Lekkage membraan vijzel, metgevolg dat vijzels zijn verbogen bij in- en uitnemen van pomp, t.g.v. niet ver genoeg indraaien vijzel bij plaatsing/demontage. Pomp kan niet goed gepositioneerd worden
- Falen ventilator omvormer + motor

We zien dus inderdaad dat voor een reductie tot 9% van de oorspronkelijke waarde heel veel maatregelen benodigd zijn.

Falen 1 maalgang, 1 maand herstelduur: 10%

Op basis van Tabel 6 moet de faalkans dat 1 maalgang faalt met een herstelduur van één maand worden gereduceerd tot 10% van de huidige faalkans. Dat komt neer op een benodigde totale verwachte faalkans van $7,54E-06$. In §6.3.1 is met uiteenlopende maatregelen (betrouwbaardere handvijzels, verbeterd krooshek en onderhoudsmaatregel C) de faalkans gereduceerd tot ca. 47% van de oorspronkelijke waarde.

Het faalmechanisme met de grootste relatieve bijdrage was random falen van de handvijzels. Door de voorgestelde maatregel te nemen nam de bijdrage hiervan af tot ca. 15% van de totale waarde. Om een reductie tot 10% te behalen moet de betrouwbaarheid van de handvijzels dus nog meer omhoog. Daarnaast zijn er 11 andere faalmechanismen die in deze klasse bijdragen waarvan de faalfrequentie omlaag zal moeten om tot de gewenste reductie te komen.

Falen 2 maalgangen, 1 maand herstelduur: 50%

Op basis van Tabel 6 moet de verwachte faalkans dat 2 maalgangen falen met een herstelduur van één maand worden gereduceerd tot 50% van de huidige faalkans. Dat komt neer op een benodigde totale faalkans van maximaal $3,48E-06$ per uur. Uit Bijlage S blijkt dat er vier faalmodi zijn waaraan we kunnen “draaien”.

Het falen van twee maalgangen door CCF heeft de grootste relatieve bijdrage aan de faalkans (72%). Zoals we al hebben aangegeven in §3.3.3 is het onduidelijk wat er onder CCF valt in de Notitie Delta-Pi. Normaal gesproken is CCF te verkleinen door meer diversiteit toe te passen in fabricaten, gebruiks- en onderhoudsregimes etc. We gaan ervan uit dat het mogelijk is de kans van optreden van CCF daarmee te verlagen tot ca. eens in de 100 jaar. Hiermee wordt de kans op CCF verkleind van $5E-06$ per uur tot $1,14E-06$ per uur. Als we deze “knop” implementeren, komen we tot een totale faalfrequentie van $3,11E-06$, waarmee de gewenste faalkans van $3,48E-06$ per uur haalbaar is.

Naast bovengenoemde maatregel heeft ook het functioneel- en fysiek compartimenteren (Maatregel E) effect op de totale faalkans. Met deze maatregel wordt het falen van twee maalgangen door interne brand, uitval van een trafo, of het falen van een SVS-schakelaar uitgesloten en leidt falen “slechts” tot falen van één maalgang. Deze maatregel alleen is niet voldoende om een 50%-reductie van de faalkans te realiseren. Het verkleinen van de kans op CCF is nodig om de 50%-reductie te realiseren. Daarbij is de reductie van de kans op falen van één maalgang met een maand herstelduur al moeilijk haalbaar zonder dat er meer faalmechanismen aan bijdragen. Het zou echter wel kunnen dat door meer dan 50% reductie te behalen voor 2 maalgangen, de benodigde reductie voor 1 maalgang minder groot hoeft te zijn om op dezelfde totale

verwachte faalkans van het gemaal uit te komen. We zullen echter zien dat het daarmee nog de vraag is of een NZK/ARK-faalkans van 1/500 per jaar haalbaar is.

Falen 4 maalgangen, halve dag herstelduur: 20%

Op basis van Tabel 6 moet de verwachte faalkans dat vier maalgangen falen met een herstelduur van een halve dag worden gereduceerd tot 20% van de huidige faalkans. Dat komt neer op een benodigde totale faalkans van $2,49E-05$ per uur. Uit Bijlage S blijkt dat er vier faalmodi zijn die daaraan bijdragen.

Het faalmechanisme “Falen onderdelen meetsysteem (opnemers, compressor, borrelbuis, electronica)” heeft met 91% een significante bijdrage aan het falen van 4 maalgangen met een herstelduur van een halve dag. Door deze meetsystemen redundant uit te voeren, en een RF-factor van 0,1 toe te passen, wordt de totale verwachte faalkans $2,26E-05$ per uur, waarmee de benodigde gereduceerde faalkans wordt bereikt.

Falen 5 of 6 maalgangen, halve dag herstelduur: 50%

Op basis van Tabel 6 moet de faalkans dat 5 of 6 maalgangen falen met een herstelduur van een halve dag worden gereduceerd tot 50% van de huidige faalkans. Dat komt neer op een benodigde totale verwachte faalkans van $7,30E-06$ per uur. Uit Bijlage S blijkt dat er acht faalmodi zijn waaraan we kunnen “draaien”. Het optreden van overgangsweerstand door losse contacten in de aardingsinstallatie in combinatie met een technische fout in de installatie, heeft de grootste bijdrage bij deze faalconfiguratie- en herstelduurklasse. Volgens de Notitie Delta-Pi falen 5 á 6 pompen eens in de 20 jaar met deze oorzaak. Door goed huisvaderschap, oftewel door voldoende inspecties, moet de faalfrequentie terug te dringen zijn naar eens per 50 jaar. Daarmee komt de totale verwachte faalkans op $1,14E-05$ per uur.

De lijst faalmodi die leiden tot het falen van 5 of 6 maalgangen met herstelduurklasse “halve dag” bestaat voor een deel uit het falen van de besturingsinstallatie. Vooral het falen van de PLC Centraal Gemaal heeft een grote bijdrage aan de totale faalkans (31%). Uit §3.2 blijkt dat de recente mutaties aan het besturingssysteem niet zijn opgenomen in deze analyse. De faalfrequenties daarvan kunnen dus conservatief zijn. Indien de PLC Centraal Gemaal redundant is uitgevoerd tijdens de mutatie, is een reductie van 50% haalbaar. Door een RF van 0,1 op de PLC toe te passen komen we op een totale verwachte faalkans van $7,29E-06$ per uur.

Falen 5 of 6 maalgangen, 1 maand herstelduur: 4%

Op basis van Tabel 6 moet de faalkans dat 5 of 6 maalgangen falen met een herstelduur van één maand worden gereduceerd tot 4% van de huidige faalkans. Dat komt neer op een benodigde totale verwachte faalkans van $2,27E-07$ per uur, dat wil zeggen dat een storing niet vaker dan eens per ongeveer 500 jaar mag optreden.

In §6.3.1 hebben we maatregelen benoemd om in deze categorie de faalfrequentie te reduceren. Een daling naar 4% kan alleen worden bereikt als Common Cause Failure vrijwel volledig wordt voorkomen. De kans kan worden beperkt door volledig andere type componenten en verschillende leveranciers, verschillende gebruiksregimes, onderhoudsregimes en storingsmonteurs, early warnings etc., maar de vraag is of daarmee de benodigde reductie kan worden behaald. Daarnaast moet de faalfrequentie van de luchtbehandelingskast in de server- of computerruimte worden verkleind. Zoals aangegeven in §6.3.1 is de

serverruimte sinds de notitie aangepast. De faalfrequentie kan daardoor conservatief zijn, maar om een faalfrequentie van ordegrrootte 10^{-7} per uur te behalen is minimaal een redundante installatie noodzakelijk.

6.3.3. Knoppen Gemaal IJmuiden voor faalkans NZK/ARK: 1/1000

De onderstaande tabel is afkomstig uit de memo van HKV [5]. De tabel geeft de fracties van de faalkansen uit Tabel 4 die benodigd zijn om een verwachte NZK/ARK-faalkans van 1/1000 per jaar te realiseren. In de memo van HKV [5] wordt aangegeven dat – bij een perfect functionerend gemaal, ofwel 100% betrouwbaarheid – de kans dat het NZK/ARK een waterstand van NAP +0,00m overschrijdt gelijk is aan 1/1200 per jaar. Hieruit kan worden opgemaakt dat het gemaal “perfectie” moet naderen om een faalkans van 1/1000 te realiseren.

Tabel 7: Aanpassing faalkansen Tabel 4 om overschrijdingsfrequentie naar 1/1000 per jaar te brengen

Gemaal	Percentages van de originele waarden in Tabel 4				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2%			4%	4%
1 dag					50%
1 week	20%				10%
1 maand	2%	4%			0,5%

Uit de vorige paragraaf blijkt dat een faalkans van 1/500 per jaar voor het systeem door enkel maatregelen bij Gemaal IJmuiden toe te passen, moeilijk haalbaar is. Met name de benodigde reductie van de faalfrequentie van 5 of 6 maalgangen met één maand herstelduur is vrijwel onhaalbaar. Volgens de tabel met betrekking tot een gewenste faalkans van 1/1000 per jaar moet deze faalfrequentie nog verder worden gereduceerd naar 0,5% van de oorspronkelijke waarde, dit is niet realistisch. Daarnaast zijn andere grote reducties naar bijvoorbeeld 2% of 4% nodig, die in de praktijk ook niet haalbaar zijn met maatregelen op de bijdragende faalmechanismen.

Er zal naar andere oplossingen gezocht moeten worden binnen het NZK/ARK-watersysteem, bijvoorbeeld bij andere gemalen of de spuisluis. Daarnaast kan gedacht worden aan overkoepelende maatregelen zoals het vergroten van de capaciteit van het huidige gemaal zodat de benodigde afvoer met minder maalgangen kan worden bereikt, of door met extra maalgangen inclusief pompen meer redundantie in te bouwen. Het blijft dan wel een aandachtspunt dat Common Cause Failure waardoor alle capaciteit wegvalt voor langere tijd zoveel mogelijk tegengegaan moet worden door enerzijds de kans te verkleinen en anderzijds de duur van een dergelijke storing te verkorten.

7 Conclusie & Aanbevelingen

7.1. Conclusie

De basis van deze analyse is de Notitie Delta-Pi uit 2016. In de Notitie Delta-Pi [2] zijn faalkanstabellen van Gemaal IJmuiden gegenereerd die kunnen worden ingevoerd in het DEZY-model om de verwachte faalkans van het NZK/ARK-watersysteem vast te stellen. We hebben de faalfrequenties als gegeven aangenomen en op basis van een herijking enkele waarden gewijzigd in de zogenoemde “0-situatie”. Invoer van de resultaten van de 0-situatie in DEZY verbetert de verwachte faalkans van het NZK/ARK van 1/75 naar 1/112 jaar [5].

In het eerste deel van de opdracht hebben we voorgestelde maatregelen gekwantificeerd en de effecten op de faalkanstabellen laten zien. In Hoofdstuk 4 zijn de gemaakte aannamen en modelleerwijzen toegelicht, waarna in §5.1 de resultaten per maatregel zijn gepresenteerd. De effecten van bepaalde combinaties van voorgestelde maatregelen zijn gepresenteerd in §5.2. De resultaten van de verschillende maatregelen en combinaties daarvan worden ook in DEZY ingevoerd om de daaruit volgende verwachte faalkans van het NZK/ARK te bepalen.

In het tweede deel van de opdracht hebben we onderzocht aan welke “knoppen” Rijkswaterstaat bij Gemaal IJmuiden kan draaien om een toekomstige gewenste acceptabele faalkans (1/200, 1/500 of 1/1000 per jaar) te realiseren. In §6.1 en §6.2 zijn door analyses van de 0-situatie en RCMCost “knoppen” bepaald aan de hand van de faalmodi met de grootste bijdragen aan de verwachte niet-beschikbaarheid en faalfrequenties van Gemaal IJmuiden. In §6.3 is een gerichte aanpak gehanteerd aan de hand van de benodigde faalkansreducties die door HKV met DEZY zijn bepaald op basis van de 0-situatie om een gewenste acceptabele faalkans (1/200, 1/500 of 1/1000 per jaar) te realiseren. Vervolgens hebben wij “draaiknoppen” voorgesteld om de benodigde faalkansen te realiseren. Hieruit kan worden geconcludeerd dat een verwachte systeemfaalkans van 1/200 per jaar haalbaar is met een aantal aanpassingen aan het gemaal. Voor een faalkans van 1/500 per jaar moet worden afgevraagd of de gevonden “draaiknoppen” wel de meest efficiënte oplossing zijn. Mogelijk kan beter naar andere maatregelen gezocht worden binnen het watersysteem, bijvoorbeeld bij andere gemalen of de spuisluis. Een capaciteitsuitbreiding van het huidige gemaal zou ook een oplossing kunnen zijn. Voor een gewenste faalkans van 1/1000 per jaar geldt dat het gemaal in de huidige configuratie vrijwel perfect moet presteren, hiervoor zijn geen praktisch haalbare “draaiknoppen” binnen het gemaal te bedenken.

7.2. Aanbevelingen

Deze analyse is gebaseerd op faaldata die gezien de beperkte verslaglegging niet reproduceerbaar zijn. Wel is duidelijk dat de faalmodi en faaldata afkomstig zijn uit een RCMCost-model. Dit is een tool voor optimalisatie van onderhoud en niet geheel geschikt voor het berekenen van beschikbaarheid of betrouwbaarheid. Dit uit zich bijvoorbeeld in het ontbreken van stroomstoringen, die geen onderhoudswerkzaamheden vragen, maar wel falen van het object tot gevolg hebben. Ook is het modelleren van redundantie met een factor niet heel nauwkeurig. De impact wordt verkleind zodat het faalmechanisme geen hoge bijdrage in RCMCost heeft, maar de waarde komt niet overeen met de werkelijke faalfrequentie van het redundante systeem.

Voor het eerste deel van de analyse hebben we de impact van diverse maatregelen bepaald. Dit is goed mogelijk op basis van de gegevens uit de Notitie Delta-Pi, het gaat erom een beeld te krijgen van de mate van verbetering per maatregel en voor combinaties daarvan.

Als we echter in het tweede deel met “draaiknoppen” proberen toe te werken naar bepaalde acceptabele faalfrequenties is zichtbaar dat voor sommige draaiknoppen de analyse wat beperkt is. Bijvoorbeeld het falen door Common Cause Failure blijkt een grote impact te hebben, maar een onderbouwing van de faalfrequentie of de herstelduur is er niet. Ook volgt uit DEZY dat enkele aanpassingen van de situatie in 2016 naar de “0-situatie” een behoorlijk effect op de faalkans van het systeem NZK/ARK hebben. Daarbij is de huidige opzet van het bediening- en besturingssysteem niet in de lijst met faalmodi verwerkt, waar het besturingssysteem, netwerkverbindingen en bijvoorbeeld luchtbehandelingskasten wel naar voren komen als mogelijke “draaiknoppen”.

Gezien de combinatie van (1) gedateerde faalmodi, (2) de beperkte herleidbaarheid van faalfrequenties uit de Notitie Delta-Pi en (3) het feit dat RCM niet geheel geschikt is voor het berekenen van faalkansen en niet-beschikbaarheden, raden wij Rijkswaterstaat aan om een uitgebreide betrouwbaarheid- en beschikbaarheidsanalyse (RA-analyse) uit te voeren, gebaseerd op de actuele situatie van hetemaal. Hierbij raden wij aan om middels een Failure Mode & Effect Analysis (FMEA) systematisch door de faalmodi van het systeem te lopen en onderbouwing vast te leggen. Hierdoor wordt technisch falen, dat relevant is voor de faalkans van het systeem, en economisch falen, dat ook is opgenomen in RCMCost, onderscheiden. Aan de hand van de FMEA kan een foutenboomanalyse worden opgesteld waarmee de redundanties en optreden van Common Cause Failure nauwkeurig worden gemodelleerd. Voor het kwantificeren van de foutenboom kan eventueel gebruik gemaakt worden van de faaldata uit het RCMCost-bestand, maar we raden aan de waarden die gebaseerd zijn op gesprekken met objectdeskundigen in 2016 opnieuw te bespreken. De foutenbomen kunnen zo worden gemodelleerd dat de uitvoer correspondeert met de tabellen die input zijn voor de DEZY-sommen.

Een dergelijke aanpak wordt ook bij de Stormvloedkeringen (Oosterscheldekering, Maeslantkering, Hollandse IJsselkering, Haringvlietsluis en Ramspol) toegepast. Voordeel van een dergelijke opzet is dat toekomstige systeemmutaties of bijvoorbeeld voorgestelde maatregelen eenvoudig en overzichtelijk te verwerken zijn. Vervolgens is het eenvoudig om gewijzigde faalfrequenties te berekenen en het DEZY-model van input te voorzien.



BIJLAGEN

- A. Notitie Delta-Pi – Bijlage 1



B. Notitie Delta-Pi – Bijlage 3

	Faalmodi	Aantal componenten RCM Cost				Faalconfiguratieklasse						in niet-beschikbaarheden [-]		in faalfrequenties [-/uur]		
		Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Totaal aantal	Lambda praktijk [-/uur /component]	Merkbaar / Niet merkbaar falen	Testinterval (niet-merkbaar falen) [uur]	Lambda praktijk [-/uur]	Reparatieduur [uur]	Niet-beschikbaarheid [-]	Herstelduur-klasse [halvedag / dag / week / maand / kwartaal]	6 maalgangen en 7 spuikokers gefaald		6 maalgangen en 7 spuikokers gefaald	
													6 maalgangen en 7 spuikokers gefaald	6 maalgangen en 7 spuikokers gefaald	6 maalgangen en 7 spuikokers gefaald	6 maalgangen en 7 spuikokers gefaald
Bediening en besturing	Falen bedien PC lokaal (3 stuks per bedienplek) t.g.v. veroudering						mf	0,0	2,34E-06	0,1	1,64E-07	halve dag	1,64E-07	2,34E-06		
	Falen monitor, exclusief cybersec monitoren, t.g.v. veroudering						mf	0,0	1,24E-06	0,0	1,25E-08	halve dag	1,25E-08	1,24E-06		
	Falen bedien PC op afstand (3 stuks per bedienplek)						mf	0,0	2,34E-06	0,1	1,64E-07	halve dag	1,64E-07	2,34E-06		
	Economische veroudering LAN netwerk	1	1	1	1	6,53E-07	mf	0,0	6,53E-07	73,0	4,77E-05	week	4,77E-05	6,53E-07		
	Random falen LAN switch centraal	1	1	1	1	1,13E-05	mf	0,0	1,13E-05	0,5	5,64E-06	halve dag	5,64E-06	1,13E-05		
	Random falen LAN switch spuisluizen	1	1	1	1	1,13E-05	mf	0,0	1,13E-05	0,5	5,64E-06	halve dag	5,64E-06	1,13E-05		
Installaties	Transmissie-installatie NNV netwerk (WAN)	1	1	1	1	1,14E-04	mf	0,0	1,14E-04	3,0	3,41E-04	halve dag	3,41E-04	1,14E-04		
	Hoogspanningsinstallatie 10 kV schakelaars in de SVS ruimte	1	1	1	1	6,53E-07	mf	0,0	6,53E-07	73,1	4,77E-05	week	4,77E-05	6,53E-07		
Energie	Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T7 (rail B)	1	1	1	1	6,53E-07	mf	0,0	6,53E-07	73,1	4,77E-05	week	4,77E-05	6,53E-07		
	Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T3 (Rail A)	1	1	1	1	6,53E-07	mf	0,0	6,53E-07	73,1	4,77E-05	week	4,77E-05	6,53E-07		
	Falen koppelschakelaar (tussen energielevering en hoofdverdeler 10kV)	1	1	1	1	6,42E-07	mf	0,0	6,42E-07	1461,0	9,38E-04	kwartaal	9,38E-04	6,42E-07		
	Falen hoogspanningskabels (binnen het gebouw)	1	1	1	1	1,60E-08	mf	0,0	1,60E-08	2190,0	3,50E-05	kwartaal	3,50E-05	1,60E-08		
	Uitval door verouderen trafo (T3)	1	1	1	1	1,00E-07	mf	0,0	1,00E-07	36,6	3,67E-06	week	3,67E-06	1,00E-07		
	Uitval door verouderen trafo (T7)	1	1	1	1	2,26E-07	mf	0,0	2,26E-07	36,6	8,26E-06	week	8,26E-06	2,26E-07		
	Falen afzuigventilator T3	1	1	1	1	0,00E+00	mf	0,0	0,00E+00	73,5	0,00E+00	week	0,00E+00	0,00E+00		
	Economische veroudering LS verdeelinstallatie geheel gemaal zonder spuisluis	1	1	1	1	3,65E-08	mf	0,0	3,65E-08	73,0	2,67E-06	week	2,67E-06	3,65E-08		
	Random falen onderdeel PLC van Energie Management Systeem: CPU, kaart, backplane, voeding, etc. (random falen)	1	1	1	1	4,51E-06	mf	0,0	4,51E-06	3,0	1,35E-05	halve dag	1,35E-05	4,51E-06		
	Random falen Remote IO module Energie Management Systeem	1	1	1	1	3,96E-06	mf	0,0	3,96E-06	3,0	1,19E-05	halve dag	1,19E-05	3,96E-06		
	Veroudering / falen van hoofdschakelaar H (rail A/rail B)	1	1	2	2	6,80E-07	mf	0,0	1,32E-06	73,1	9,67E-05	week	9,67E-05	1,32E-06		
	Veroudering / falen van hoofdschakelaar NSA	1	1	2	2	6,70E-07	mf	0,0	1,34E-06	14,6	1,95E-05	dag	1,95E-05	1,34E-06		
	Falen onderdeel PLC NSA (S5 siemens economische veroudering): CPU, kaart, backplane, voeding, etc. (random falen)	1	1	1	1	4,51E-06	mf	0,0	4,51E-06	3,0	1,35E-05	halve dag	1,35E-05	4,51E-06		
	Noodstroominstallatie, roterend NSA (voor zowel Gemaal als Spuisluis)	Veroudering brandstoftank (10000 liter), NSA + gebouwverwarming	1	1	1	1	2,05E-07	mf	0,0	2,05E-07	87,6	1,80E-05	week	1,80E-05	2,05E-07	
Veroudering noodstroomdieselaggregaat, inclusief generator. RF 1% (effect alleen bij uitval energienet)		1	1	1	1	8,13E-07	mf	0,0	8,13E-07	0,1	7,32E-08	halve dag	7,32E-08	8,13E-07		
Random falen generator NSA		1	1	1	1	5,55E-06	mf	0,0	5,55E-06	3,4	1,86E-05	halve dag	1,86E-05	5,55E-06		
Falen van de accu's UPS (in oude hoogspanningsruimte)		1	1	1	1	6,37E-07	mf	0,0	6,37E-07	0,1	5,10E-08	halve dag	5,10E-08	6,37E-07		
Falen UPS (in oude hoogspanningsruimte)		1	1	1	1	1,52E-06	mf	0,0	1,52E-06	0,0	1,52E-08	halve dag	1,52E-08	1,52E-06		
CCF	Falen van alle maalgangen en spuikokers door interne brand						mf	0,0	5,00E-08	2190,0	1,10E-04	kwartaal	1,10E-04	5,00E-08		
	falen van alle spuipeningen en maalgangen door foutieve bediening						mf	0,0	1,00E-06	2,0	2,00E-06	halve dag	2,00E-06	1,00E-06		
	Niet beschikbaarheid als gevolg van Software falen						mf	0,0	1,00E-07	730,0	7,30E-05	maand	7,30E-05	1,00E-07		



C. 0-situatie Gemaal



D. 0-situatie Gemaal en Spuisluis



E. Maatregel A1



F. Maatregel A2



G. Maatregel B



H. Maatregel C



I. Maatregel D



J. Maatregel E1



K. Maatregel E2



L. Maatregel F



M. Simulatie Maatregel A1, B, C



N. Simulatie Maatregel A2, B, C

Faalmodi	Configuratie Huidige situatie				Configuratie na maatregel				Faaldata							Faalconfiguratieklasse													
	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Totaal aantal	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Totaal aantal	Redundantie factor (RF) Spuien	Lambda praktijk [-/uur /component]	Merkbare / Niet-merkbaar falen [uur]	Testinterval [-/uur /merkbaar falen]	Lambda praktijk [-/uur]	Reparatie- duur [uur]	Niet- beschikbaar- duur [-/uur]	Herstelduur- klasse [halve dag / dag / week / maand / kwartaal]	in niet-beschikbaarheden [-]					in faalrequisities [-/uur]							
																	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald			
Maalgang 1-6	Aandrijving en bewegingswerk schuiven				6	4	1	24	1	3,90E-07	mf	0,00E+00	9,37E-06	96,00	9,00E-04	week	9,00E-04					9,37E-06							
	Bouwkundige constructie maalgang 1 zeezijde				6	4	1	24	1	3,43E-08	mf	0,00E+00	8,22E-07	169,00	1,39E-04	week	1,39E-04					8,22E-07							
	Bouwkundige constructie pomp en maalgang 1 kanaalzijde				6	4	1	24	1	1,87E-07	mf	0,00E+00	4,49E-06	168,00	7,55E-04	week	7,55E-04					4,49E-06							
	Niet-beschikbaarheid Stork-pomp in rolatiesysteem				6	1	1	6	Onderstaande faalmodi in Markov-ketel	1	1,19E-06	mf	0,00E+00	2,42E-05	99,01	2,40E-03	week	2,40E-03					2,42E-05						
	Buttpompbehuizing inclusief pomp en overige installaties				6	1	1	6	1	5,78E-06	mf	0,00E+00	-	730,00	-	week	0,00E+00					0,00E+00							
	Elek. Mechanisch bewegingswerk t.b.v. pompinstallatie				6	1	1	6	1	5,78E-07	mf	0,00E+00	-	365,50	-	week	0,00E+00					5,78E-07							
	Hydraulisch aggregaat maalgang 1				6	1	1	6	1	3,22E-07	mf	0,00E+00	-	420,50	-	week	0,00E+00					3,22E-07							
	Koelmachine t.b.v. omvorminstallatie maalgang 1				6	1	1	6	1	2,90E-07	mf	0,00E+00	-	1095,00	-	week	0,00E+00					2,90E-07							
	Schuifconstructie maalgang 1				6	1	1	6	1	2,33E-06	mf	0,00E+00	-	168,00	-	week	0,00E+00					2,33E-06							
	Detail Maalgang 5 & 6				2	1	1	2	3	1	1	3	1	1,13E-05	mf	0,00E+00	3,38E-05	5,00	1,69E-04	halve dag	1,69E-04					3,38E-05			
Bediening en besturing				2	1	1	2	3	1	1	3	1	2,23E-05	mf	0,00E+00	6,69E-05	3,00	2,01E-04	halve dag	2,01E-04					6,69E-05				
Bodem en Over				1	1	1	1	1	5,98E-07	mf	0,00E+00	5,98E-07	24,00	1,44E-05	dag	1,44E-05					5,98E-07								
Enkele				1	1	1	1	1	7,00E-07	mf	0,00E+00	7,00E-07	5,00	3,50E-06	halve dag	3,50E-06					7,00E-07								
Installaties				1	1	1	1	1	6,55E-07	mf	0,00E+00	9,83E-07	730,00	4,78E-04	maand	4,78E-04					6,55E-07								
Meetinstak				1	1	1	1	1	1,13E-04	mf	0,00E+00	1,13E-04	3,00	3,39E-04	halve dag	3,39E-04					1,13E-04								



O. Simulatie Maatregel D, E1, F



P. Simulatie Maatregel D, E2, F



Q. Resultaten met weergave verschil oorspronkelijke analyse

Notitie Delta-Pi Afleiding faalkansen en hersteltijden voor Gemaal en Spuisluis IJmuiden. 28 april 2016

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,07E-03	1,38E-05	4,48E-05	3,45E-04	5,06E-05
1 dag	1,12E-03	1,89E-05	0,00E+00	0,00E+00	1,46E-05
1 week	4,51E-03	9,11E-05	0,00E+00	0,00E+00	2,84E-04
1 maand	4,39E-02	2,21E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	1,23E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,21E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,08E-03	1,54E-05	8,96E-06	1,27E-04	1,41E-04
1 dag	3,65E-05	9,00E-07	0,00E+00	0,00E+00	6,07E-07
1 week	3,42E-05	1,25E-06	0,00E+00	0,00E+00	2,53E-06
1 maand	6,73E-05	5,72E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	8,00E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,31E-06

Gemaal en Spuisluis	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	6 maalgangen en 7 spuikokers gefaald				
Halve dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,12E-04
1 dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,95E-05
1 week	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,72E-04
1 maand	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-05
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,08E-03

Gemaal en Spuisluis	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	6 maalgangen en 7 spuikokers gefaald				
Halve dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,65E-04
1 dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,34E-06
1 week	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,85E-06
1 maand	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,00E-07
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,08E-07



Maatregel A1:

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,07E-03	1,27E-05	4,48E-05	3,45E-04	5,63E-05
1 dag	1,12E-03	2,01E-05	0,00E+00	5,49E-07	1,52E-05
1 week	7,09E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,54E-04
1 maand	2,64E-02	2,21E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	1,11E-02	1,83E-03	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,08E-03	1,27E-05	8,96E-06	1,24E-04	1,46E-05
1 dag	3,65E-05	9,72E-07	0,00E+00	3,43E-08	6,31E-07
1 week	6,08E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,62E-06
1 maand	4,11E-05	5,72E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	7,44E-06	1,25E-06	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

Maatregel A2:

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,80E-03	9,21E-06	4,48E-05	3,45E-04	5,63E-05
1 dag	1,14E-03	2,01E-05	5,49E-07	0,00E+00	1,52E-05
1 week	7,67E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,33E-04
1 maand	2,65E-02	2,13E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	1,38E-02	9,13E-04	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,18E-03	1,20E-05	8,96E-06	1,24E-04	1,46E-05
1 dag	3,75E-05	9,72E-07	3,43E-08	0,00E+00	6,31E-07
1 week	6,53E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,28E-06
1 maand	4,00E-05	5,61E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	9,41E-06	6,25E-07	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

Maatregel B:

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	6,73E-03	9,21E-06	4,48E-05	3,45E-04	5,63E-05
1 dag	9,52E-04	2,01E-05	5,49E-07	0,00E+00	1,52E-05
1 week	3,90E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,33E-04
1 maand	4,25E-02	2,13E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	1,30E-02	9,13E-04	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	1,92E-03	1,20E-05	8,96E-06	1,24E-04	1,46E-05
1 dag	3,13E-05	9,72E-07	3,43E-08	0,00E+00	6,31E-07
1 week	2,97E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,28E-06
1 maand	7,06E-05	5,61E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	8,51E-06	6,25E-07	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

Maatregel C:

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,07E-03	1,27E-05	4,48E-05	3,45E-04	5,13E-05
1 dag	1,12E-03	2,01E-05	0,00E+00	5,49E-07	1,52E-05
1 week	5,69E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,36E-04
1 maand	3,28E-02	2,54E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	6,22E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,08E-03	1,27E-05	8,96E-06	1,24E-04	1,40E-05
1 dag	3,65E-05	9,72E-07	0,00E+00	3,43E-08	6,31E-07
1 week	4,12E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,97E-06
1 maand	4,84E-05	6,23E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	4,48E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

Maatregel A1+B+C:

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	6,73E-03	9,21E-06	4,48E-05	3,45E-04	5,38E-05
1 dag	9,52E-04	2,01E-05	5,49E-07	0,00E+00	1,52E-05
1 week	6,59E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,36E-04
1 maand	2,05E-02	2,52E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	5,34E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	1,92E-03	1,20E-05	8,96E-06	1,24E-04	1,40E-05
1 dag	3,13E-05	9,72E-07	3,43E-08	0,00E+00	6,31E-07
1 week	5,68E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,97E-06
1 maand	3,90E-05	5,87E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	3,77E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

Maatregel A2+B+C:

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,80E-03	9,21E-06	4,48E-05	3,45E-04	5,38E-05
1 dag	1,14E-03	2,01E-05	5,49E-07	0,00E+00	1,52E-05
1 week	1,46E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,36E-04
1 maand	7,93E-04	2,16E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,18E-03	1,20E-05	8,96E-06	1,24E-04	1,40E-05
1 dag	3,75E-05	9,72E-07	3,43E-08	0,00E+00	6,31E-07
1 week	1,04E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,29E-06
1 maand	1,53E-06	5,37E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

Maatregel D:

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,07E-03	1,27E-05	4,48E-05	3,45E-04	4,63E-05
1 dag	2,03E-03	5,79E-05	0,00E+00	5,49E-07	1,10E-04
1 week	7,19E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,97E-04
1 maand	4,37E-02	2,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	3,81E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,08E-03	1,27E-05	8,96E-06	1,24E-04	1,33E-05
1 dag	7,47E-05	2,77E-06	0,00E+00	3,43E-08	4,56E-06
1 week	5,64E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,31E-06
1 maand	6,72E-05	5,50E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	1,74E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

Maatregel E1:

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,13E-03	6,55E-08	4,48E-05	3,39E-04	4,63E-05
1 dag	1,14E-03	1,15E-06	0,00E+00	5,49E-07	1,52E-05
1 week	4,52E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,97E-04
1 maand	4,42E-02	2,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	1,62E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,15E-03	2,09E-08	8,96E-06	1,13E-04	1,33E-05
1 dag	3,74E-05	7,19E-08	0,00E+00	3,43E-08	6,31E-07
1 week	3,42E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,31E-06
1 maand	6,79E-05	5,50E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	1,06E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

Maatregel E2:

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,13E-03	6,55E-08	4,48E-05	3,39E-04	4,63E-05
1 dag	1,23E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,52E-05
1 week	4,52E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,97E-04
1 maand	4,44E-02	1,68E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	1,62E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,15E-03	2,09E-08	8,96E-06	1,13E-04	1,33E-05
1 dag	4,19E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,31E-07
1 week	3,42E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,31E-06
1 maand	6,84E-05	5,00E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	1,06E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

Maatregel F:

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,07E-03	1,26E-05	4,48E-05	3,45E-04	5,63E-05
1 dag	1,12E-03	2,01E-05	0,00E+00	5,49E-07	1,52E-05
1 week	4,52E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,54E-04
1 maand	4,39E-02	2,21E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	1,24E-02	1,83E-03	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,08E-03	1,27E-05	8,96E-06	1,24E-04	1,46E-05
1 dag	3,65E-05	9,72E-07	0,00E+00	3,43E-08	6,31E-07
1 week	3,42E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,62E-06
1 maand	6,74E-05	5,72E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	8,02E-06	1,25E-06	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

Gemaal en Spuisluis	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	6 maalgangen en 7 spuiokers gefaald				
Halve dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,83E-04
1 dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 week	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 maand	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,35E-04
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,18E-03

Gemaal en Spuisluis	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	6 maalgangen en 7 spuiokers gefaald				
Halve dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,54E-04
1 dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 week	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 maand	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,87E-07
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,77E-07

Maatregel D+E1+F:

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,13E-03	6,55E-09	4,48E-05	3,39E-04	4,63E-05
1 dag	2,09E-03	1,15E-06	0,00E+00	5,49E-07	1,52E-05
1 week	7,19E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,97E-04
1 maand	4,37E-02	2,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	3,81E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,15E-03	2,09E-09	8,96E-06	1,13E-04	1,33E-05
1 dag	7,74E-05	7,19E-08	0,00E+00	3,43E-08	6,31E-07
1 week	5,64E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,31E-06
1 maand	6,72E-05	5,50E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	1,74E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

Gemaal en Spuisluis	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	6 maalgangen en 7 spuiokers gefaald				
Halve dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,83E-04
1 dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 week	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 maand	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,35E-04
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,18E-03

Gemaal en Spuisluis	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	6 maalgangen en 7 spuiokers gefaald				
Halve dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,54E-04
1 dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 week	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 maand	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,87E-07
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,77E-07

Maatregel D+E2+F:

Gemaal	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	7,13E-03	6,55E-09	4,48E-05	3,39E-04	4,63E-05
1 dag	2,15E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,52E-05
1 week	7,19E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,97E-04
1 maand	4,39E-02	1,68E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-04
1 kwartaal	3,81E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-03

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	1 maalgang gefaald	2 maalgangen gefaald	3 maalgangen gefaald	4 maalgangen gefaald	5 of 6 maalgangen gefaald
Halve dag	2,15E-03	2,09E-09	8,96E-06	1,13E-04	1,33E-05
1 dag	8,01E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,31E-07
1 week	5,64E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,31E-06
1 maand	6,77E-05	5,00E-06	0,00E+00	0,00E+00	6,78E-07
1 kwartaal	1,74E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-06

Gemaal en Spuisluis	in niet-beschikbaarheden [-]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	6 maalgangen en 7 spuiokers gefaald				
Halve dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,83E-04
1 dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 week	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 maand	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,35E-04
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,18E-03

Gemaal en Spuisluis	in faalfrequenties [-/uur]				
	Faalconfiguratieklasse				
Herstelduur-klasse	6 maalgangen en 7 spuiokers gefaald				
Halve dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,54E-04
1 dag	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 week	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1 maand	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,87E-07
1 kwartaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,77E-07



R. Detailbladen niet-beschikbaarheid en faalfrequenties 0-situatie

Detailblad 0-situatie - Faalfrequenties

Gemaal		in faalfrequenties [-/uur]															
Herstelduurklasse		1 maalgang gefaald				2 maalgangen gefaald			3 maalgangen gefaald			4 maalgangen gefaald			5 of 6 maalgangen gefaald		
	Faalmechanisme	Faalfr.	Rel. bijdrage	Faalmechanisme	Faalfr.	Rel. bijdrage	Faalmechanisme	Faalfr.	Rel. bijdrage	Faalmechanisme	Faalfr.	Rel. bijdrage	Faalmechanisme	Faalfr.	Rel. bijdrage		
Halve dag	Olieniveau te laag door lekkage in hydraulische systemen	6,82E-04	33%	Random falen LAN switch lokaal tbv maalgangen 5&6	1,13E-05	89%	Verminderde doorstroomopening / watertoevoer t.g.v. aangroei sealife aan krooshek	8,96E-06	100%	Falen onderdelen meetsysteem (opnemers, compressor, borrelbuis, electronica)	1,13E-04	91%	Overgangsweerstand door losse contacten in aardingsinstallatie icm technische fout in installatie	5,53E-06	38%		
	Sensor (willekeurig type) meetsysteem pomp defect	4,29E-04	21%	Veroudering / falen van capitolischakelaar trafo	1,40E-06	11%				Random falen LAN switch lokaal tbv maalgangen 1 t/m 4	1,13E-05	9%	Falen onderdeel PLC Centraal Gemaal: CPU, kaart, backplane, voeding, etc. (random falen)	4,51E-06	31%		
	Falen omzetter tussen LAN switch en PLC maalgang, random falen	1,34E-04	6%	Falen UPS pomp 5&6	1,45E-08	0%				Falen van NiCd accu's UPS110V	8,75E-09	0%	Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T1 (pomp 1 en 2) [halve dag]	1,25E-06	9%		
	Random falen glasvezelverbinding (vervuiling, verkeerd onderhoud)	1,14E-04	5%	Falen van de accu's UPS pomp5&6	6,38E-09	0%				Falen UPS 110V	6,51E-09	0%	Falen signaalgevers	1,13E-06	8%		
	Random falen onderdelen(electronica etc.) omvormer maalgang 5 t.g.v. diverse oorzaken	1,12E-04	5%										Falen / verouderen server + PLC trillingsmonitoring	8,86E-07	6%		
	Falen door veroudering naderingsschakelaar	8,44E-05	4%										Vervuilen filters, waardoor toegevoerde lucht vervuult en/of wordt geblokkeerd	5,96E-07	4%		
	Veroudering conservering van schuiven (Civiel en Wtb)	7,78E-05	4%										Verzakking / uitspoeling stortsteen (o.a. door baggeren)	5,71E-07	4%		
	Falen schuifgeleiding door verkeerde bevestigingen (menselijk falen)	6,76E-05	3%										Externe faaloorzaak - Blikseminslag i.c.m. deels ontbrekende overspanningsbeveiliging aanwezig	1,26E-07	1%		
	Lekkage membraan vijzel, random falen met gevolg dat vijzels zijn verbogen bij in- en uitnemen van de pomp.	6,76E-05	3%														
	Random falen OP bedienpaneel in PLC kast,	6,76E-05	3%														
	Falen hydrauliek systeem, inclusief drukmeting hydraulische vijzel	4,46E-05	2%														
	Uitharden en daardoor lekkage / falen hydraulieslangen	3,16E-05	2%														
	Losraken bevestiging (bouten) A-frame op schuif	2,96E-05	1%														
	Falen onderdeel PLC maalgang:CPU, kaart, backplane, voeding, etc. (random falen)	2,71E-05	1%														
	Random falen Remote IO modules maalgang (6 stuks)	2,38E-05	1%														
	Defecte warmtewisselaar t.b.v. statische omvormer pomp	2,30E-05	1%														
	Lekkage membraan vijzel, metgevolg dat vijzels zijn verbogen bij in- en uitnemen van pomp, t.g.v. niet ver genoeg indraaien vijzel bij plaatsing/demontage. Pomp kan niet goed gepositioneerd worden	2,25E-05	1%														
	Falen ventilator omvormer + motor	1,82E-05	1%														
	Veroudering / falen uitschakelspoel	8,15E-06	0%														
	Vastzitten kleppenraam door vervuiling / veroudering	7,58E-06	0%														
	Random Beschadiging en daardoor afkeuring hijskabels hijsinstallatie omvormer	4,55E-06	0%														
	Slijtage koolborstels voeding generator	4,42E-06	0%														
	Veroudering SCADA servers	1,22E-06	0%														
Falen hijs- en transportinstallatie en lieren (persschuiven)	5,06E-09	0%															
	2,08E-03	100%		1,27E-05	100%		8,96E-06	100%		1,24E-04	100%		1,46E-05	100%			
1 dag	Lekkage olie door breuk verouderde slangen	2,83E-05	77%	Verouderen airco unit traforuimte T5 en T6	9,00E-07	93%				Falen van de luchtbehandelingskast / luchtbevochtiger omvormerruimte 1t/m 4,.	3,43E-08	100%	Uitspoeling stortebed bijstroomgeleider maalgangen tussen 4 en 5 (met als uiterste consequentie onderminning bouwkundige constructie)	5,98E-07	95%		
	Afkeuren staalkabels door veroudering / corrosie	5,62E-06	15%	Falen van de luchtbehandelingskast / luchtbevochtiger omvormerruimte 5&6;	7,19E-08	7%							Externe faaloorzaak - Koperdiefstal (random falen) i.c.m. blikseminslag	2,42E-08	4%		
	Uitval, veroudering, storing luchtdroger inclusief ruimteventilator	1,52E-06	4%										Blikseminslag en veroudering aarding- en bliksembeveiligingsinstallatie	9,13E-09	1%		
	Slecht contact door corrosie of trillingen	1,08E-06	3%														
	3,65E-05	100%		9,72E-07	100%					3,43E-08	100%		6,31E-07	100%			
1 week	Veroudering cilinder persschuif, incl. statische koppeling leiding / cilinder	9,37E-06	27%										Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T5 (pomp 5) [week]	1,31E-06	50%		
	Falen door veroudering / slijtage hydraulische pomp unit	9,15E-06	27%										Waterlijncorrosie van damwand kanaalzijde stroomgeleider	3,29E-07	13%		
	Blokkeren cardanische ophanging door corrosie	4,49E-06	13%										Waterlijncorrosie van damwand zeezijde stroomgeleider	3,29E-07	13%		
	Veroudering / falen van capitolischakelaar omvormer	4,36E-06	13%										Waterlijncorrosie van damwand kanaalzijde oeverbescherming	3,15E-07	12%		
	Veroudering conservering ophangframe bulbomp	2,45E-06	7%										Waterlijncorrosie van damwand zeezijde oeverbescherming	3,15E-07	12%		
	Economische veroudering PLC's besturingssysteem gemaal	1,68E-06	5%										Falen componenten CyberSecurity systeem	2,21E-08	1%		
	Veroudering / afkeuring hijskabels hijsinstallatie persschuiven	1,51E-06	4%														
	Veroudering bevestigingspunten ophanging door corrosie	8,22E-07	2%														
Veroudering conservering A-frame + schuifgeleiding + rubber afdichting (omega rubber)	3,29E-07	1%															
	3,42E-05	100%											2,62E-06	100%			
1 maand	Lekkage handvijzels, random falen (mogelijk door veroudering rubbers van pakking)	3,47E-05	51%	Falen van 2 maalgangen door CCF	5,00E-06	87%							Falen van de luchtbehandelingskast Server/computertruimte,	6,78E-07	100%		
	Opgebouwde serieuze beschadiging waaier door objecten (random falen)	1,40E-05	21%	Falen van 2 maalgangen door interne brand	5,00E-07	9%											
	Beschadigen wikkelingen (agv trillen, lekkend water, etc.)	7,14E-06	11%	Uitval door verouderen trafo (T1,T2)	2,19E-07	4%											
	Lekkage vijzels (mogelijk doorveroudering rubbers van pakking), waardoor zout water in pomp binnendringt (detectie in bedrijf, door vlotters in pomp)	5,93E-06	9%														
	Slijtage lager bulbomp (achter) als gevolg van draaiuren, olietekort, trillingen)	3,47E-06	5%														
	Slijtage lager bulbomp (voor) als gevolg van draaiuren, olietekort, trillingen)	1,93E-06	3%														
Uitval door verouderen trafo(T5,T6)	2,42E-07	0%															
	6,74E-05	100%		5,72E-06	100%									6,78E-07	100%		
1 kwartaal	Economische verouderingonderdelen (electronica etc.) omvormer maalgang 5 t.g.v. diverse oorzaken	1,95E-06	24%	Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T1 (pomp 1 en 2) [kwartaal]	1,25E-06	100%							Falen van alle maalgangen door CCF	5,00E-06	100%		
	Falen stator / rotor (van de electromotor bulbomp)	1,74E-06	22%														
	Veroudering omvormerinstallatie (geheel van motor, generator en toerenregeling)	1,66E-06	21%														
	Falen / veroudering / bereiken technische levensduur van hydraulisch aggregaat een persschuif van een maalgang, leidende tot lekkages	1,36E-06	17%														
	Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T5 (pomp 5) [kwartaal]	1,31E-06	16%														
		8,02E-06	100%		1,25E-06	100%									5,00E-06	100%	

Gemaal en Spuisluis	in faalfrequenties [-/uur]		
	Faalconfiguratieklasse		
Herstelduurklasse	6 maalgangen en 7 spuiokers gefaald		
	Faalmechanisme	Faalfrequentie	Rel. bijdrage
Halve dag	Random uitval transmissie tussen gemaal en bedienlocatie op afstand, Extern	1,14E-04	66%
	Uitval energienet	1,59E-05	9%
	Random falen LAN switch centraal	1,13E-05	7%
	Random falen LAN switch spuisluizen	1,13E-05	7%
	Random falen onderdeel PLC van Energie Management Systeem: CPU, kaart, backplane, voeding, etc. (random falen)	4,51E-06	3%
	Falen onderdeel PLC NSA (S5 siemens economische veroudering): CPU, kaart, backplane, voeding, etc. (random falen)	4,51E-06	3%
	Random falen Remote IO module Energie Management Systeem	3,96E-06	2%
	Falen bedien PC lokaal (3 stuks per bedienplek) t.g.v. veroudering	2,34E-06	1%
	Falen bedien PC op afstand (3 stuks per bedienplek)	2,34E-06	1%
	Falen monitor, exclusief cybersec monitoren, t.g.v. veroudering	1,24E-06	1%
	falen van alle spuiopeningen en maalgangen door foutieve bediening	1,00E-06	1%
	Falen UPS (in oude hoogspanningsruimte)	1,52E-08	0%
	Veroudering noodstroomdieselaggregaat, inclusief generator. RF 1% (effect alleen bij uitval energienet)	9,15E-09	0%
	Falen van de accu's UPS (in oude hoogspanningsruimte)	6,38E-09	0%
	1,72E-04	100%	
1 dag			
1 week			
1 maand	Niet beschikbaar als gevolg van Software falen	1,00E-07	42%
	Economische veroudering LAN netwerk	6,53E-08	27%
	Random falen generator NSA	5,54E-08	23%
	Uitval door verouderen trafo (T7)	1,13E-08	5%
	Uitval door verouderen trafo (T3)	5,03E-09	2%
	Veroudering brandstoftank (10000 liter), NSA + gebouwverwarming	2,05E-09	1%
	2,39E-07	100%	
1 kwartaal	Falen koppelschakelaar (tussen energielevering en hoofdverdeler 10kV)	6,42E-07	75%
	Veroudering / falen van hoofdschakelaar H (rail A/rail B)	6,62E-08	8%
	Falen van alle maalgangen en spuiokers door interne brand	5,00E-08	6%
	Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T7 (rail B)	3,27E-08	4%
	Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T3 (Rail A)	3,27E-08	4%
	Falen hoogspanningskabels (binnen het gebouw)	1,60E-08	2%
	Veroudering / falen van hoofdschakelaar NSA	1,34E-08	2%
	Economische veroudering LS verdeelinstallatie geheel gemaal zonder spuisluis	1,83E-09	0%
Falen afzuigventilator T3	0,00E+00	0%	
	8,55E-07	100%	

Gemaal en Spuisluis	in niet-beschikbaarheden [-]		
	Faalconfiguratieklasse		
Herstelduurklasse	6 maalgangen en 7 spuiokers gefaald		
	Faalmechanisme	Niet-beschikbaarheid	Rel. bijdrage
Halve dag	Random uitval transmissie tussen gemaal en bedienlocatie op afstand, Extern	3,41E-04	84%
	Uitval energienet	1,35E-05	3%
	Random falen LAN switch centraal	5,64E-06	1%
	Random falen LAN switch spuisluizen	5,64E-06	1%
	Random falen onderdeel PLC van Energie Management Systeem: CPU, kaart, backplane, voeding, etc. (random falen)	1,35E-05	3%
	Falen onderdeel PLC NSA (S5 siemens economische veroudering): CPU, kaart, backplane, voeding, etc. (random falen)	1,35E-05	3%
	Random falen Remote IO module Energie Management Systeem	1,19E-05	3%
	Falen bedien PC lokaal (3 stuks per bedienplek) t.g.v. veroudering	1,64E-07	0%
	Falen bedien PC op afstand (3 stuks per bedienplek)	1,64E-07	0%
	Falen monitor, exclusief cybersec monitoren, t.g.v. veroudering	1,25E-08	0%
	falen van alle spuiopeningen en maalgangen door foutieve bediening	2,00E-06	0%
	Falen UPS (in oude hoogspanningsruimte)	1,52E-08	0%
	Veroudering noodstroomdieselaggregaat, inclusief generator. RF 1% (effect alleen bij uitval energienet)	7,32E-08	0%
	Falen van de accu's UPS (in oude hoogspanningsruimte)	5,10E-08	0%
	4,07E-04	100%	
1 dag			
1 week			
1 maand	Niet beschikbaar als gevolg van Software falen	7,30E-05	48%
	Economische veroudering LAN netwerk	4,77E-05	31%
	Random falen generator NSA	1,86E-05	12%
	Uitval door verouderen trafo (T7)	8,26E-06	5%
	Uitval door verouderen trafo (T3)	3,67E-06	2%
	Veroudering brandstoftank (10000 liter), NSA + gebouwverwarming	6,90E-07	0%
	1,52E-04	100%	
1 kwartaal	Falen koppelschakelaar (tussen energielevering en hoofdverdeler 10kV)	9,38E-04	72%
	Veroudering / falen van hoofdschakelaar H (rail A/rail B)	9,67E-05	7%
	Falen van alle maalgangen en spuiokers door interne brand	1,10E-04	8%
	Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T7 (rail B)	4,77E-05	4%
	Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T3 (Rail A)	4,77E-05	4%
	Falen hoogspanningskabels (binnen het gebouw)	3,50E-05	3%
	Veroudering / falen van hoofdschakelaar NSA	1,95E-05	2%
	Economische veroudering LS verdeelinstallatie geheel gemaal zonder spuisluis	2,67E-06	0%
Falen afzuigventilator T3	0,00E+00	0%	
	1,30E-03	100%	

S. Detailblad niet-beschikbaarheid en faalfrequenties Gemaal ter input DEZY

Detailblad Invoer DEZY-model - Faalfrequenties

Gemaal	in faalfrequenties [-/uur]															
	Faalconfiguratieklasse															
	1 maalgang gefaald			2 maalgangen gefaald			3 maalgangen gefaald			4 maalgangen gefaald			5 of 6 maalgangen gefaald			
Herstelduurklasse	Faalmecanisme	Faalf.	Rel. bijdrage	Faalmecanisme	Faalf.	Rel. bijdrage	Faalmecanisme	Faalf.	Rel. bijdrage	Faalmecanisme	Faalf.	Rel. bijdrage	Faalmecanisme	Faalf.	Rel. bijdrage	
Halve dag	Oliëniveau te laag door lekkage in hydraulische systemen	6,82E-04	33%	Random falen LAN switch lokaal tbv maalgangen 5&6	1,13E-05	89%	Verminderde doorstroomopening / watertoevoer t.g.v. aangroei sealife aan krooshek	8,96E-06	100%	Falen onderdelen meetsysteem (opnemers, compressor, borrelbuis, electronica)	1,13E-04	91%	Overgangsweerstand door losse contacten in aardingsinstallatie i.c.m. technische fout in installatie	5,53E-06	38%	
	Sensor (willekeurige type) meetsysteem pomp defect	4,29E-04	21%	Veroudering / falen van capitolischakelaar trafo	1,40E-06	11%				Random falen LAN switch lokaal tbv maalgangen 1 t/m 4	1,13E-05	9%	Falen onderdeel PLC Centraal Gemaal: CPU, kaart, backplane, voeding, etc. (random falen)	4,51E-06	31%	
	Falen omzetter tussen LAN switch en PLC maalgang, random falen	1,34E-04	6%	Falen UPS pomp 5&6	1,45E-08	0%				Falen van Ni/Cd accu's UPS110V	8,75E-09	0%	Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T1 (pomp 1 en 2) [halve dag]	1,25E-06	9%	
	Random falen glasvezelverbinding (vervuiling, verkeerd onderhoud)	1,14E-04	5%	Falen van de accu's UPS pomp5&6	6,38E-09	0%				Falen UPS 110V	6,51E-09	0%	Falen signaalgevers	1,13E-06	8%	
	Random falen onderdelen (electronica etc.) omvormer maalgang 5 t.g.v. diverse oorzaken	1,12E-04	5%											Falen / verouderen server + PLC trillingsmonitoring	8,86E-07	6%
	Falen door veroudering naderingsschakelaar	8,44E-05	4%											Vervuilen filters, waardoor toegevoerde lucht vervuilt en/of wordt geblokkeerd	5,96E-07	4%
	Veroudering conservering van schuiven (Civiel en Wtb)	7,78E-05	4%											Verzakking / uitspoeling stortsteen (o.a. door baggeren)	5,71E-07	4%
	Falen schuifgeleiding door verkeerde bevestigingen (menselijk falen)	6,76E-05	3%											Externe faaloorzaak - Blikseminslag i.c.m. deels ontbrekende overspanningsbeveiliging aanwezig	1,26E-07	1%
	Lekkage membraan vizel, random falen met gevolg dat vizels zijn verbogen bij in- en uittrekken van de pomp.	6,76E-05	3%													
	Random falen OP bedienpaneel in PLC kast, Falen hydrauliek systeem, inclusief drukmeting hydraulische vizel	4,46E-05	2%													
	Uitharden en daardoor lekkage / falen hydrauliekslangen	3,16E-05	2%													
	Losraken bevestiging (bouten) A-frame op schuif	2,96E-05	1%													
	Falen onderdeel PLC maalgang: CPU, kaart, backplane, voeding, etc. (random falen)	2,71E-05	1%													
	Random falen Remote IO modules maalgang (6 stuks)	2,38E-05	1%													
	Defecte warmtewisselaar t.b.v. statische omvormer pomp	2,30E-05	1%													
	Lekkage membraan vizel, metgevolg dat vizels zijn verbogen bij in- en uittrekken van pomp, t.g.v. niet ver genoeg indraaien vizel bij plaatsing/ idemontage. Pomp kan niet goed geïnstalleerd worden	2,25E-05	1%													
	Falen ventilator omvormer + motor	1,82E-05	1%													
	Veroudering / falen uitschakelspanpoel	8,15E-06	0%													
	Vastzitten kleppentram door vervuiling / veroudering	7,58E-06	0%													
	Random Beschadiging en daardoor afkeuring hijskabels hijsinstallatie omvormer	4,55E-06	0%													
	Slijtage koelborstels voeding generator	4,42E-06	0%													
Veroudering SCADA servers	1,22E-06	0%														
Falen hijs- en transportinstallatie en lieren (persschuiven)	5,06E-09	0%														
	2,08E-03	100%			1,27E-05	100%			8,96E-06	100%			1,24E-04	100%	1,46E-05	100%
1 dag	Lekkage olie door breuk verouderde slangen	2,83E-05	77%	Verouderen airco unit traforuimte T5 en T6	9,00E-07	93%				Falen van de luchtbehandelingskast / luchtbevochtiger omvormerruimte 11/m 4.,	3,43E-08	100%	Uitspoeling stortbed bijstroomgeleider maalgangen tussen 4 en 5 (met als uiterste consequentie ondermijning bouwkundige constructie)	5,98E-07	95%	
	Afkeuren staalkabels door veroudering / corrosie	5,62E-06	15%	Falen van de luchtbehandelingskast / luchtbevochtiger omvormerruimte 5&6,	7,19E-08	7%							Externe faaloorzaak - Koperdiefstal (random falen) i.c.m. blikseminslag	2,42E-08	4%	
	Uitval, veroudering, storing luchtdroger inclusief ruimteventilator	1,52E-06	4%										Blikseminslag en veroudering aarding- en bliksembeveiligingsinstallatie	9,13E-09	1%	
	Slecht contact door corrosie of trillingen	1,08E-06	3%													
	3,65E-05	100%			9,72E-07	100%							3,43E-08	100%	6,31E-07	100%
1 week	Veroudering cilinder persschuif, incl. statische koppeling leiding / cilinder	9,37E-06	27%										Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T5 (pomp 5) [week]	1,31E-06	50%	
	Falen door veroudering / slijtage hydraulische pomp unit	9,15E-06	27%										Waterlijncorrosie van damwand kanaalzijde stroomgeleider	3,29E-07	13%	
	Blokkeren cardanische ophanging door corrosie	4,49E-06	13%										Waterlijncorrosie van damwand zeezijde stroomgeleider	3,29E-07	13%	
	Veroudering / falen van capitolischakelaar omvormer	4,36E-06	13%										Waterlijncorrosie van damwand kanaalzijde oeverbescherming	3,15E-07	12%	
	Veroudering conservering ophangframe bulbpom	2,45E-06	7%										Waterlijncorrosie van damwand zeezijde oeverbescherming	3,15E-07	12%	
	Economische veroudering PLC's besturingssysteem gemaal	1,68E-06	5%										Falen componenten CyberSecurity systeem	2,21E-08	1%	
	Veroudering / afkeuring hijskabels hijsinstallatie persschuiven	1,51E-06	4%													
	Veroudering bevestigingspunten ophanging door corrosie	8,22E-07	2%													
Veroudering conservering A-frame + schuifgeleiding + rubber afdichting (omega rubber)	3,29E-07	1%														
	3,42E-05	100%												2,62E-06	100%	
1 maand / kwartaal	Lekkage handvizels, random falen (mogelijk door veroudering rubbers van pakking)	3,47E-05	46%	Falen van 2 maalgangen door CCF	5,00E-06	72%							Falen van alle maalgangen door CCF	5,00E-06	88%	
	Opgebouwde serieuze beschadiging waaier door objecten (random falen)	1,40E-05	19%	Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T1 (pomp 1 en 2) [kwartaal]	1,25E-06	18%							Falen van de luchtbehandelingskast Server/computerkamer,	6,78E-07	12%	
	Beschadigen wikkelingen (agv trillen, lekkend water, etc.)	7,14E-06	9%	Falen van 2 maalgangen door interne brand	5,00E-07	7%										
	Lekkage vizels (mogelijk door veroudering rubbers van pakking), waardoor zout water in pomp binnendringt (detectie in bedrijf, door vlotter in pomp)	5,93E-06	8%	Uitval door verouderen trafo (T1, T2)	2,19E-07	3%										
	Slijtage lager bulbpom (achter) als gevolg van draaiuren, olietekort, trillingen	3,47E-06	5%													
	Economische verouderingonderdelen (electronica etc.) omvormer maalgang 5 t.g.v. diverse oorzaken	1,95E-06	3%													
	Slijtage lager bulbpom (voor) als gevolg van draaiuren, olietekort, trillingen	1,93E-06	3%													
	Falen stator / rotor (van de electromotor bulbpom)	1,74E-06	2%													
	Veroudering omvormerinstallatie (geheel van motor, generator en toerenregeling)	1,66E-06	2%													
	Falen / veroudering / bereiken technische levensduur van hydraulisch aggregaat een persschuif van een maalgang, leidende tot lekkages	1,36E-06	2%													
Verouderen (economisch) / falen SVS schakelaar T5 (pomp 5) [kwartaal]	1,31E-06	2%														
Uitval door verouderen trafo(T5,T6)	2,42E-07	0%														
	7,54E-05	100%			6,97E-06	100%								5,68E-06	100%	



Waarderweg 40
2031 BP Haarlem
Nederland

Pettelaarpark 10-15
5216 PD 's-Hertogenbosch
Nederland

Nevelgaarde 10
3436 ZZ Nieuwegein
Nederland

Iv-Infra b.v.
Trapezium 322
3364 DL Sliedrecht
Nederland

Trompstraat 36a
9190 Stekene
België

Westervoortsedijk 73
Gebouw CB
6827 AV Arnhem
Nederland

www.iv-infra.nl
Telefoon +31 88 943 3200
Postbus 135
3360 AC Sliedrecht
officemanagement@iv-infra.nl