

A network diagram with various sized light blue circles connected by thin white lines, set against a solid blue background. The circles are of different diameters, and the lines connect them in a complex, non-hierarchical pattern.

Bedrijfstakonderzoek
BTO 2022.047 | December 2022

Falen productielocatie uitgedrukt in OLM

**Methode en toepassing
voor productielocatie
Oosterbeek en bijbehorend
voorzieningsgebied**

Rapport

Impact van falen productielocatie op systeemprestatie

Methode en toepassing voor productielocatie Oosterbeek

BTO 2022.047 | December 2022

Dit onderzoek is onderdeel van het collectieve Bedrijfstakonderzoek van KWR, de waterbedrijven en Vewin.

Opdrachtnummer

402045.286

Projectmanager

Stef Koop

Opdrachtgever

BTO - Bedrijfsonderzoek

Auteur(s)

Ralph Beuken, Ron Jong, Quan Pan

Kwaliteitsborger

Mirjam Blokker

Verzonden naar

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten.

Een jaar na publicatie is het openbaar.

Keywords

Assetmanagement, reliability engineering, leidingnetberekeningen

Jaar van publicatie
2022

Meer informatie

Ralph Beuken
T +31 (0) 30 60 69 758
E ralph.beuken@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR

December 2022 ©

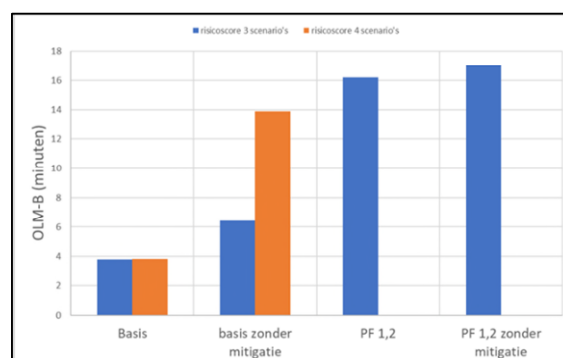
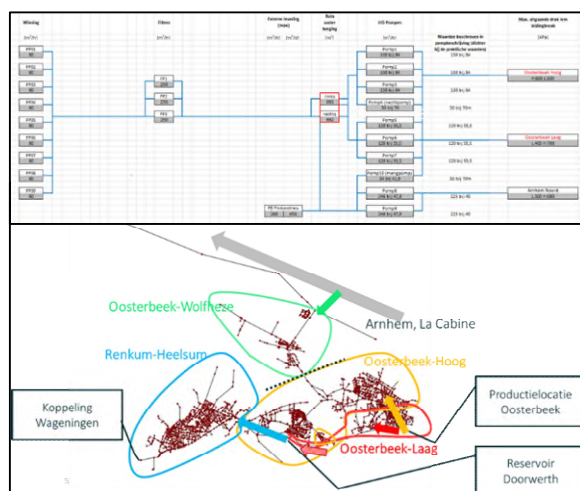
Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.

Managementsamenvatting

Methode om besluitvorming assetmanagement van productielocaties te prioriteren op basis van een berekende OLM

Auteur(s) Ralph Beuken, Ron Jong en Quan Pan, .

Ondermaatse leveringsminuten (OLM's) zijn de belangrijkste prestatie-indicator voor assetmanagement van drinkwaterbedrijven. In dit onderzoek is een methodiek uitgewerkt waarmee het faalgedrag op een productielocatie kan worden vertaald naar uitvalscenario's, waarvan een OLM te berekenen is. Deze methodiek is een verdere uitwerking van de leveringszekerheidsanalyse waarin nu ook de kans op uitval wordt beschouwd. Drinkwaterbedrijven kunnen hiermee onder meer scenariostudies uitvoeren, assets identificeren die de hoogste kans op een leveringsonderbreking geven en productielocaties onderling vergelijken. De methode kan daarmee bijdragen aan een beter risicogestuurd beleid voor ontwerp, investeringen en onderhoud. Meer kennis over het faalgedrag is echter van componenten van productielocaties is hiervoor echter noodzakelijk.



De combinatie van betrouwbaarheidsberekeningen (linksboven) en een leidingnetberekeningsprogramma (linksonder) maakt het mogelijk scenario's voor faalgebeurtenissen op een productielocatie uit drukken in een berekende OLM (rechts).

Belang: Integrale risicoafweging

Om een integraal beeld te krijgen van de prestaties van het assetsysteem is kwantitatief inzicht nodig in de relatie tussen het falen van assets en de kans op leveringsproblemen bij klanten. Drinkwaterbedrijven zijn wettelijk verplicht een leveringszekerheidsanalyse uit te voeren. Hoewel deze toets heeft geleid tot aanzienlijke verbeteringen in ontwerp en bedrijfsvoering, kan zij niet gezien worden als een volledige risicoanalyse omdat in de

eerste plaats het kansaspect niet wordt meegenomen en bovendien de wettelijke leveringseis (75% op een maximum dag, gedurende 24 uur) minder zwaar is dan de eisen die drinkwaterbedrijven zichzelf opleggen voor wat betreft continuïteit van levering.

De laatste jaren krijgen drinkwaterbedrijven steeds meer inzicht in de kans op falen van assets en de tijd die nodig is voor het weer in gebruik nemen van

assets na falen. Deze informatie is nog niet (eerder) gecombineerd met het effect van falen.

Aanpak: Combineren van reliability engineering en hydraulisch modelleren

In dit onderzoek is een methodiek ontwikkeld en in praktijk getoetst waarmee kwantitatief en realistisch kan worden bepaald wat de impact is van het falen van winputten, zandfilters, reinwaterreservoirs en HD-pompunits op de leveringsprestatie aan verbruikers. Dit wordt uitgedrukt als een berekende waarde voor ondermaatse leveringsminuten (OLM).

Voor deze methodiek zijn twee expertises gecombineerd: reliability engineering en hydraulisch modelleren. In het onderdeel reliability engineering zijn onderhoudsgegevens en expertdata over faalgedrag van assets vertaald in uitvalscenario's voor een productielocatie. In het onderdeel hydraulische modellering wordt een leidingnetberekeningsmodel aangestuurd om geautomatiseerd een groot aantal verschillende scenario's van de uitval van pompen en reservoirs door te rekenen en de resultaten daarvan statistisch te beschrijven. Deze nieuwe methodiek is toegepast bij Vitens op productielocatie Oosterbeek en het bijbehorende leveringsgebied.

Om het faalgedrag van componenten vast te stellen zijn expertsessies georganiseerd. De meeste gegevens die hieruit naar boven kwamen, worden door de experts als indicatief beschouwd.

Resultaten: Methode kwantificeert kwetsbaarheid productielocaties voor leveringsonderbrekingen

Door faalgegevens van de belangrijkste assets van een productielocatie te vertalen naar uitvalscenario's voor die productielocatie, is het mogelijk om een voorspelling te maken van de OLM (in omvang en locatie). In de casus Oosterbeek bleek dat vier uitvalscenario's kunnen leiden tot leveringsonderbrekingen. Deze scenario's waren in volgorde van afnemende impact op de levering: (1) uitval elektra en niet tijdig functioneren van het noodstroomaggregaat (2) een breuk in een cruciale en niet-redundante terreinleiding, (3) uitval van de besturing en (4) uitval van het marmerfilter op het

moment dat een ander filter in onderhoud is. De analyse levert een berekende OLM op van alle scenario's die realistisch oogt, maar moet vooral als een theoretische waarde worden beschouwd. Deze berekende OLM kan worden ingezet om verschillende situaties met elkaar te vergelijken. Wanneer geen mitigatiemaatregelen beschikbaar zijn kan deze OLM een factor vier hoger zijn. Een toename van het verbruik met 20% heeft impact op de beschikbare capaciteit en kan leiden tot een vergelijkbare toename van de berekende OLM.

Voor het doorrekenen van de scenario's moet een groot aantal leidingnetberekeningen worden uitgevoerd. Bij een efficiënte aansturing van deze modellen is dit mogelijk met een aanvaardbare rekentijd (meestal enkele uren). Bij de berekeningen moet een gedetailleerd leidingnetmodel worden gebruikt, waarin ook pompen en reservoirs zijn gemodelleerd. Verder geldt dat meer kennis over het faalgedrag is van componenten van productielocaties noodzakelijk is.

Toepassing: Assetmanagement voor productielocaties steeds beter mogelijk

Drinkwaterbedrijven kunnen met de in dit rapport beschreven methodiek een directe relatie leggen tussen het falen van een component op een productielocatie en de mogelijke impact op de levering aan klanten. Door verschillende scenario's (zoals het afwezig zijn van mitigatiemaatregelen of een verhoogde watervraag) door te rekenen, is de impact hiervan op de OLM kwantitatief inzichtelijk te maken. Het is mogelijk om voor een productielocatie die componenten te identificeren die het hoogste risico op een leveringsonderbreking. Verder kunnen productielocaties onderling worden vergeleken, wat het mogelijk maakt investeringen gericht in te zetten.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in het rapport *Falen productielocatie uitgedrukt in OLM* (BTO 2022.065).

Inhoud

Rapport	2
<i>Managementsamenvatting</i>	3
Inhoud	5
1 Inleiding	7
1.1 Aanleiding en belang	7
1.2 Doel en afbakening	8
1.3 Leeswijzer	8
1.4 Gehanteerde begrippen	9
2 Probleemverkenning en methodiek	11
2.1 Probleemverkenning	11
2.2 Fase 1, pilot Almere	13
2.3 Inventarisatie van methodieken voor faalgedrag en betrouwbaarheid	13
2.4 Generieke omschrijving van de toegepaste aanpak	14
3 Systeembeschrijving leveringsgebied Oosterbeek	16
3.1 Globale beschrijving	16
3.2 Productielocatie Oosterbeek	17
3.3 Reservoir Doorwerth	17
3.4 Beschrijving leidingnetmodel Oosterbeek	17
3.5 Mitigatiemaatregelen bij uitval Oosterbeek	21
4 Casestudie: uitval Productielocatie Oosterbeek	22
4.1 Bepaling kans op uitval	22
4.2 Bepaling duur van uitval	23
4.3 Resultaten: Effect van uitval als berekende effect-OLM en risicoscore	25
4.4 Gevoeligheidsanalyse: niet-beschikbaarheid mitigatiemaatregelen en verbruikstoename	29
4.4.1 Niet beschikbaar zijn van mitigatiemaatregel	30
4.4.2 Verbruikstoename met 20%	30
4.4.3 Combinatie situaties 4.4.1 en 4.4.2	31
4.4.4 Vergelijking van risicoscores	32
5 Conclusies en aanbevelingen	33
5.1 Conclusie	33
5.2 Discussie	34
5.3 Aanbevelingen	37



Meer informatie

dr. ir. Nikki van Bel
T 030-6069516
E Nikki.van.Bel@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

6	Referenties	38
I	Inventarisatie tools betrouwbaarheidsanalyses	39
II	Verzamelen storingsdata productielocatie	41
III	Betrouwbaarheid productielocatie Oosterbeek	47
IV	Dagverbruiken leveringsgebied Oosterbeek	49
V	Gebruikte pompgegevens	50
VI	Inputfile Epanet	51

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en belang

Drinkwater is een eerste levensbehoefte en de overheid stelt eisen om te waarborgen dat er altijd voldoende drinkwater van goede kwaliteit is. Om de levering van drinkwater te kunnen verzekeren, ook in noodsituaties, maken drinkwaterbedrijven elke 4 jaar een leveringsplan dat door de Inspectie voor de Leefomgeving en Transport wordt beoordeeld. Een belangrijk onderdeel van het Leveringsplan is een beschrijving van de resultaten van een leveringszekerheidsanalyse, waarin het drinkwaterbedrijf aangeeft hoe het systeem en de organisatie bestand is tegen verstoringen en wat de consequenties zijn van uitval. In het Drinkwaterbesluit is aangegeven 'Bij uitval van een zelfstandig onderdeel van een watervoorzieningswerk draagt de eigenaar van een drinkwaterbedrijf er zorg voor dat binnen 24 uur een hoeveelheid drinkwater kan worden geleverd die op dagbasis ten minste 75% bedraagt van de hoeveelheid die wordt geleverd op de maximumdag.' Deze leveringszekerheidsanalyse heeft een belangrijke bijdrage geleverd aan een robuuste opzet van de drinkwatervoorziening in Nederland. De leveringszekerheidsanalyse is voor assetmanagementbeslissingen over ontwerp, onderhoud en vervang echter minder goed toepasbaar door drie oorzaken:

1. er wordt geen rekening gehouden met de kans op uitval en kan daarom niet gezien worden als een volwaardige risicoanalyse;
2. de eis voor levering (75% op een maximum dag, gedurende 24 uur) is aanzienlijk minder zwaar dan de eisen die drinkwaterbedrijven zichzelf opleggen aan de continuïteit van levering¹;
3. met de leveringszekerheidsanalyse is het niet mogelijk om de impact van het falen van een specifiek onderdeel (bijvoorbeeld een winput) te relateren aan de impact op gebruikers in een eenduidige prestatie-indicator zoals de ondermaatse leveringsminuten² (OLM).

Om te komen tot integrale besluitvorming voor assetmanagement is het van belang om het systeem van bron tot tap te beschouwen en van alle relevante faalgebeurtenissen na te gaan wat de kans op optreden is, wat de mogelijke impact is op gebruikers, wat de reparatietijd is in geval van falen en wat mogelijke mitigatiemaatregelen zijn om het effect van falen voor gebruikers te verminderen. Het kwantitatief onderbouwen van dergelijke aspecten en de doorvertaling daarvan naar prestatie en risico's van het assetsysteem blijkt de grootste hindernis te vormen om te komen tot goed onderbouwde en integrale besluitvorming voor assetmanagement, zie hiervoor onder andere Vries et al. (2014), Wols et al. (2017) en Beuken et al. (2019).

De laatste jaren krijgen drinkwaterbedrijven echter steeds meer inzicht in het falen van hun assets. Hierbij speelt de informatie die beschikbaar komt uit systemen voor Enterprise Resource Planning (ERP) een belangrijke rol. Hoewel nog soms rudimentair, is er steeds meer informatie beschikbaar over de gemiddelde kans op falen en de gemiddelde tijd die nodig is voor het weer in gebruik nemen. Binnen het vakgebied van reliability engineering worden deze termen beschreven als respectievelijk de Mean Time Between Failures (MTBF) en de Mean Time To Repair (MTTR). Dergelijke faalgebeurtenissen van componenten (putten, filters, HD-pompen, etc) zijn te vertalen naar uitvalscenario's op het niveau van productielocaties. De impact op gebruikers van de uitval van een productielocatie, die op diverse momenten kan aanvangen, vergt een groot aantal simulaties met een hydraulisch

¹ Gebaseerd op mondelingen mededelingen G. Linssen (WML) en Peter Drolenga (Vitens) die aangaven dat er strengere bedrijfszekerheidseisen zijn.

² Voor informatie over de ondermaatse leveringsminuten of OLM, zie Meerkerk, M.A. en P.J.J.G. Geudens (2021).

rekenpakket. De rekentijd van deze simulaties kan enkele uren vergen en vraagt specifieke kennis van de werking en aansturing van dergelijke pakketten.

Dit onderzoek is uitgevoerd in twee fasen. In fase 1 heeft een verkenning plaatsgevonden van de problematiek en de mogelijke oplossing. Dit is beschreven in rapport 'Risicobeoordelings-methodiek falen productielocaties op basis van OLM, Proof of principle' - BTO 2021.046 (Jong en Quintiliani, 2021). Voorliggend rapport (fase 2) betreft de beschrijving van de methodiek en een verdere uitwerking hiervan in een realistische casestudie (productielocatie Oosterbeek van Vitens).

Dit onderzoek maakt deel uit van BTO-Bedrijfsonderzoek; deelnemers waren Brabant Water, Dunea, Oasen, PWN, Waterbedrijf Groningen, Vitens en WML. Voor het verkrijgen van informatie is intensief samengewerkt met Vitens.

1.2 Doel en afbakening

Het doel van fase 2 van dit project is methodeontwikkeling en de toetsing hiervan aan de praktijk voor het kwantitatief en realistisch bepalen van de impact van het falen van een component (zoals een put, zandfilter, reinwaterreservoir of HD-pompunit) op een productielocatie op de leveringsprestatie aan verbruikers uitgedrukt in berekende ondermaatse leveringsminuten (OLM-B).

Het ontwikkelen van een methodiek voor het in kaart brengen van de impact van het falen van componenten op een productielocatie wordt uitgewerkt voor een concrete situatie, te weten productielocatie Oosterbeek van Vitens. De opzet en het functioneren van deze productielocatie zullen daarom als uitgangspunt worden gehanteerd in deze studie. De resultaten zijn echter in algemene zin beschreven zodat een doorvertaling naar andere situaties mogelijk is. Bij het bepalen van de impact op verbruikers wordt er van uitgegaan dat andere faalgebeurtenissen dan vastgelegd in de uitvalscenario's, zoals een breuk in het leidingnet, niet simultaan zullen optreden.

1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 worden zes stappen beschreven waaruit een integrale risicoanalyse dient te bestaan. Tevens wordt aangegeven op welke wijze de berekening van de OLM wordt uitgevoerd en worden eisen gesteld voor een te hanteren methodiek. Er wordt vervolgens teruggekeken op de eerste fase van dit project en er worden verbeterpunten beschreven. Daarna wordt een inventarisatie beschreven naar methodieken en aanwezige gegevens bij drinkwaterbedrijven over faalgebeurtenissen. Hieruit wordt geconcludeerd dat deze informatie alleen verkregen kan worden met behulp van expertkennis. Als laatste paragraaf van dit hoofdstuk wordt een voorstel gegeven voor een methodiek die in dit onderzoek wordt toegepast.

In Hoofdstuk 3 wordt een beschrijving gegeven van het casusgebied, namelijk productielocatie Oosterbeek en het bijbehorende leveringsgebied. Tevens wordt aangegeven welke mitigatiemaatregelen kunnen worden ingezet als er minder water beschikbaar is op de productielocatie.

Hoofdstuk 4 beschrijft faalkansen en reparatietijden van de belangrijkste componenten van productielocatie Oosterbeek. Vervolgens worden elf scenario's opgesteld die kunnen leiden tot een gehele of gedeeltelijke uitval van de productielocatie. Deze uitvalscenario's dienen als randvoorwaarde voor leidingnetberekeningen waarbij gemiddelde ondermaatse leveringsminuten worden berekend voor de scenario's. Vervolgens wordt de gevoeligheid bepaald indien er geen mitigatiemaatregelen tijdig beschikbaar zijn en/of bij een toename van het verbruik met 20%.

Hoofdstuk 5 bestaat uit conclusies uit de cases uit beide fasen. Vervolgens worden deze bediscussieert en worden aanbevelingen geformuleerd.

1.4 Gehanteerde begrippen

De in dit rapport gehanteerde begrippen zijn hieronder weergegeven. Schuin gedrukte begrippen zijn afkomstig uit Rijkswaterstaat (2018).

Productielocatie	Een verzamelnaam voor locaties waar drinkwater wordt gewonnen, gezuiverd, opgeslagen en verpompt. In de casestudie is Oosterbeek een productielocatie.
Component	Functionele eenheid op een productielocatie, zoals een filter, een reinwaterreservoir of HD-pompen.
Element	Onderdeel van een component waaraan faalgebeurtenissen kunnen worden toegeschreven, bijvoorbeeld een frequentieomvormer in een HD-pompen.
Leveringsgebied	Een afzonderlijk te beschouwen gebied dat middels een leidingnet van drinkwater wordt voorzien vanuit één of meer productielocaties.
Balansgebied	Deel van een leveringsgebied dat is begrensd met volumestroommeters en waarvoor een waterbalans is op te stellen.
<i>Falen</i>	<i>Een gebeurtenis, of een verzameling gebeurtenissen, waardoor een systeem zijn functie verliest, c.q. niet meer kan vervullen (voldoet niet meer aan de functie eis). Er wordt niet van falen van het systeem gesproken, indien het systeem zijn functie niet kan vervullen door geplande onderhoudswerkzaamheden of capaciteitsgebrek.</i>
<i>Faalmechanisme</i>	<i>De wijze waarop het systeem faalt, zodat het zijn functie niet meer levert.</i>
MTBF	Mean Time Between Failures, de gemiddelde tijdsduur van een component (of een onderdeel daarvan) tussen twee opeenvolgende faalgebeurtenissen. Dit kan een vaste waarde zijn, maar kan ook als een functie uitgedrukt worden.
MTTR	Mean Time To Repair, de gemiddelde tijd in geval van falen tussen het uit gebruik nemen van een component (of een onderdeel daarvan) en het opnieuw in gebruik nemen. Dit kan een vaste waarde zijn, maar kan ook als een functie uitgedrukt worden.
Uitvalscenario	Een scenario dat de gehele of gedeeltelijke uitval beschrijft van een productielocatie als gevolg van het falen van een van de componenten.
<i>Betrouwbaarheid</i>	<i>De kans dat een systeem gedurende een bepaalde periode zonder falen zijn functie vervult, onder gegeven omstandigheden (in het Engels reliability).</i>
<i>Beschikbaarheid</i>	<i>De verwachte fractie van de totale tijd dat een systeem, onder gegeven omstandigheden, functioneert (in het Engels availability).</i>
OLM	Ondermaatse leveringsminuten (OLM) betreft het aantal minuten dat een administratieve aansluiting ofwel géén drinkwater geleverd krijgt (leveringsonderbreking) ofwel drinkwater geleverd krijgt onder onvoldoende (ondermaatse) druk of niet van de vereiste kwaliteit (oftewel ondermaatse

waterkwaliteit) (Meerkerk en Geudens, 2021). Binnen de context van dit rapport betreft OLM het leveren van drinkwater met onvoldoende druk, namelijk minder een hydrostatische druk op het leveringspunt lager dan 50 kPa ten opzichte van het maaiveld.

OLM-BE

Berekende ondermaatse leveringsminuten, gegeven het optreden van een faalgebeurtenis. Deze wordt verder ook wel de berekende effect-OLM genoemd. Deze waarde drukt daarmee alleen het effect uit van een faalscenario, wat wordt vastgesteld door het aantal minuten dat een administratieve aansluiting drinkwater geleverd krijgt onder onvoldoende druk (<50 kPa t.o.v. maaiveld).

OLM-B

Berekende ondermaatse leveringsminuten, dit zijn de waarden die volgen uit berekende OLM-BE, vermenigvuldigd met de kans op de bijbehorende faalgebeurtenis.

2 Probleemverkenning en methodiek

2.1 Probleemverkenning

Drinkwaterbedrijven willen hun assetmanagementbesluitvorming op een integrale en kwantitatief onderbouwde wijze uitvoeren. Deze analyse kan bijdragen aan een goed gedocumenteerde en reproduceerbare werkwijze en er kan gericht worden gestreefd naar verbetering. In deze studie wordt ingegaan op het vertalen van uitval van een productielocatie op de leveringsprestatie, gemeten in de meest toegepaste prestatie-indicator OLM. Om deze analyse uit te voeren zijn in grote lijnen de volgende stappen noodzakelijk:

1. breng het systeem in kaart en stel vast uit welke componenten (van het primaire proces) deze bestaat, inclusief componenten die bij falen leiden tot systeemuitval (denk aan elektriciteitsvoorziening of procesautomatisering);
2. bepaal per component welke faalmechanismen kunnen leiden tot uitval van de productielocatie, wat de kans op falen (MTBF) is en wat de reparatietijd is in geval van een calamiteit (MTTR);
3. vertaal de potentiële faalgebeurtenissen op componentniveau tot uitvalscenario's van een productielocatie;
4. ga na welke mitigatiemaatregelen er mogelijk zijn, binnen hoeveel tijd deze ingevoerd kunnen zijn, op welke locatie(s) en met welke capaciteit;
5. gebruik de uitvalscenario's en de mitigatiemaatregelen als input voor een leidingnetberekeningsprogramma en bereken hiermee het effect van uitval in OLM-BE;
6. combineer dit effect met de kans op uitval, om zo te komen tot een berekening van het risico in OLM-B.

Ondermaatse leveringsminuten door onvoldoende druk kunnen in de praktijk niet gemeten worden (daarvoor moet elke aansluiting zijn voorzien van een drukmeter). Door voor elke tijdstap het aantal administratieve aansluitingen te berekenen met een druk lager dan 50 kPa ten opzichte van het maaiveld, worden de ondermaatse leveringsminuten bepaald gegeven een specifieke situatie van uitval. Hiermee is met oog op ondermaatse druk, het effect van de uitval te berekenen. Voor dit effect wordt de notatie OLM-BE gehanteerd. Door deze OLM-BE te vermenigvuldigen met de kans op uitval wordt de OLM-B berekend voor een specifieke faalgebeurtenis.

$$OLM-B_i = P_i * OLM-BE_i \quad (\text{Vergelijking 1})$$

Waarin: OLM-B_i: de berekende OLM voor faalgebeurtenis i
 P_i: de kans op faalgebeurtenis i
 OLM-BE_i: het berekende OLM effect voor faalgebeurtenis i [tijd]

$$OLM-BE_i = \frac{\sum_{m=1}^{j=1} A_{ij}}{A_t} \quad (\text{Vergelijking 2})$$

Waarin: OLM-BE: de berekende OLM voor n faalgebeurtenissen gegeven een optredende faalgebeurtenis [tijd - in minuten]
 m: het aantal rekenstappen waarover de OLM-berekening plaatsvindt
 A_{ij}: het aantal administratieve aansluitingen met een druk lager van 50 kPa voor faalgebeurtenis i op rekenstap j [n]
 A_t: het totaal aantal administratieve aansluitingen [n]

De te gebruiken methodiek bestaat uit een combinatie van twee expertisevelden:

- reliability engineering, waarbij onderhoudsgegevens en expertdata over componenten worden vertaald in geaggregeerde uitvalscenario's;
- hydraulische modellering, met routines die een leidingnetberekenningsmodel aansturen om geautomatiseerd een groot aantal verschillende runs te draaien en de resultaten daarvan statistisch te beschrijven.

Om het falen van een component van een productielocatie op verbruikers vast te stellen, is een werkwijze gekozen die rekening houdt met de volgende aspecten:

- Productielocaties kennen een complexe opbouw met vaak grote mate van redundantie. Daarnaast is er vaak sprake van diverse bypasses en koppelleidingen, soms alleen bekend bij beheerders. Dit leidt ertoe dat er specifieke (lokale) kennis nodig is om de vertaling te maken van prestaties en risico's van onderdelen naar het niveau van de gehele productielocatie.
- Componenten bestaan uit een groot aantal onderdelen, die vaak specifiek zijn per locatie en die vaak verschillend zijn ontworpen. Het is daarom niet eenvoudig generieke kennis op te bouwen over degradatie en levensduur van componenten en de belangrijkste elementen.
- Beperkte beschikbaarheid van informatie: het beheer van productielocaties is nog vaak gebaseerd op expertkennis en meer formele informatiesystemen en analysetools voor storingen of risico's (zoals FMECA, RCM en kansenboomanalyse) worden door drinkwaterbedrijven vaak nog onvolledig toegepast. Het verzamelen van informatie over falen en beschikbaarheid is tijdsintensief en vertoont vaak hiaten.
- Omgang met calamiteiten: er is een groot verschil tussen een faalgebeurtenis die niet direct leidt tot leveringsproblemen en een faalgebeurtenis waarbij dat wel het geval is. De meeste faalgebeurtenissen leiden niet direct tot een leveringsprobleem en tegelijk is de meeste informatie daarvan afkomstig. In het geval van een ernstiger incident, zal het drinkwaterbedrijf gebruik maken van noodplannen en zal er vaak in korte tijd gereageerd worden. Bijvoorbeeld een pomp die redundant is mag enkele maanden buiten gebruik zijn, als uitval van dezelfde pomp leidt tot een kans op leveringsproblemen zal er snel gehandeld worden, bijvoorbeeld door een redundante pomp van een andere productielocatie in te zetten.
- Leidingnetten zijn voorzien van koppelingen met naastgelegen netten. Hierdoor is het vaak mogelijk om het probleem te mitigeren door in geval van (gedeeltelijke) uitval extra capaciteit in te zetten uit een nabijgelegen productielocatie.
- Referentieperiode, de maatgevende capaciteit van componenten wordt bepaald door pieken in het verbruik. Voor componenten voorafgaand aan de reinwaterreservoirs wordt dit bepaald door de maatgevende dag, voor de reinwaterkelder en de HD-pompsectie wordt dit bepaald door de maatgevende dag én het maatgevende uur. Het is daarom belangrijk inzicht te hebben in vraagvariatie van het leveringsgebied gedurende langere tijd, zie Bijlage IV voor een voorbeeld van Leveringsgebied Oosterbeek. Bij de toepassing van deze gegevens zijn twee situaties beschouwd:
 - de uitval van één component, dit wordt dan gerelateerd aan de maatgevende maximum dag en wellicht het maatgevende uur;
 - de uitval van één component terwijl een ander component in onderhoud is, omdat onderhoud in principe niet zal plaatsvinden in perioden met een hoog drinkwaterverbruik kan hiervoor een andere maatgevende dag worden gebruikt, bijvoorbeeld 90% van de maatgevende maximum dag.

Het doorrekenen van meerdere leidingnetanalyses is niet handmatig uit te voeren. Er is specifieke code nodig om de invoerparameters en de rekenresultaten te hanteren en om hierop nacalculatie uit te voeren (zoals het berekenen van de OLM-BE). Het leidingnetmodel moet hiervoor geschikt zijn en om die reden is besloten gebruik te maken van het open-source pakket Epanet (Versie 2.2).

2.2 Fase 1, pilot Almere

In fase 1 van dit project is een “proof of principle” voor een methodiek uitgewerkt en toegepast op een vereenvoudigd leidingnet (Jong et al, 2021). Dit betreft vooral het verkrijgen van de juiste data en het bespreken met (tussen-) resultaten met experts van het drinkwaterbedrijf. Voor de proof of principle heeft het project zich gericht op fictieve casus, bestaande uit uitvalscenario's verkregen uit een expertworkshop over een relatief eenvoudige productielocatie (grondwaterzuivering Hoenderloo van Vitens) die zijn gecombineerd met het leidingnet van Almere, waarvan een goed werkend Epanet model beschikbaar was. Voor negen uitvalscenario's is de gemiddelde OLM-BE berekend. De gemiddelde OLM-BE en de spreiding daarvan werden berekend door per uitvalscenario 100 simulaties uit te voeren, met een startmoment van de storing random verdeeld over 24 uur. De volgende verbeterpunten zijn daarbij geconstateerd (die met uitzondering van #2 zijn opgepakt):

1. breidt de rekenmethode uit met distributiereservoirs, meerdere productielocaties en koppelingen met nabijgelegen leveringsgebieden;
2. onderzoek de mogelijkheid en wenselijkheid om de MTTR en MTBF van de uitvalscenario's uit te drukken als (normaal)verdelingen;
3. stel uitvalscenario's op, op basis van een generieke beschrijving van componenten en probeer het faalgedrag hiervan zo realistisch mogelijk in te schatten en ga na of het mogelijk is om veroudering van componenten mee te nemen;
4. onderzoek of er verbeteringen wenselijk zijn van de in fase 1 toegepaste foutenboom;
5. betrek in de berekening ook mitigatie(risicorespons)strategieën in geval van falen, zoals de inzet van drinkwater vanuit nabijgelegen leveringsgebieden;
6. stem af met assetmanagementspecialisten van de waterbedrijven hoe de resultaten het beste gepresenteerd kunnen worden;
7. onderzoek of en hoeveel simulaties noodzakelijk zijn voor een voldoende nauwkeurig resultaat en optimalisatie het rekenproces in het geval er sprake is van ontoelaatbaar lange rekentijden.

Een praktische les die is geleerd uit deze fase is dat het opzetten van een hydraulisch netwerk veel tijd en aandacht vergt.

2.3 Inventarisatie van methodieken voor faalgedrag en betrouwbaarheid

Om inzicht te krijgen in de wijze waarop drinkwaterbedrijven de betrouwbaarheid bepalen van productielocaties en de componenten daarvan, is in fase 2 van dit project een overzicht gemaakt van (specialistische) tools voor betrouwbaarheidsanalyses en bijbehorende databases die deelnemende bedrijven gebruiken. Informatie over deze tools is verzameld met behulp van een vragenlijst. De vragen en antwoorden zijn opgenomen in bijlage I. Antwoorden zijn verkregen van Brabant Water, Oasen, PWN, Vitens, Waterbedrijf Groningen en WML

De drinkwaterbedrijven gebruiken tools voor betrouwbaarheidsanalyses van verschillende leveranciers. Voor het uitvoeren van risicostudies (met name op basis van FMECA) wordt door drie bedrijven (Oasen, Waterbedrijf Groningen en Vitens) met meer of minder intensiteit Optimizer⁺ van Wonderware Benelux gebruikt. Brabant Water gebruikt hiervoor Amprover van Mainovation/Trucado en WML Powersuite van Pragma. Brabant Water gebruikt daarnaast de in eigen beheer ontwikkelde tool Model Mooi om variantenstudies naar het optimale vervangingsmoment uit te voeren. Oasen gebruikt naast Optimizer⁺ ook het onderhoud beheersysteem Ultimo. Om bij grote storingen onderliggende faaloorzaken te identificeren past Vitens Event Mapping toe. Dit is een visuele techniek om oorzaak-gevolgrelaties inzichtelijk te maken. Vitens heeft op deze wijze ongeveer 30 incidenten geëvalueerd. Voor al de genoemde tools geldt dat er veel data beschikbaar moet zijn over de MTTR en de MTBF met een aanzienlijk detailniveau. Uit de inventarisatie bleek dat er geen of slechts zeer beperkte databases zijn met faalgebeurtenissen van componenten op productielocaties die voor dit project noodzakelijk zijn. Bedrijven

verwachten echter dat door het verder gebruik van ERP-pakketten hier de komende jaren aanzienlijke verbeteringen verwacht mogen worden.

Deze inventarisatie maakt duidelijk dat hoewel bedrijven beschikken over verschillende systemen voor het uitvoeren van betrouwbaarheidsanalyses, de informatie over het falen en de reparatie van componenten van productielocaties nog onvoldoende volwassen is, waardoor die toch verkregen zal moeten worden met behulp van expertkennis.

2.4 Generieke omschrijving van de toegepaste aanpak

Op basis van de zes stappen die zijn beschreven in paragraaf 2.1, de ervaringen in fase 1 en discussies met de projectgroep, is onderstaande generieke aanpak opgesteld.

Stap 1: Breng het systeem in kaart

- 1.a Stel vast welke componenten deel uitmaken van de productielocatie en stel hiervan een Pipe-flow diagram op.
- 1.b Stel de capaciteiten vast van de componenten.
- 1.c Stel een leidingnetmodel op waarmee de OLM-BE van individuele aansluitingen kan worden berekend.
- 1.d Stel een set aan verbruiken op die representatief zijn voor de te beschouwen uitvalscenario's
- 1.e Verzamel gegevens over onderdelen die niet in het leidingnetmodel zijn opgenomen, voor Oosterbeek waren dat pompen, reservoirs en koppelingen.

Stap 2: Bepaal per component de relevante faalmechanisme en schat de MTBF en de MTTR

- 2.a Bepaal van de onder 1a vastgestelde componenten uit welke elementen deze zijn opgebouwd en welke storingstypen/faalmechanismen kunnen leiden tot gehele of gedeeltelijke uitval van de productielocatie. Beschouw hierbij ook faalmechanismen op het niveau van de productielocatie, zoals uitval van de stroomvoorziening (inclusief NSA) of een leidingbreuk van een cruciale terreinleiding.
- 2.b Stel per component/faalmechanisme vast welk type dit betreft (bijvoorbeeld marmerfilters op productielocatie Oosterbeek) en wat van dat type de kans is op falen (MTBF) leidend tot gehele of gedeeltelijke uitval. De kans op falen wordt uitgedrukt in de betrouwbaarheid.
- 2.c Stel per component/faalmechanisme vast wat de reparatietijd (MTTR) is in een normale situatie en leidt daarvan af wat de reparatietijd is in het geval van een calamiteit (gehele of gedeeltelijke uitval van de productielocatie).

Stap 3: Vertaal de betrouwbaarheid op componentniveau tot uitvalscenario's

- 3.a Bereken de kans op gehele of gedeeltelijke uitval van de productielocatie. Houd hierbij rekening met:
 - uitval van één component op een maximum dag én uitval van één component buiten de piekperiode, waarbij een andere component in onderhoud is;
 - het wel of niet ter beschikking hebben van berging in het reinwaterreservoir;
 - de aanwezigheid van by-passes om het effect van falende componenten te mitigeren (bijvoorbeeld bij falen van een reinwaterreservoir).
- 3.b Een uitvalscenario kan geformuleerd worden in de vorm: Uitval als gevolg van het falen van component A, op een dag met verbruik B, wat resulteert in een restcapaciteit van de productielocatie van C m³/u, waarbij wel/geen gebruik gemaakt kan worden van het reinwaterreservoir, met een MTBF van D jaar en een MTTR van E uur.
- 3.c Bereken van elk uitvalscenario de kans dat uitval optreedt. Houdt hierbij rekening met meerdere redundante componenten (in Oosterbeek bijvoorbeeld 9 putten, die niet allemaal beschikbaar hoeven te zijn).

Stap 4: Ga na welke mitigatiemaatregelen mogelijk zijn

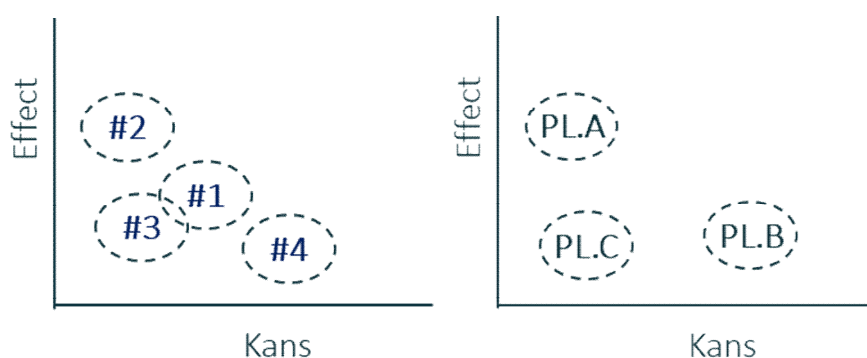
- 4.a Stel vast welke mitigatiemaatregelen er zijn, bijvoorbeeld vermeld in het leveringsplan. Dit kunnen koppelingen zijn met naastgelegen leveringsgebieden, distributiereservoirs die de levering tijdelijk over kunnen nemen of een tweede voedende productielocatie.
- 4.b Stel per mitigatiemaatregel vast, welke capaciteit deze kan leveren, op welke locatie en binnen hoeveel tijd dit geëffectueerd kan worden. Houd daarbij rekening met extra pompen die geschakeld moeten worden of afsluiters die in het veld bediend moeten worden.

Stap 5: Gebruik uitvalscenario's en mitigatiemaatregelen om de OLM-BE te berekenen

- 5.a Stel een leidingnetmodel op van het distributienet. Omdat er gerekend wordt met niet-reguliere situaties waarbij bijvoorbeeld reservoirs leeg kunnen komen te staan of extra pompen ingeschakeld moeten worden, is het van belang om ook pompen en reservoirs zo nauwgezet mogelijk te modelleren.
- 5.b Stel een rekenschil op waarmee geautomatiseerd een groot aantal leidingnetberekeningen kunnen worden uitgevoerd.
- 5.c Regel middels zogenaamde controls dat mitigerende maatregelen actief worden binnen de vastgestelde reactietijd na uitval van de productielocatie.
- 5.d Stel per uitvalscenario vast op hoeveel aansluitingen een te lage druk is opgetreden en wat hiervan de duur was. Conform de PCD 20 (Meerkerk en Geudens, 2021) wordt een druk die lager is dan 50 kPa ten opzichte van het maaiveld als te laag beschouwd.
- 5.e Bereken per uitvalscenario de OLM-BE (het effect van uitval op aansluitingen).

Stap 6: Combineer het effect en de kans op uitval, om tot een risicobeoordeling

- 6.a Het effect van falen (OLM-BE) en de kans op falen kan men per uitvalscenario uitdrukken in een risicoplot, zie Figuur 1 - links. Hierbij kan ook een onzekerheidsmarge worden aangehouden.
- 6.b Door de kans en het effect te vermenigvuldigen komt men tot een risicoscore. Door de OLM-BE te vermenigvuldigen met de kans op uitval, wordt de OLM-B (berekende OLM) verkregen.
- 6.c Door van alle uitvalscenario's de OLM-BE en de kans op uitval te combineren ontstaat een overall risicoplot die de risicoscore uitdrukt van de productielocatie, zie Figuur 1 – rechts.



Figuur 1 Risicoplot per uitvalscenario (links), gecombineerde risico's per productielocatie (rechts).

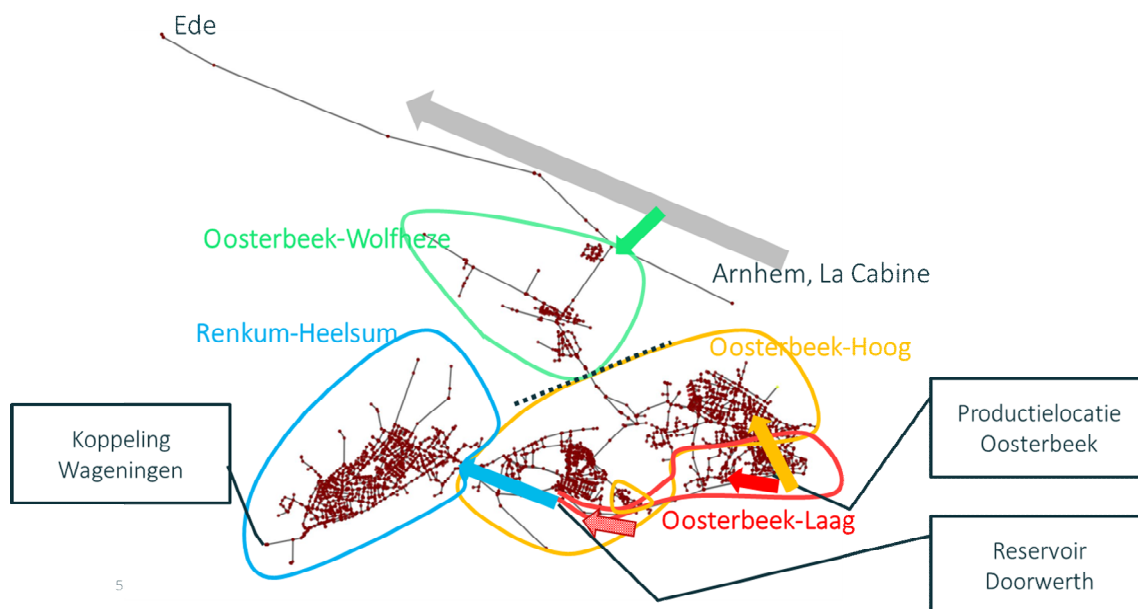
3 Systeembeschrijving leveringsgebied Oosterbeek

3.1 Globale beschrijving

Het leveringsgebied Oosterbeek is weergegeven in Figuur 2. Het distributienet bestaat uit vier balansgebieden: Oosterbeek-Hoog, Oosterbeek-Laag, Renkum-Heelsum en Oosterbeek-Wolfheze. Productielocatie Oosterbeek voedt rechtstreeks aan de balansgebieden Oosterbeek-Hoog en Oosterbeek-Laag. Een transportleiding die deel uitmaakt van de balansgebied Oosterbeek-Laag voedt distributiereservoir Doorwerth. Dit reservoir levert door aan balansgebied Renkum-Heelsum. Binnen balansgebied Oosterbeek-Hoog is het iets lager gelegen Heveadorp, voorzien van een drukreduceringsafsluiter en is daardoor een afgescheiden gebied. Dit wordt in het model gezien als een apart balansgebied. Tussen productielocatie La Cabine in Arnhem en Ede bevindt zich een transportleiding, waarvan een aftakking de balansgebied Oosterbeek-Wolfheze voedt.

In het door Vitens beschikbaar gestelde Schakelplan Oosterbeek (Hamed, 2017) wordt aangegeven dat in geval van uitval van Productielocatie Oosterbeek de balansgebieden Oosterbeek-Hoog, Oosterbeek-Laag en Renkum-Heelsum worden voorzien door een koppeling met leveringsgebied Wageningen. Er is ook een koppeling tussen de balansgebieden Oosterbeek-Wolfheze en Oosterbeek-Hoog. Deze zal hiervoor niet worden opengezet.

Omdat het balansgebied Oosterbeek-Wolfheze zowel in een reguliere situatie als bij calamiteiten geen hydraulische relatie heeft met productielocatie Oosterbeek, zal dit balansgebied geen deel uitmaken van de in dit rapport beschreven analyse.



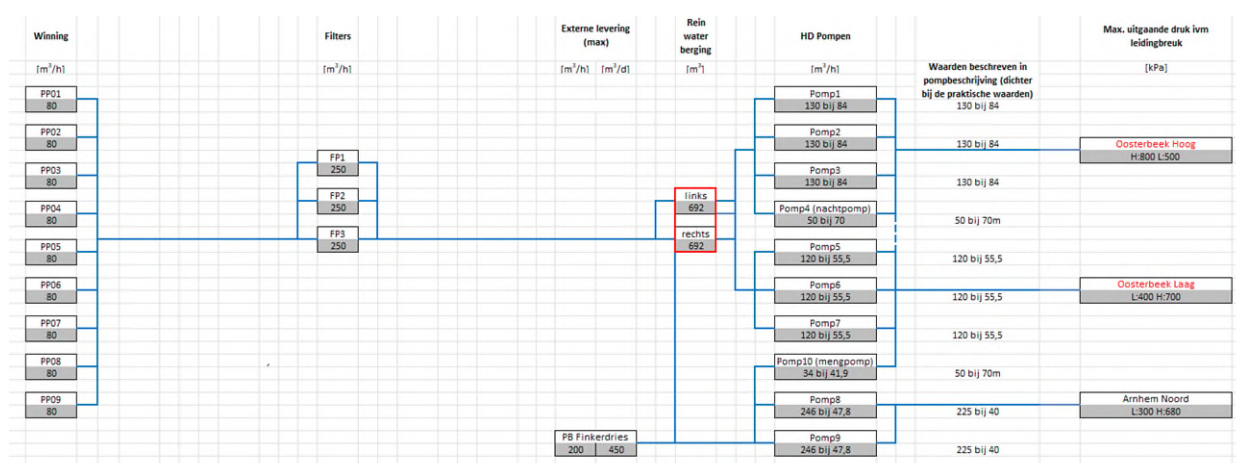
Figuur 2 Leveringsgebied Oosterbeek, bestaande uit productielocatie Oosterbeek, reservoir Doorwerth en vijf balansgebieden.

Het netwerk dat voor deze modellering is gebruikt, betreft een Epanet netwerk dat is aangeleverd door Vitens (Ton Blom, 21-2-2022), zie bijlage VI. Dit model bevat afnamegegevens van 14 tot en met 23 juli 2018. In dit

netwerkmodel waren geen gegevens over reservoirs en pompen opgenomen. Deze zijn handmatig toegevoegd op basis van de door Vitens verstrekte gegevens.

3.2 Productielocatie Oosterbeek

Productielocatie Oosterbeek is een grondwaterzuivering die wordt gevoed door negen putten met onderwaterpompen. De zuivering bestaat uit drie marmerfilters. Na opslag van het water in twee reinwaterbergingen wordt het water door de hogedruksectie, die 9 HD pompen omvat, gedistribueerd. HD pompen 8, 9 en 10 worden buiten beschouwing gelaten, omdat deze deel uitmaken van de doorlevering vanuit Productielocatie Fikkersdries naar Arnhem en geen water leveren aan het leveringsgebied Oosterbeek. Het stroomdiagram met capaciteiten van de componenten is opgenomen in Figuur 3.



Figuur 3 Schematische weergave productielocatie Oosterbeek (info Vitens)

3.3 Reservoir Doorwerth

Reservoir Doorwerth bestaat uit twee kelders die onderling zijn verbonden en die een gezamenlijke netto beging hebben van 1.760 m³. Het reservoir wordt gevoed door een inkomende leiding die is verbonden met productielocatie Oosterbeek. Het reservoir heeft twee uitgaande pompgroepen, naar Renkum-Heelsum en naar Oosterbeek-Hoog.

3.4 Beschrijving leidingnetmodel Oosterbeek

Leidingen

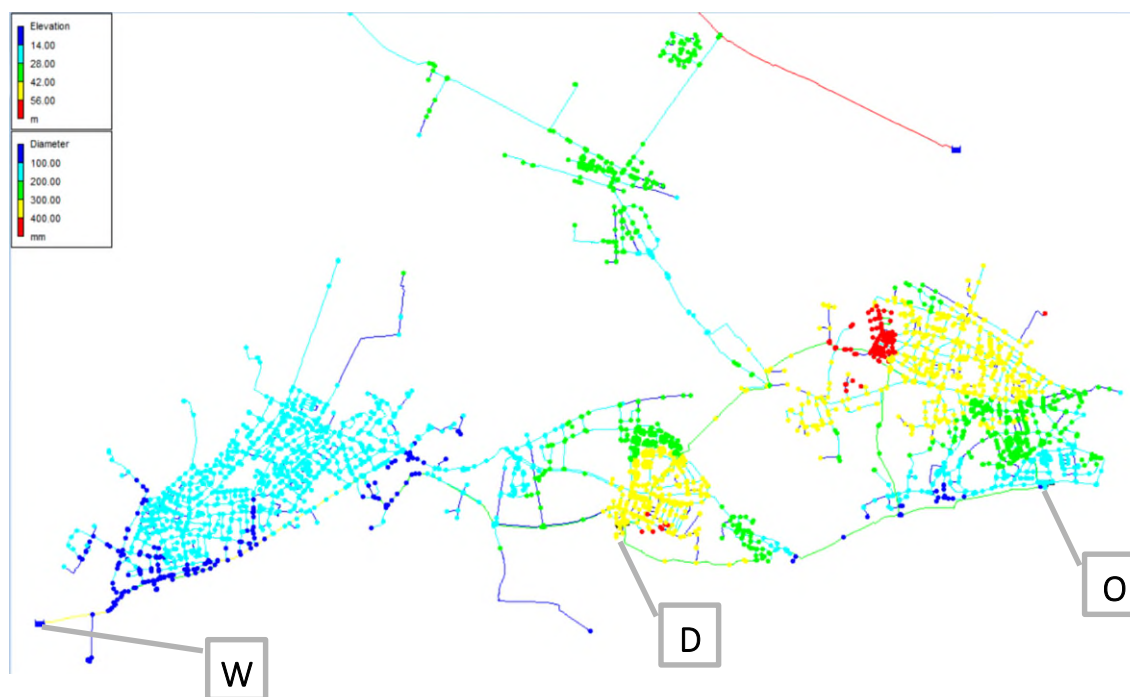
Het netwerkmodel van Oosterbeek bestaat uit 6207 links³, onderverdeeld in 5166 pipes, 1033 valves en 8 pumps. Van deze 1033 valves zijn er 6 pressure reducing valves. De totale lengte van de pipes betreft 207 km.

Deelgebieden, verbruiken en patronen

Het netwerkmodel bestaat uit nodes, onderverdeeld in 5864 junctions, 2 tanks en 2 reservoirs. Van de 5864 junctions hebben er 2920 een verbruik. De som van dit verbruik (base demand) betreft 202 m³/u. Dit verbruik betreft het gemiddelde uurverbruik op een gemiddelde dag. Oosterbeek is een geaccidenteerd terrein, met

³ Vanwege de eenduidigheid zijn de Engelse termen gehanteerd die ook worden gebruikt in Epanet.

maaiveldhoogten van de junctions variërend van 9 tot en met 65 m+NAP. Voor een overzicht van de maaiveldhoogten van de nodes en diameter van de links, zie Figuur 4.



Figuur 4 Leidingnet Oosterbeek. De kleuren van de nodes zijn verdeeld naar maaiveldhoogte, die van de links naar diameter. Verder is de locatie aangegeven van productielocatie Oosterbeek (O), reservoir Doorwerth (D) en de koppeling met de productielocatie Wageningen (W).

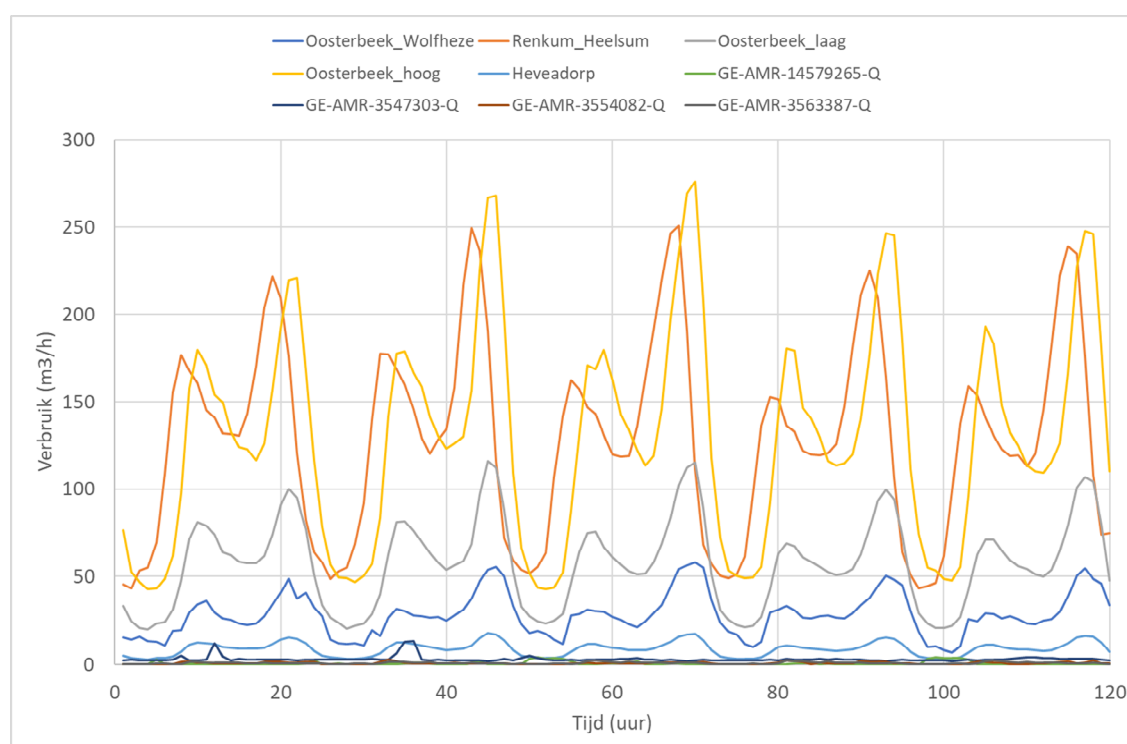
Het door Vitens aangeleverde Epanetmodel kent vijf verbruiksgroepen voor het huishoudelijk verbruik die overeenkomen met de vijf balansgebieden. Daarnaast zijn er bij vier zakelijke verbruikers automatische afleesbare watermeters geplaatst. Zie Tabel 1 voor een overzicht.

Tabel 1 Overzicht van verbruiksgroepen met bijbehorende patronen in het Epanetmodel van leveringsgebied Oosterbeek. In het geval van automatisch uitgelezen meters (AMR) houdt Vitens een base-demand aan van 1.0 m³/u en worden de daadwerkelijke afnames beschreven door de patronen. Om die reden is komt het total base-demand niet overeen met het gemiddeld uurverbruik op een gemiddelde dag.

Verbruiksgroep	Aantal verbruiknodes	Minimale hoogte (M+ NAP)	Maximale hoogte (M+ NAP)	Som base demand (m ³ /u)
Oosterbeek_hoog	1117	14	65	79.6
Oosterbeek_Wolfheze	201	21	34	10.7
Oosterbeek_laag	505	12	54	30.6
Renkum_Heelsum	1023	9	31	72.7
Heveadorp@	70	11	50	4.6
GE-AMR-14579265-Q, in Renkum (basisschool, zwembad)	1	15	15	1.0
GE-AMR-3547303-Q, in Renkum (papierfabriek)	1	11	11	1.0
GE-AMR-3554082-Q, in Oosterbeek-Hoog (Restaurant-hotel)	1	20	20	1.0
GE-AMR-3563387-Q, in Renkum (Zorgcomplex)	1	14	14	1.0
Totaal	2920			202.2

Gegevens over de geleverde daghoeveelheden door productielocatie Oosterbeek in de jaren 2014 tot en met 2021 zijn opgenomen in bijlage IV. De dagen die als referentiedagen voor deze analyse zijn genomen zijn 14 juli tot en met 18 juli 2018. Deze dagen komen overeen met een dagpiekfactor ten opzichte van het gemiddelde dagverbruik van respectievelijk 1.44, 1.51, 1.55, 1.45 en 1.46. Het hoogste verbruik uit deze reeks (16 juli 2018) komt overeen met de 99%-dag, dat wil zeggen dat 99% van de dagen in 2014 tot en met 2021 een dagverbruik had dat lager was.

Op basis van de base-demand en de aangeleverde verbruikspatronen zijn voor de periode van 14 t/m 18 juli 2018 de uurverbruiken weergegeven in Figuur 5. De dag met het maximum verbruik uit deze reeks is 16 juli. Dit betrof 9041 m³/u en gemiddeld 377 m³/u. Het verbruik op het maximum uur bedroeg 608 m³/u. De maximum uitgaande hoeveelheid voor Oosterbeek betreft 511 m³/u, verdeeld over 207 m³/u voor Oosterbeek Hoog en 304 m³/u voor Oosterbeek Laag.



Figuur 5 Gehanteerde patronen voor de periode 14 juli 2018 tot en met 18 juli 2018.

Op basis van het waterverbruik en de ingaande hoeveelheden bij de HD-pompen is een waterbalans op te stellen voor de periode van vijf dagen, zie Tabel 2. In deze waterbalans bedraagt de totale instroom 93.733 m³ en de totale uitstroom 93.706 m³. Het verschil in deze balans bedraagt 26 m³ of 0,03% van de instroom. De totalen in deze waterbalans zijn aanzienlijk hoger dan het totale verbruik in Oosterbeek over deze vijf dagen. Dit komt omdat in de waterbalans ook de doorlevering van Productielocatie La Cabine naar Ede is opgenomen. Daarnaast worden de volumes op reservoir Doorwerth zowel aan de instroomzijde als aan de uitstroomzijde meegeteld.

Tabel 2 Waterbalans Leveringsgebied Oosterbeek, referentieperiode 14-18 juli 2018

Waterbalans 120 uur in m ³			
Leidingnet in		Leidingnet uit:	
Pompen op Productielocaties of bij reservoirs:		Verbruik:	
PL. Oosterbeek-Hoog	14,518	Oosterbeek_Wolfheze	3,393
PL. Oosterbeek-Laa	25,272	Renkum_Heelsu	15,523
R. Doorwerth	17,570	Oosterbeek_laag	6,922
PL. La Cabine	36,373	Oosterbeek_hoog	15,687
		Heveadorp	1,041
		GE-AMR-14579265-Q	73
		GE-AMR-3547303-Q	363
		GE-AMR-3554082-Q	96
		GE-AMR-3563387-Q	103
		Uitstroom reservoirs:	
		Reservoir Ede	33,036
		Reservoir Doorwerth	17,470
Som in	93,733	Som uit	93,706
Verschil			26

Reservoirs en pompen

Het door Vitens aangeleverde Epanetmodel bevat geen reservoirs en pompen en deze zijn op basis van de door Vitens verstrekte gegevens toegevoegd. Voor de gegevens over de reservoirs in Oosterbeek en Doorwerth, zie Tabel 3. Vitens maakt gebruik van toerengeregelde pompen. Het is echter niet mogelijk om deze in Epanet te modelleren en om die reden zijn de pompen als zogenaamde pompen met een vast toerental gemodelleerd. Verder had Vitens geen gegevens beschikbaar over de instellingen van de frequentieomvormers waarmee de toerenregeling wordt uitgevoerd. Gegevens over de pompen zijn weergegeven in bijlage V.

Tabel 3. Overzicht van de gemodelleerde reservoirs in voorzieningsgebied Oosterbeek.

Naam	Volume	Minimum niveau (m+NAP)	Maximum niveau (m+NAP)
Productielocatie Oosterbeek	1384 m ³	14.55	20.72
Reservoir Doorwerth	1760 m ³	52.50	55.35

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd voor de leidingnetberekeningen:

- Er treedt gedurende de rekenperiode geen leidingbreuk op en er is geen extra verbruik als gevolg van lekkage;
- drukafhankelijk verbruik;
- een vulling van 50% in de reservoirs Oosterbeek en Doorwerth bij aanvang van de berekeningen;
- een hydraulische tijdstap van 1 uur, wat overeenkomt met de afnamegegevens op uurbasis die van Vitens zijn verkregen.

3.5 Mitigatiemaatregelen bij uitval Oosterbeek

In geval van een gehele of gedeeltelijke uitval van productielocatie Oosterbeek, schrijft het Schakelplan Oosterbeek (Hamed, 2017) voor dat water wordt geleverd vanuit productielocatie Wageningseberg in Wageningen. Hiervoor dienen de volgende handelingen te worden uitgevoerd.

- 1 Productielocatie Wageningsberg levert aan balansgebied Renkum-Heelsum en vult reservoir Doorwerth. Hierbij moet een afsluiter op productielocatie Wageningseberg geopend te worden.
- 2 Reservoir Doorwerth neemt de levering naar de balansgebieden Oosterbeek-Hoog en Oosterbeek-Laaag over van productielocatie Oosterbeek. Om voldoende druk te houden in balansgebied Oosterbeek-Laaag dient een scheidingsafsluiter (in het veld) enkele slagen geopend te worden.

Aangenomen wordt dat het twee uur in beslag neemt voor het signaleren van uitval, het besluiten over mitigerende maatregelen en het aanpassen van de bedrijfsvoering (inclusief draaien afsluiter in het veld). Op basis van Hamed (2017) wordt er van uitgegaan dat er maximaal 200 m³/u beschikbaar is om uitval van productielocatie Oosterbeek op te vangen.

4 Casestudie: uitval Productielocatie Oosterbeek

4.1 Bepaling kans op uitval

De berekende OLM (OLM-B) bestaat uit een kans-component en een effect-component, zie ook Vergelijking 2 (zie pagina 11). De kans-component bestaat uit de kans dat uitval optreedt als gevolg van falen van componenten of de productielocatie Oosterbeek in zijn geheel, met als eenheid het aantal keer uitval per jaar. Om de kans op uitval te bepalen, zijn eerder de belangrijkste componenten geanalyseerd. Deze betreffen de putten, de snelfilters, de reinwaterkelder en de hogedrukpompen (zie paragraaf 3.2). Tijdens drie workshops zijn MTBF (inverse van de faalkans) en de reparatietijd (MTTR) van de componenten van productielocatie Oosterbeek ingeschat. De resultaten van de workshops zijn weergegeven in bijlage II. Hierbij moet worden opgemerkt dat er van veel faalmechanismen weinig betrouwbare data beschikbaar is en dat daarom de meeste informatie is gebaseerd op grove schattingen.

In bijlage III is aangegeven hoe de vertaling plaatsvindt van MTBF van per faaloorzaak van een component naar uitval van een productielocatie. Er vindt een aggregatie plaats van de MTBF per faaloorzaak op één van de componenten, naar alle faaloorzaken op één van de componenten, waarna de betrouwbaarheid wordt bepaald bij falen van één tot en met alle onderdelen (putten, filters, etc.). Met oog op uitval zijn de volgende situaties te onderscheiden:

- Er is sprake van volledige uitval als van de productielocatie:
 - alle putten of filters uitvallen
 - de elektriciteit uitvalt en de noodstroom niet beschikbaar is
 - de besturing uitvalt
 - een leidingbreuk optreedt in een niet-redundante en cruciale terreinleiding.
- Er is sprake van volledige uitval naar een balansgebied als alle HD-pompen naar een balansgebied uitvallen;
- Er is sprake van gedeeltelijke uitval als van de productielocatie als een aantal maar niet alle putten of filters uitvallen, waardoor op dagbasis de benodigde capaciteit niet beschikbaar is.
- Er is sprake van gedeeltelijke uitval naar een balansgebied als een aantal maar niet alle HD-pompen naar een balansgebied uitvallen; waardoor op uurbasis de benodigde capaciteit niet beschikbaar is
- Bij falen van een of alle reinwaterreservoirs is door gebruik te maken van een bypass levering nog steeds mogelijk, maar is de capaciteit voor buffering beperkt.

De betrouwbaarheid en geaggregeerde faalkans die behoren bij uitval van componenten zijn weergegeven in Tabel 4. Tabel 4 laat zich als volgt lezen: Het falen van 3 putten, waarbij de beschikbare capaciteit 480 m³/h bedraagt, komt overeen met een betrouwbaarheid van 0,777 gebeurtenissen per jaar. Deze gebeurtenis kent een geaggregeerde MTBF van 4,49 jaar (uitgerekend volgens de inverse van Vergelijking 5, zie Bijlage III) en een geaggregeerde faalkans van 0,2225 keer/jaar. Anders gezegd eens in de 4,5 jaar komt het voor dat drie putten uitvallen in datzelfde jaar. Dat hoeft nog niet te betekenen dat ze alle drie tegelijk uitvallen. In deze berekening wordt daar echter wel van uitgegaan. Deze berekende faalkans wordt gehanteerd bij het bepalen van de kans-component voor de OLM-B. Er zal een correctiefactor worden gehanteerd om te verdisconteren dat het falen niet optreedt op de dag met het maximum verbruik. Deze correctiefactor betreft de reciproke waarde van de dagfactor (zie Bijlage IV). Voor de 99%-dag betreft dit 0,6435 (=1/1,554). Voor de 90%-dag betreft dit 0,8772 (=1/1,140).

Tabel 4 Betrouwbaarheid van productielocatie Oosterbeek als gevolg van uitval van componenten

Component	Falende onderdelen	Beschikbare capaciteit	Betrouwbaarheid (n/jaar)	Geaggregeerde MTBF (jaar)	Geaggregeerde faalkans (n/jaar)
Putten	1	640 m ³ /u	0,15898813	1,19	0,8410
	2	560 m ³ /u	0,48336712	1,94	0,5166
	3	480 m ³ /u	0,77750993	4,49	0,2225
	4	400 m ³ /u	0,93309952	14,9	0,0669
	5	320 m ³ /u	0,98600703	71,5	0,0140
	6	240 m ³ /u	0,99800099	500	0,00200
	7	160 m ³ /u	0,99981366	5366	0,000186
	8	80 m ³ /u	0,99998977	97729	1,02E-05
	9	0 m ³ /u	0,99999975	3977641	2,51E-07
Filters	1	500 m ³ /u	0,25114585	1,34	0,7489
	2	250 m ³ /u	0,69189417	3,25	0,3081
	3	0 m ³ /u	0,94972452	19,9	0,0503
RW reservoir	1	692 m ³	0,96059601	25,4	0,0394
	2	0 m ³	0,99960399	2525	0,00040
HD-pompen Laag	1	240 m ³ /u	0,64609294	2,83	0,3539
	2	120 m ³ /u	0,94989488	20,0	0,0501
	3	0 m ³ /u	0,99751219	402	0,0025
HD-pompen Laag	1	260 m ³ /u	0,64609294	2,83	0,3539
	2	130 m ³ /u	0,94989488	20,0	0,0501
	3	0 m ³ /u	0,99751219	402	0,0025

4.2 Bepaling duur van uitval

Om het effect van gehele of gedeeltelijke uitval van productielocatie Oosterbeek te berekenen moeten er uitvalscenario's worden opgesteld die leidend zijn voor leidingnetberekeningen. Er is op basis van de verkregen informatie uit de workshops (zie bijlage II) een selectie gemaakt van 11 uitvalscenario's die kunnen optreden als gevolg van het falen van componenten en die in potentie tot de hoogste kans op uitval kunnen leiden. Deze 11 uitvalscenario's zijn weergegeven in Tabel 5. Er zijn daarbij twee situaties te onderscheiden. Bij de scenario's 1, 2, 3, 6, 8 en 9 betreft het de uitval van het systeem in zijn geheel of van één component. Deze situatie wordt als referentieperiode de 99%-dag aangehouden, wat wil zeggen het verbruik in de periode van 14 tot en met 18 juli 2018. Bij de scenario's 4, 5, 10 en 11 is er sprake van uitval van een component waarbij een andere component in onderhoud is en in scenario 7 is er sprake van falen van twee reinwaterkelders. In deze gevallen wordt gerekend met een 90%-dag. Omdat er geen gegevens zijn verkregen over de frequentie en de duur van onderhoud, wordt voor de uitvalscenario's 4, 5, 7, 10 en 11 uitgegaan van de uitval van twee componenten. Dit is een conservatieve aanname die echter voor deze studie als acceptabel wordt geacht.

Per scenario is aangegeven wat de beschikbare capaciteit is, welke bijbehorende faalkans en welke reparatietijd daarbij hoort. De betrouwbaarheid is afkomstig uit Tabel 4, voor de uitvalscenario's. De reparatietijd (MTTR) is afkomstig uit de workshops, zie Bijlage II. Vitens was echter van oordeel dat deze reparatietijden erg conservatief waren en dat er onvoldoende rekening was gehouden met de oplossingsgerichte aanpak bij calamiteiten. Om die reden is een onderverdeling gemaakt tussen:

- een zogenaamd groot probleem dat in een relatief beperkt aantal gevallen zal optreden en waarbij er bijvoorbeeld geen reservemateriaal beschikbaar is of het niet mogelijk is om constructief falen in korte tijd op te lossen;
- een zogenaamd klein probleem waarin door tijdelijke oplossingen uitval binnen korte tijd kan worden opgeheven, die na afloop van de workshops en in overleg met Vitens is vastgesteld.

De reparatietijden (MTTR) in Tabel 5 betreffen naast de duur van de ook de verdeling tussen een groot en een klein probleem. In het geval van een verdeling van 10% voor een groot probleem en 90% van een klein probleem, wordt voor beide situaties de OLM berekend en wordt vervolgens het gewogen gemiddelde bepaald volgens $OLM_{\text{grootprobleem}} * 0,1 + OLM_{\text{kleinprobleem}} * 0,9$. De faalkansen zijn afkomstig uit Tabel 14 voor de uitvalscenario's 1, 2 en 3 en uit Tabel 5 voor de overige uitvalscenario's.

Tabel 5. Uitvalscenario's van productielocatie Oosterbeek

Scen.	Beschrijving	Referentie-periode	Reservoir Oosterbeek beschikbaar	Beschikbare cap. Oostb. (m³/u)	Faalkans (n/jaar)	MTTR-klein uur-(%)	MTTR-groot uur-(%)
1	Uitval productielocatie door elektraonderbreking en niet tijdig functioneren van NSA	99%-dag	Nee	0	0,0571	2 (90%)	48 (10%)
2	Uitval productielocatie door uitval besturing	99%-dag	Nee	0	0,0571	2 (90%)	6 (10%)
3	Uitval productielocatie door cruciale leidingbreuk (niet redundant)	99%-dag	Nee	0	0,0263	12 (90%)	96 (10%)
4	Uitval 1 put en 1 put in onderhoud	90%-dag	Ja	560	0,5166	72 (90%)	168 (10%)
5	Uitval 1 marmerfilter en 1 in onderhoud	90%-dag	Ja	250	0,3081	72 (90%)	120 (10%)
6	Uitval reinwaterkelder door besmetting	99%-dag	Half	648	0,0394	2 (95%)	120 (5%)
7	Uitval reinwaterkelder door besmetting in combinatie met constructief falen	90%-dag	Nee	648	0,00040	24 (95%)	2160 (5%)
8	Uitval en vernieuwen pomp OB-laag	99%-dag	Ja	240 (laag) +390 (hoog)	0,3539	24 (99%)	5400 (1%)
9	Uitval en vernieuwen pomp OB-hoog	99%-dag	Ja	360 (laag) +260 (hoog)	0,3539	24 (99%)	5400 (1%)
10	Uitval en vernieuwen pomp OB-laag, andere pomp in onderhoud	90%-dag	Ja	120 (laag) +390 (hoog)	0,0501	24 (99%)	708 (1%)
11	Uitval en vernieuwen pomp OB-hoog, andere pomp in onderhoud	90%-dag	Ja	360 (laag) +130 (hoog)	0,0501	24 (99%)	708 (1%)

In alle uitvalscenario's geldt dat de mitigatiemaatregelen na twee uur beschikbaar zijn (zie paragraaf 3.5). Scenario 1 laat zich daarom als volgt lezen: Als gevolg van de uitval van de energievoorziening én het niet tijdig beschikbaar zijn van de NSA, treedt een volledige uitval op van productielocatie Oosterbeek (0 m³/u) beschikbaar, waarbij de reservoirs op de productielocatie niet beschikbaar zijn. De betrouwbaarheid is 0,9429 keer per jaar (dit kan eens per 17,5 jaar optreden, wat een faalkans inhoudt van eens per 0,0571 jaar), waarbij de reparatietijd in 90% van de gevallen 2 uur bedraagt en in 10% van de gevallen 48 uur. Als gevolg van de mitigatiemaatregelen is er door het koppelen van het nabijgelegen leveringsgebied Wageningen na twee uur 200 m³/u beschikbaar.

De maximum dag waarmee wordt gerekend (16-7-2018) heeft een gemiddeld verbruik van 377 m³/u voor het gehele leveringsgebied. De uitgaande gemiddelde hoeveelheid op productielocatie Oosterbeek is op deze dag gemiddeld 344 m³/u en op het maximum uur 511 m³/u. Dit betekent dat de scenario's 4, 6 en 7 (putverstopping en uitval van de reinwaterkelder) niet verder beschouwd hoeven te worden. De beschikbare capaciteit in deze scenario's (respectievelijk 560, 648 en 648 m³/u) is groter dan het verbruik op het maximum uur. Ook de scenario's 8 t/m 11 hoeven niet nader beschouwd te worden. In deze scenario's valt voor een balansgebied (Oosterbeek Hoog of Oosterbeek Laag) één pomp uit op een maximum dag, of valt één pomp uit en is een andere in onderhoud op een 90% dag. De gevolgen hiervan kunnen worden gemitigeerd door operationele maatregelen die in korte tijd uitgevoerd kunnen worden. Voor deze scenario's geldt:

- Scenario 8, er zijn twee pompen beschikbaar met een gezamenlijke capaciteit van 240 m³/u. Dit is minder dan de uitgaande hoeveelheid op het maximum uur (304 m³/u naar Oosterbeek Laag). Op dit tijdstip stroomt ongeveer 60% van deze hoeveelheid door als vulling naar reservoir Doorwerth. In geval van uitval van één pomp op dit specifieke tijdstip is het mogelijk de vulling van Doorwerth tijdelijk stop te zetten en op een later tijdstip te hervatten. Dit uitvalscenario zal daarom niet leiden tot OLM.
- Scenario 9, er zijn twee pompen beschikbaar met een gezamenlijke capaciteit van 260 m³/u. De benodigde volumestroom (207 m³/u naar Oosterbeek Hoog) is minder dan de beschikbare capaciteit en er zal geen OLM optreden.
- Scenario 10, beschikbare capaciteit voor Oosterbeek Laag is 120 m³/u omdat er in dit uitvalscenario slechts één pomp beschikbaar is (één valt uit en een tweede is in onderhoud). Omdat onderhoud niet in de periode met een maximum verbruik plaatsvindt wordt hier gerekend met de 90%-dag. Deze dag betreft 73% van de hoogste dagverbruik in de referentieperiode, zie ook bijlage IV. Omdat er geen uurgegevens beschikbaar zijn, wordt aangenomen dat het maximum uur 222 m³/u betreft (73% van 304 m³/u). Analoog aan uitvalscenario 8 zal ook hiervan circa 60% worden gebruikt voor het vullen van reservoir Doorwerth, wat gedurende het piekverbruik tijdelijk kan worden stopgezet. Voor levering aan het balansgebied is dan circa 90 m³/u nodig.
- Scenario 11, beschikbare capaciteit voor Oosterbeek Hoog 130 m³/u omdat er in dit uitvalscenario slechts één pomp beschikbaar is (één valt uit en een tweede is in onderhoud). Omdat ook hier met de 90%-dag wordt gerekend is de maximale vraag op deze dag 151 m³/u (73% van 207 m³/h). In dit kortdurende tekort kan worden voorzien door bijlevering vanuit reservoir Doorwerth. Ook in dit scenario zal er geen OLM optreden.

Een en ander betekent dat het effect van uitval van een productielocatie alleen berekend hoeft te worden voor de uitvalscenario's 1, 2, 3 en 5.

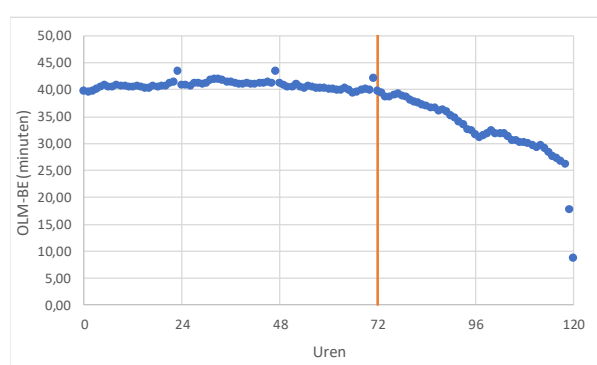
4.3 Resultaten: Effect van uitval als berekende effect-OLM en risicoscore

In deze paragraaf zijn de resultaten beschreven van de berekeningen met het leidingberekeningsmodel Epanet voor de scenario's 1, 2, 3 en 5. Voor deze vier scenario's zijn hydraulische berekeningen gemaakt voor een periode van 120 uur voor de referentieperiode van 14 t/m 18 juli 2018. Voor scenario 5, dat betrekking heeft op een 90%-dag waren geen verbruiken beschikbaar. Deze verbruiken zijn bepaald door op de verbruiken van de periode van 14 t/m 18 juli 2018 een factor (Demand multiplier) van 0,734 toe te passen⁴. Voor elk scenario zijn 2 reeksen van 120 Epanetberekeningen uitgevoerd waarbij het aanvangstijdstip van de uitval steeds met een uur is verschoven. De twee reeksen betreffen de MTTR voor een 'klein probleem' en voor een 'groot probleem'. De OLM-BE is bepaald door voor elk uur het aantal aansluitingen te bepalen in de balansgebieden Oosterbeek-Hoog (inclusief Heveadorp), Oosterbeek-Laalag en Renkum-Heelsom met een druk die lager is dan 5 mwk ten opzichte van het maaiveld. Hierin zijn ook de mitigatiemaatregelen opgenomen, zoals beschreven in paragraaf 3.5. De uiteindelijke berekende effect-

⁴ Deze waarde is bepaald door de dagfactor van de 90% dag (1,140) te delen door de dagfactor van de 99% dag (1,554), zie ook Bijlage IV

OLM is bepaald met een weging van 90% voor een 'klein probleem' en 10% voor een 'groot probleem' (zie Tabel 5). Voor het aansturen van deze berekeningen is een code geschreven in Python.

Voor uitvalscenario 1 is in Figuur 6 de berekende effect-OLM weergegeven. Uit deze figuur blijkt dat de berekende effect-OLM de eerste 72 uur vrij constant is, namelijk ca. 40 minuten. Na uur 72 vindt er een verlaging plaats van de berekende effect-OLM, omdat voor de aanvangstijdstippen hierna de duur van de uitval voor wat betreft een 'groot probleem' ('MTTR groot') de tijdshorizon van 120 overschrijdt. Om die reden is de gemiddelde berekende effect-OLM en de standaarddeviatie bepaald over de eerste 72 uur. Deze betreffen respectievelijk 40,7 minuten en 0,8 minuten. De faalkans van 0,0571 (zie Tabel 5) wordt gecorrigeerd met een factor 0,6435 en resulteert in een gecorrigeerde faalkans van 0,0368 gebeurtenissen per jaar. Door deze waarde te vermenigvuldigen met de gemiddelde berekende effect-OLM, wordt een berekende OLM (OLM-B) verkregen voor deze faalgebeurtenis van 1,496 minuten per jaar.



MTTR klein	2	uur
MTTR groot	48	uur
Beschouw tot	72	uur
MTTR gem	6,6	uur
Dagpiekfactor	1,554	
Reductiefactor	0,64350	

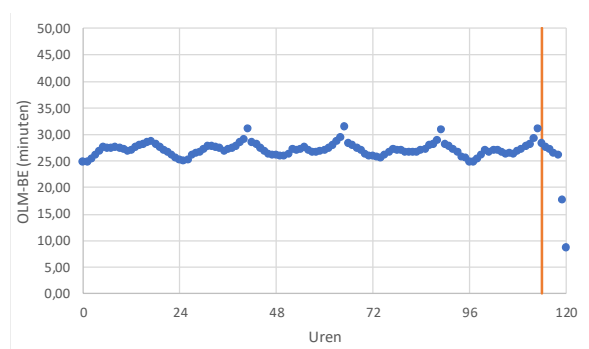
Gem OLM-BE	40,7	minuten
Stdev OLM-BE	0,8	minuten

Faalkans	0,0571	n/jaar
Gecorr faalkans	0,036771	n/jaar

OLM-B	1,4959	min/jaar
OLM-B max	1,5236	min/jaar
OLM-B min	1,4683	min/jaar

Figuur 6 Berekende effect-OLM voor uitvalscenario 1

Voor uitvalscenario 2 is in Figuur 7 de berekende effect-OLM weergegeven. Na uur 114 vindt er een verlaging plaats van de berekende effect-OLM, omdat voor de aanvangstijdstippen hierna de duur van de uitval voor wat betreft een 'groot probleem' ('MTTR groot') de tijdshorizon van 120 overschrijdt. Om die reden is de gemiddelde berekende effect-OLM en de standaarddeviatie bepaald over de eerste 114 uur. Deze betreffen respectievelijk 27,1 minuten en 1,2 minuten. De faalkans van 0,0571 wordt gecorrigeerd met een factor 0,6435 en resulteert in een gecorrigeerde faalkans van 0,0368 gebeurtenissen per jaar. Door deze waarde te vermenigvuldigen met de gemiddelde berekende effect-OLM, wordt een berekende OLM (OLM-B) verkregen voor deze faalgebeurtenis van 0,998 minuten per jaar.



MTTR klein	2	uur
MTTR groot	6	uur
Beschouw tot	114	uur
MTTR gem	2,4	uur
Dagpiekfactor	1,554	
Reductiefactor	0,64350	

Gem OLM-BE	27,1	minuten
Stdev OLM-BE	1,2	minuten

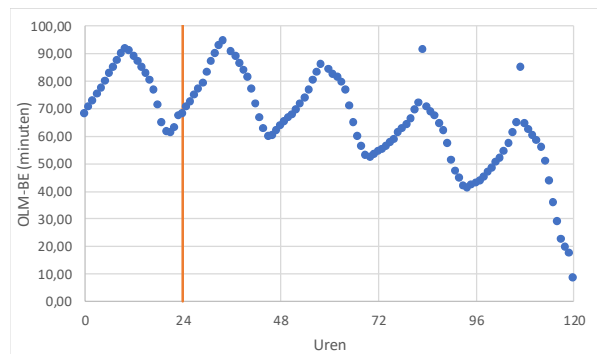
Faalkans	0,0571	n/jaar
Gecorr faalkans	0,036771	n/jaar

OLM-B	0,9983	min/jaar
OLM-B max	1,0441	min/jaar
OLM-B min	0,9526	min/jaar

Figuur 7 Berekende effect-OLM voor uitvalscenario 2

Voor uitvalscenario 3 is in Figuur 8 de OLM-BE weergegeven. Na uur 24 vindt er een verlaging plaats van de berekende effect-OLM, omdat voor de aanvangstijdstippen hierna de duur van de uitval voor wat betreft een 'groot probleem' ('MTTR groot') de tijdshorizon van 120 overschrijdt. Om die reden is de gemiddelde berekende effect-OLM en de standaarddeviatie bepaald over de eerste 24 uur. Deze betreffen respectievelijk 77,2 minuten en

9,6 minuten. De faalkans van 0,0263 wordt gecorrigeerd met een factor 0,6435 en resulteert in een gecorrigeerde faalkans van 0,0169 gebeurtenissen per jaar. Door deze waarde te vermenigvuldigen met de gemiddelde berekende effect-OLM, wordt een berekende OLM (OLM-B) verkregen voor dit uitvalscenario van 1,307 minuten per jaar.



MTTR klein	12	uur
MTTR groot	96	uur
Beschouw tot	24	uur
MTTR gem	20,4	uur
Dagpiekfactor	1,554	
Reductiefactor	0,64350	

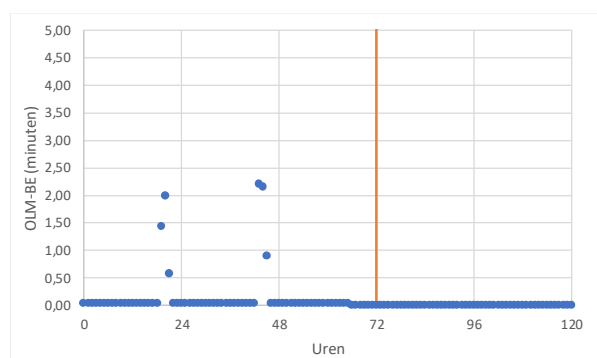
Gem OLM-BE	77,2	minuten
Stdev OLM-BE	9,6	minuten

Faalkans	0,02630	n/jaar
Gecorr faalkans	0,016924	n/jaar

OLM-B	1,3072	min/jaar
OLM-B max	1,4694	min/jaar
OLM-B min	1,1449	min/jaar

Figuur 8 Berekende effect-OLM voor uitvalscenario 3

Voor uitvalscenario 5 is in Figuur 9 de berekende effect-OLM weergegeven. In dit scenario is de MTTR voor een 'groot probleem' even lang als het rekeninterval van 120 uur. Om toch tot een berekening te komen zijn de eerste 48 uur geanalyseerd. De gemiddelde berekende effect-OLM en de standaarddeviatie bepaald over de eerste 45 uur betreffen respectievelijk 0,2 minuten en 0,5 minuten. De faalkans van 0,3081 wordt gecorrigeerd met een factor 0,8772 en resulteert in een gecorrigeerde faalkans van 0,2702 gebeurtenissen per jaar. Door deze waarde te vermenigvuldigen met de gemiddelde berekende effect-OLM, wordt een berekende OLM (OLM-B) verkregen voor dit uitvalscenario van 0,059 minuten per jaar. Uit deze waarden blijkt dat de berekende effect-OLM zeer beperkt is gedurende de meeste uren van de dag en alleen tijdens de avondpiek een beperkte uitschieter kent.



MTTR klein	72	uur
MTTR groot	120	uur
Beschouw tot	72	uur
MTTR gem	76,8	uur
Dagpiekfactor	1,140	
Reductiefactor	0,87719	

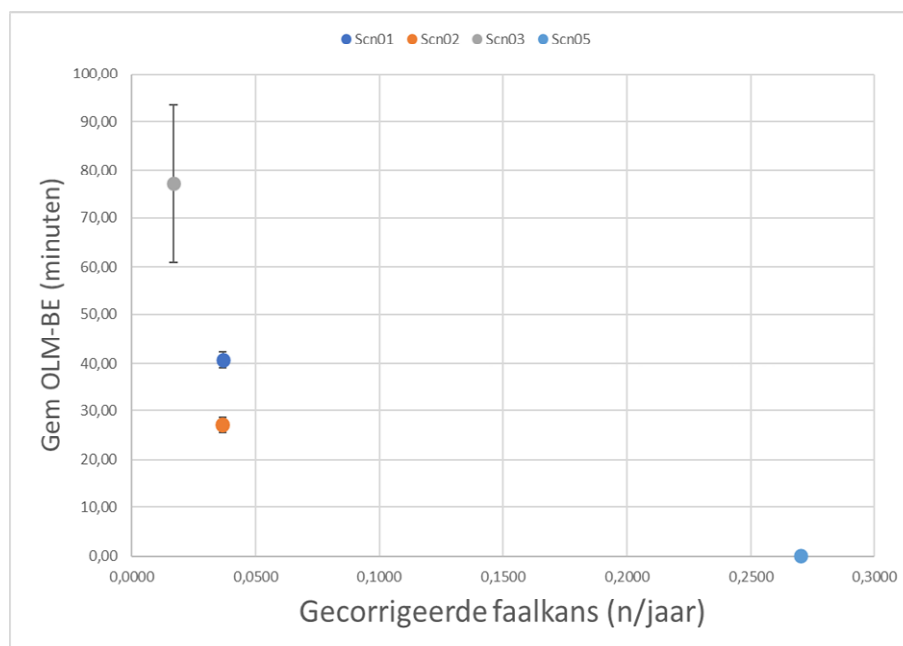
Gem OLM-BE	0,2	minuten
Stdev OLM-BE	0,5	minuten

Faalkans	0,3081	n/jaar
Gecorr faalkans	0,270263	n/jaar

OLM-B	0,0413	min/jaar
OLM-B max	0,1637	min/jaar
OLM-B min	-0,0811	min/jaar

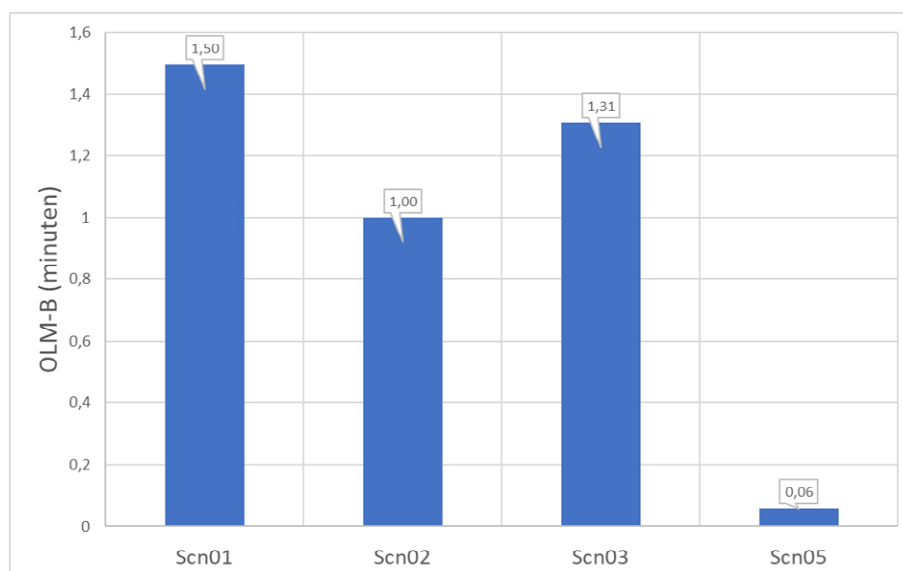
Figuur 9 Berekende effect-OLM voor uitvalscenario 5

In Figuur 10 is een risicoplot afgebeeld met op de x-as de gecorrigeerde faalkans en op de y-as de gemiddelde berekende effect-OLM. De gecorrigeerde faalkans wil zeggen dat de faalkansen voor een 99%-dag en een 90%-dag zijn gecorrigeerd naar faalkansen per jaar en daarmee dus onderling vergelijkbaar zijn. Uit dit figuur blijkt dat de vier scenario's een afnemende berekende effect-OLM hebben bij een toenemende gecorrigeerde faalkans. Omdat het berekende effect bij uitvalscenario 3 het meest afhankelijk is van het tijdstip van aanvang, is hier de grootste bandbreedte te zien. Uit de plot blijkt een relatief grote kans op uitval van één marmerfilter terwijl één ander 1 in onderhoud (scenario 5). Het effect op de OLM hiervan is echter zeer beperkt en kan door mitigatiemaatregelen vrijwel volledig teniet worden gedaan.



Figuur 10 Risicoplot met de kans uitgedrukt als beschikbaarheid en het effect uitgedrukt in berekende effect-OLM.

In Figuur 11 is van de vier uitvalscenario's die kunnen leiden tot leveringsonderbrekingen de berekende OLM (OLM-B) weergegeven. Deze waarde betreft per scenario de vermenigvuldiging van de kans (gecorrigeerde faalkans per jaar) en het effect (gemiddeld Berekende effect-OLM). Hierbij dient aangetekend te worden dat beide waarden als even zwaar worden meegewogen. Uit deze vergelijking blijkt dat risico van leveringsonderbreking het grootste zijn voor uitvalscenario 1 (uitval elektra en niet tijdig functioneren van NSA), gevolgd door uitvalscenario 3 (breuk in cruciale en niet-redundante terreinleiding), gevolgd door uitvalscenario 2 (uitval besturing). Het risico van uitvalscenario 5 (uitval marmerfilter en ander in onderhoud) is zeer beperkt.



Figuur 11 Risicoscore van de vier scenario's die tot OLM kunnen leiden, uitgedrukt in een berekende OLM.

De totale risicoscore van productielocatie Oosterbeek kan bepaald worden door risicoscore van de vier uitvalscenario's op te tellen. De totale risicoscore (berekende OLM of OLM-B) is dan 3,86 minuten op jaarbasis.

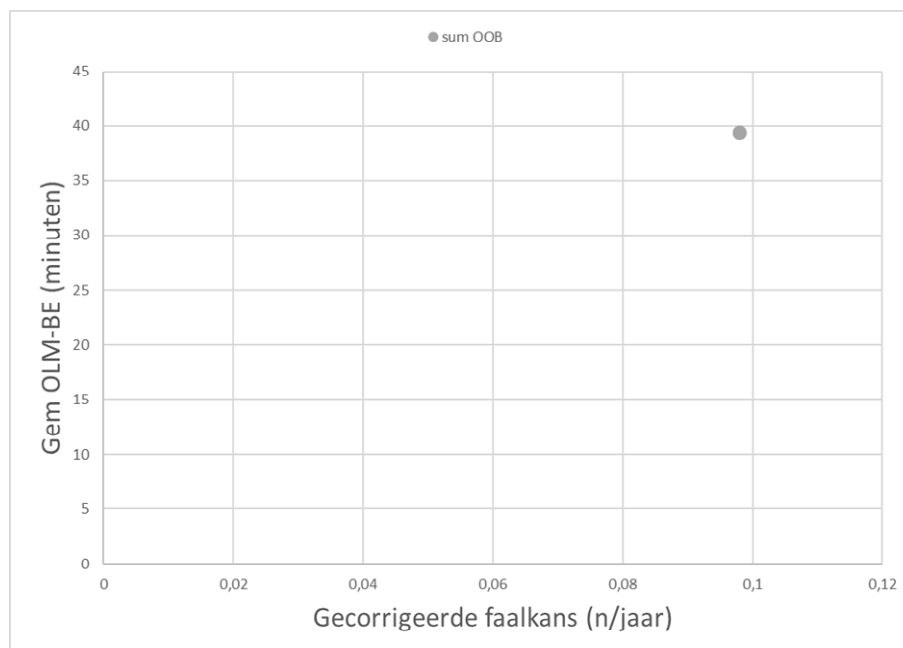
Om deze totale risicoscore weer te geven in een risicoplot, met kans en effect op de assen, is het niet correct om de individuele kans- en effectscores op te tellen⁵. Er zal voor de gezamenlijke kansen en effecten een normalisatie uitgevoerd moeten worden volgens onderstaande formules.

$$k^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R_i}{\sum_{i=1}^n k_i \cdot \sum_{i=1}^n e_i}} \cdot \sum_{i=1}^n k_i \quad (\text{Vergelijking 3})$$

$$e^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R_i}{\sum_{i=1}^n k_i \cdot \sum_{i=1}^n e_i}} \cdot \sum_{i=1}^n e_i \quad (\text{Vergelijking 4})$$

Waarin: k^* : de genormaliseerde gezamenlijke kans;
 e^* : het genormaliseerde gezamenlijke effect;
 n : het aantal beschouwde scenario's (hier 4)
 R_i : de totale risicoscore (hier 3,86 minuten)
 k_i : de som van de individuele kansscores;
 e_i : de som van de individuele effectscores.

Op basis van de bovenstaande formules bedraagt k^* 0,098 gebeurtenissen per jaar en e^* 39,4 OLM effect (OLM-BE) minuten, zie ook Figuur 12.



Figuur 12 Genormaliseerde gezamenlijke kans- en effectscore van de vier scenario's die tot OLM kunnen leiden.

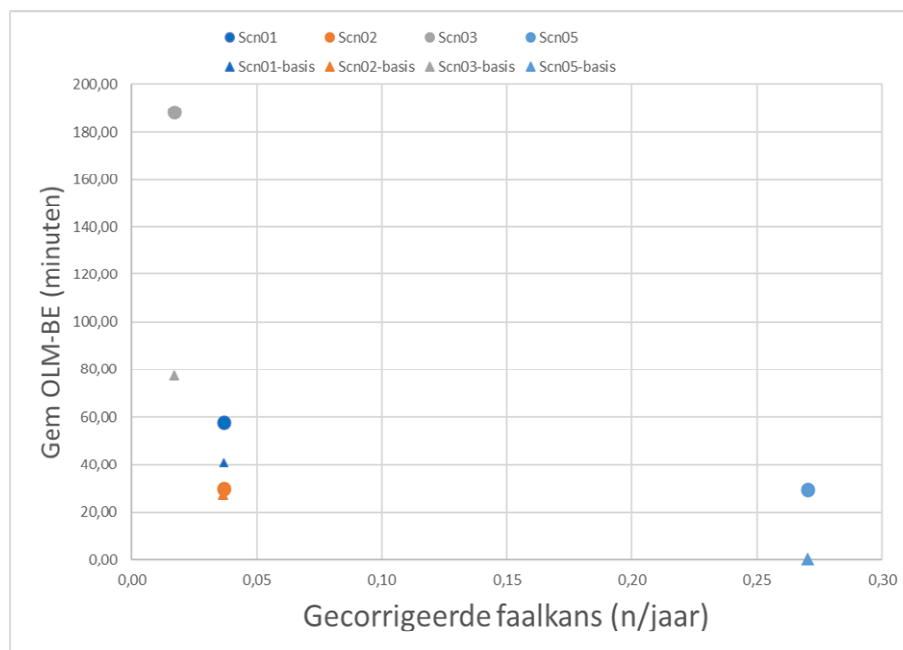
4.4 Gevoeligheidsanalyse: niet-beschikbaarheid mitigatiemaatregelen en verbruikstoename

Er zijn aanvullende leidingnetberekeningen uitgevoerd voor drie situaties, namelijk het niet-beschikbaar zijn van de mitigatiemaatregel om na twee uur 200 m³/h te leveren vanuit productielocatie Wageningen, de toename van het verbruik in de referentieperiode met 20% en de combinatie van beiden.

⁵ Dit is wiskundig niet correct, wat is te illustreren door twee kans en effectwaarden te vergelijken: $R_{12} = (k_1 \cdot e_1) + (k_2 \cdot e_2) \neq (k_1 + k_2) \cdot (e_1 + e_2)$

4.4.1 Niet beschikbaar zijn van mitigatiemaatregel

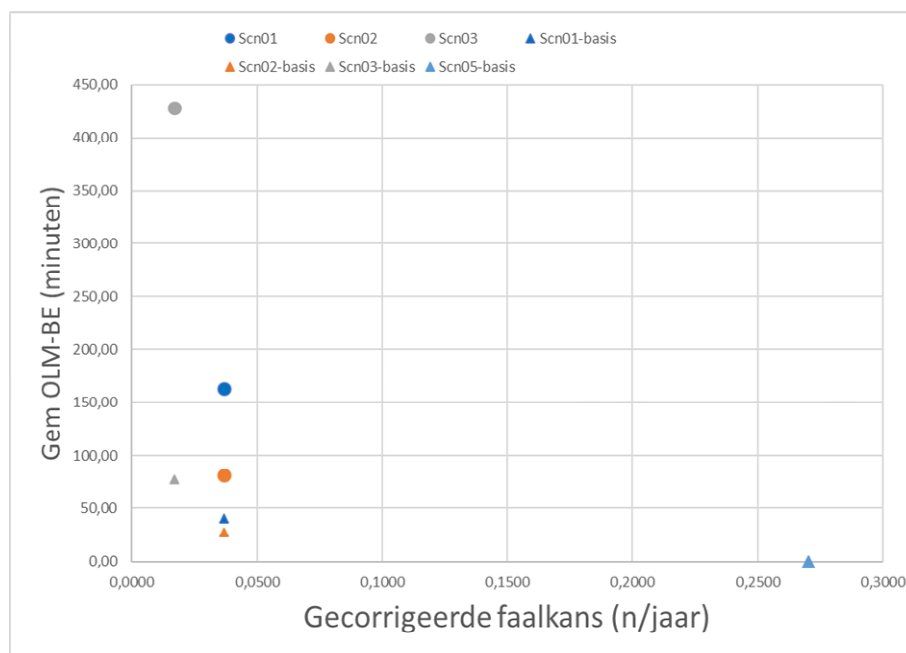
In deze situatie zijn dezelfde vier scenario's van belang en blijven de kansen op uitval gelijk zoals bepaald in paragraaf 4.3. Door het niet beschikbaar zijn van de levering vanuit Wageningen is de berekende effect-OLM hoger, wat in Figuur 13 is weergegeven. De driehoeken geven de resultaten van de basisberekening aan, zoals bepaald in paragraaf 4.3. De scenario's 1 en 2 leiden tot een relatief beperkte toename van de berekende effect-OLM. De relatieve toename van de berekende effect-OLM is bij scenario 5 en vooral bij scenario 3 aanzienlijk hoger. De totale risicoscore (berekende OLM) bedraagt 14,6 minuten op jaarbasis, met een k^* van 0,13 gebeurtenissen per jaar en een e^* van 110,2 berekende effect-OLM minuten. De scenario's 3 en 5, met de grootste MTTR laten ook het grootste verschil zien tussen de berekende effect-OLM met en zonder mitigatiemaatregelen.



Figuur 13 Risicoplot bij het niet beschikbaar zijn van mitigatiemaatregelen, met de gecorrigeerde faalkans versus het gemiddelde berekende effect-OLM.

4.4.2 Verbruikstoename met 20%

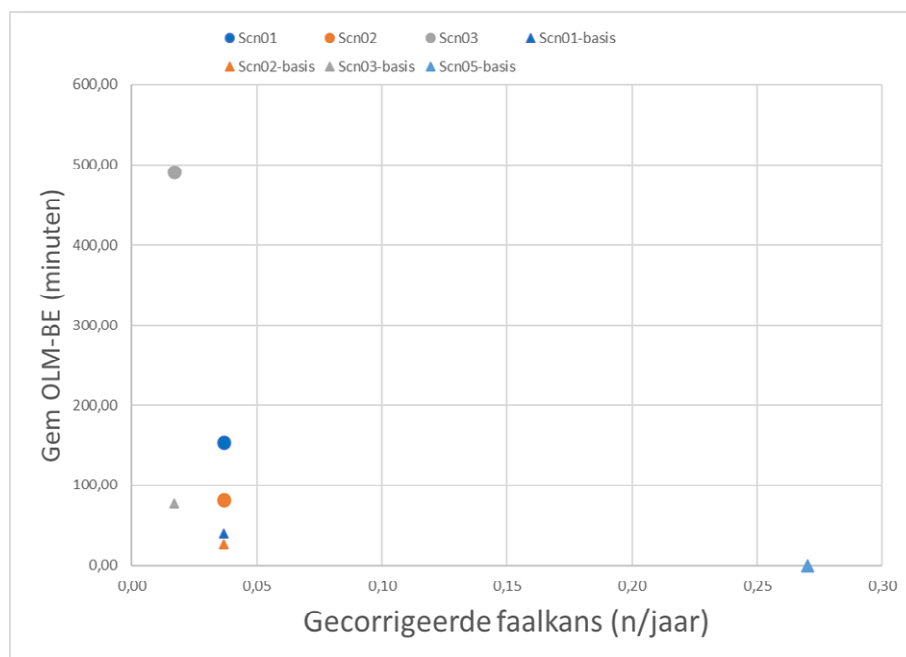
In deze situatie is het verbruik in de referentieperiode verhoogd met 20%, wat inzicht kan verschaffen van de toename van het risico in het leveringsgebied Oosterbeek als gevolg van een groter waterverbruik. Er is van uitgegaan dat dezelfde scenario's van toepassing zijn. Net als bij het afwezig zijn van mitigatiemaatregelen, zijn de faalkansen in deze situatie identiek aan de basisberekening uit paragraaf 4.3. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 14. Ook hier geven de driehoeken de resultaten van de basisberekening aan, zoals bepaald in paragraaf 4.3. Voor de scenario's 1, 2 en 3 is de berekende effect-OLM respectievelijk een factor vier, drie en vijf hoger. Voor scenario 5 was het niet mogelijk om tot een stabiele hydraulische simulatie te komen. Dit is een aanwijzing dat het systeem de gevraagde hoeveelheid met de beschikbare pompinstellingen niet kan leveren. De totale risicoscore voor de scenario's 1, 2 en 3 bedraagt 16,2 minuten op jaarbasis, met een k^* van 0,047 gebeurtenissen per jaar en een e^* van 346,6 berekende effect-OLM minuten.



Figuur 14 Risicoplot bij een verbruik verhoogd met 20%, met de kans uitgedrukt als beschikbaarheid en het effect uitgedrukt in gemiddelde berekende effect-OLM.

4.4.3 Combinatie situaties 4.4.1 en 4.4.2

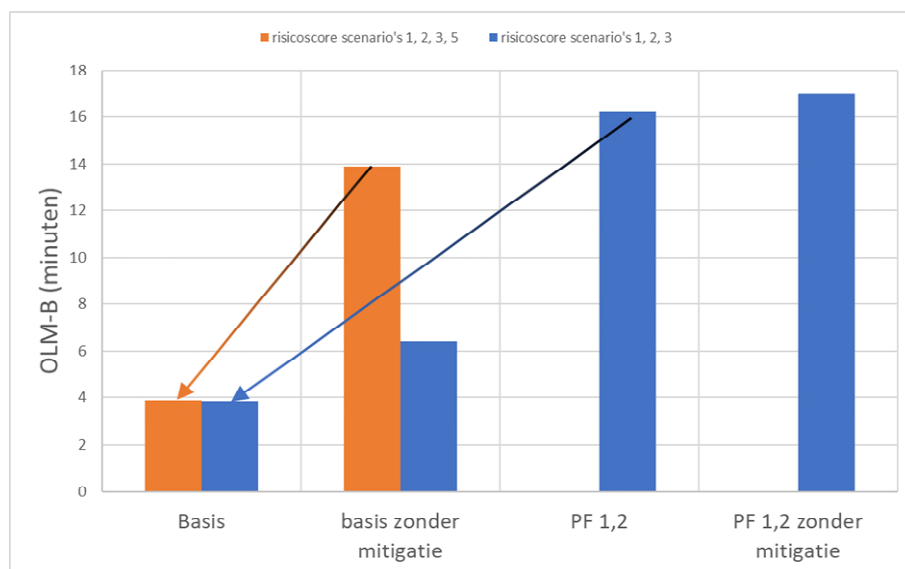
De combinatie van een verhoogd verbruik en het niet beschikbaar zijn van mitigatiemaatregelen leidt tot de risicoplot zoals weergegeven in Figuur 15. De verschillen met de berekende OLM zoals weergegeven in Figuur 14 zijn relatief beperkt. Ook in deze situatie kon voor scenario 5 geen stabiele hydraulische simulatie worden verkregen. De totale risicoscore voor de scenario's 1, 2 en 3 bedraagt 17,0 minuten op jaarbasis, met een k^* van 0,047 gebeurtenissen per jaar en een e^* van 399,9 berekende effect-OLM minuten.



Figuur 15 Risicoplot bij een verbruik verhoogd met 20% en bij het niet beschikbaar zijn van mitigatiemaatregelen, met de kans uitgedrukt als beschikbaarheid en het effect uitgedrukt in gemiddelde berekende effect-OLM.

4.4.4 Vergelijking van risicoscores

De risicoscores of de berekende OLM zijn bepaald door van de scenario's de gecorrigeerde faalkans vermenigvuldigd met de gemiddelde berekende effect-OLM op te tellen. Deze scores zijn weergegeven in Figuur 16. Omdat scenario 5 voor het verhoogde verbruik niet tot een betrouwbare rekenresultaten leidde, is ook een vergelijking gemaakt van de totale berekende OLM op basis van drie scenario's. Op basis van de vergelijking van vier scenario's blijkt dat de mitigatiemaatregelen een aanzienlijke reductie opleveren van het risico (het berekende effect-OLM is een factor 3,6 hoger). Deze reductie is vooral toe te schrijven aan de risico's die samenhangen met de uitval van één filter, terwijl de andere filter in onderhoud is (zie ook het verschil in Figuur 13 tussen Scn05-basis en Scn05). Op basis van de drie scenario's die betrekking hebben op de volledige uitval van productielocatie Oosterbeek, blijkt dat toename van het verbruik op een piekdag met 20%, leidt tot een aanzienlijke toename van het risico (de OLM-B is een factor 4,3 hoger).



Figuur 16 De risicoscores (berekende OLM) voor de vier verschillende situaties, waarbij de pijlen het verschil aangeven tussen de situaties

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusie

Er is onderzocht of het mogelijk is om een aan de praktijk getoetste methodiek te ontwikkelen, voor het zo realistisch mogelijk berekenen van de impact van het falen van een component (zoals een put, zandfilter, reinwaterreservoir of HD-pompunit) op een productielocatie op de leveringsprestatie aan verbruikers, uitgedrukt in ondermaatse leveringsminuten (OLM-B). In 2021 heeft hiervoor een eerste verkenning plaatsgevonden, waaruit bleek dat dit in principe mogelijk was (Jong en Quintiliani, 2021). In dit proof of principle had een globale toetsing plaatsgevonden van faalgegevens van productielocatie Hoenderloo gecombineerd met leidingnetberekeningen op een vereenvoudigde versie van het leidingnet van Almere. In voorliggend onderzoek is deze toetsing uitgevoerd op een realistische situatie, namelijk productielocatie Oosterbeek en het bijbehorende leveringsgebied, en is de methodiek verder uitgewerkt. De conclusies na uitvoering van beide onderzoeken zijn hieronder weergegeven.

1. Door faalgegevens van de belangrijkste onderdelen van een productielocatie te vertalen naar uitvalscenario's van deze productielocatie, is het mogelijk om met een leidingnetberekeningsprogramma de leveringsonderbreking te bepalen als berekende OLM. Drinkwaterbedrijven kunnen hiermee een directe relatie leggen tussen het falen van een component en de mogelijke impact op specifieke klanten (welke klanten en hoeveel OLM). De OLM die in deze casus is berekend heeft een realistisch ogende waarde. Door verschillende situaties (afwezig zijn van mitigatiemaatregelen of een verhoogde watervraag) door te rekenen kan de impact van deze situaties op de OLM kwantitatief inzichtelijk worden gemaakt.
2. Deze kwantitatieve risicoberekening is daarmee een verdere ontwikkeling van de leveringszekerheidsanalyse, omdat naast de effecten van uitval ook de kans hierop wordt berekend in termen van OLM, op dit moment de belangrijkste prestatie-indicator voor assetmanagement.
3. De materie van kwantitatieve risicoanalyse en daarmee ook deze methodiek is relatief complex, wat wil zeggen dat het noodzakelijk is om een gestructureerde werkwijze te volgen en uitgangspunten vast te leggen en hierover afstemming te hebben met diverse verantwoordelijken⁶, die desgewenst nog verder kunnen worden uitgewerkt in een gestandaardiseerde methode.
4. Met oog op het vaststellen van faalgegevens van de elementaire onderdelen van een productielocatie, met name de MTBF en de MTTR, bleek dat hierover weinig onderbouwde kennis beschikbaar was. Om die reden zijn workshops georganiseerd met experts. Uit deze workshops kwam duidelijk naar voren dat de beschikbare kennis over falen nog rudimentair is en moeilijk toegankelijk is.
5. Voor de leidingnetberekeningsprogramma's is gebruik gemaakt van Epanet. Hierbij is een groot aantal berekeningen in parallel uitgevoerd. Inclusief pre- en postprocessing was het mogelijk om een scenario bestaande uit 480 simulaties van 24 uurwaarden uit te voeren in twee uur. Dit toont aan dat bij een efficiënte aansturing van modellen deze analyses binnen een aanvaardbare rekentijd is uit te voeren.
6. Om te komen tot zo realistisch mogelijke hydraulische berekeningen zijn in het door Vitens aangeleverde model reservoirs en pompen toegevoegd. Omdat het in de huidige versie van Epanet niet mogelijk is om

⁶ Concreet voorbeeld, bepaalt de modelleur wat de maatgevende maximum dag is of is dit onderdeel van gedragen bedrijfsbeleid?

frequentiegestuurde pompen te modeleren, is het niet mogelijk een geheel accurate hydraulische berekening te maken.

7. Met oog op de casus Oosterbeek kan worden geconcludeerd dat slechts een beperkt aantal faalgebeurtenissen zullen leiden tot gehele of gedeeltelijke uitval van de productielocatie. Van de vier geïdentificeerde uitvalscenario's betroffen er drie het overall falen (te weten uitval van de energievoorziening, de besturing en een niet-redundante ruwwaterleiding). Slechts in één geval betrof het uitval van een component (een falende filter, terwijl een andere filter in onderhoud is). In algemene zin kan gesteld worden dat de productielocatie betrouwbaar is (voldoende redundant en relatief lage faalfrequenties). Hoewel er nog geen normering is om dit als zodanig te waarderen. Verder geldt dat de mitigatiemaatregelen effectief bijdragen aan het reduceren van (het effect van) leveringsonderbrekingen. Daarentegen laten de berekeningen zien dat de leveringsonderbrekingen aanzienlijk zullen toenemen in geval de mitigatiemaatregel (het leveren door productielocatie Wageningen) niet kan worden ingezet of het waterverbruik op de maximum dag toeneemt met 20%. In beide gevallen neemt de berekende OLM toe met een factor vier.
8. De hier gepresenteerde methodiek kan worden ingezet om op eenduidige wijze een risicoprofiel op te stellen van een productielocatie, in combinatie met het bijbehorende voorzieningsgebied.

5.2 Discussie

In dit rapport is een methodiek beschreven die drinkwaterbedrijven helpt een directe relatie te leggen tussen het falen van een component en de mogelijke impact op specifieke klanten. De voorgestelde methode gaat uit van de kans op falen van een component en de configuratie van een productielocatie met een bepaalde redundantie. De methode bepaalt de effecten van falen op een bepaald moment in de tijd. De methode kan beschouwd worden als een doorontwikkeling van de huidige leveringszekerheidsanalyse en kan o.a. leiden tot een geoptimaliseerd ontwerp en een meer op risico's gebaseerd vervangings- en onderhoudsbeleid. Het effect van risicogestuurd onderhoud en redundantie op leveringsonderbrekingen kan hiermee worden berekend. Daarmee is het mogelijk investeringen te prioriteren of beleidsalternatieven of ontwerpvarianten te onderzoeken. De methodiek beschouwt het gehele systeem en kan drinkwaterbedrijven helpen met integrale systeemrisicoanalyses, waarbij de risicobijdrage van bijvoorbeeld verschillende productiestations of tussen transportleidingen en productie kan worden afgewogen.

Jong en Quintiliani (2021) hadden in de eerste fase van dit project tien aanbevelingen opgesteld⁷. Deze aanbevelingen, voorzien van een reactie vanuit de ervaringen van de tweede fase, zijn opgenomen in Tabel 6.

Tabel 6 Besprekingen van de aanbevelingen van Jong en Quintiliani (2021).

1. In overleg met assetmanagementspecialisten van de waterbedrijven bekijken op welke wijze de resultaten het best gepresenteerd kunnen worden.	De resultaten van de analyse zijn weergegeven in een risicoplot met op de x-as de gecorrigeerde faalkans en op de y-as de gemiddelde berekende effect-OLM.
2. De integratie van de bufferende werking van distributiereservoirs, meerdere productielocaties en koppelingen implementeren.	In deze casus zijn distributiereservoirs en koppelingen meegenomen, alsmede pompen zo nauwgezet mogelijk, als vaste toerenpompen, gemodelleerd.
3. Het omschrijven van de faalscenario's als normaalverdelingen van de MTTR en in simulaties incorporeren. De MTBF mag als constant verondersteld worden.	Vanwege de beperkte inzichten in faalgebeurtenissen is het niet mogelijk een normaalverdeling op te stellen van de MTTR. Er is wel gebruik gemaakt van een gewogen gemiddelde voor een "MTTR groot" die een grootschalig falen voorstelt en het niet tijdig inzetbaar hebben van

⁷ In paragraaf 2.2 zijn deze samengevat in 7 verbeterpunten.

	reserveonderdelen en een “MTTR klein” die het pragmatisch handelen voorstelt dat meestal optreedt in geval van een calamiteit.
4. Het opstellen van faalscenario's op basis van generieke beschrijving van componenten.	In werkgroepen van experts zijn generieke omschrijvingen opgesteld van de componenten. Deze kunnen ook in andere situaties worden toegepast.
5. Realistisch inschatten van MTTR en MTBF en opstellen van een zo volledig mogelijke lijst van falende elementen met hun effect op de restcapaciteit. Hiermee kan een overall-beeld van de verwachte OLM van bijvoorbeeld een productielocatie opgesteld worden, dus een analyse over alle storingsscenario's heen. Resultaat is de verwachte OLM (+ waarschijnlijkheidsverdeling) per tijdseenheid (bijvoorbeeld 1 jaar) voor alle mogelijke storingsscenario's.	In werkgroepen van experts zijn zo realistisch mogelijk inschattingen gemaakt van de MTTR en de MTBF. Experts gaven hierbij aan dat zij niet beschikken over voldoende praktijkgegevens en dat data over falen te beperkt voorhanden is om betrouwbare kwantitatieve uitspraken te doen. Op basis van de verzamelde gegevens over het faalgedrag is een OLM berekend die, naar het zich laat aanzien, van een betrouwbare ordegrrootte is van de te verwachte leveringsonderbreking. Omdat er voornamelijk gebruik is gemaakt van discrete waarden, is het eindresultaat niet als een waarschijnlijkheidsverdeling gepresenteerd.
6. Het modelleren van redundantie door toepassen van een foutenboom of een reliability Block Diagram (RBD).	Door de toepassing van de betrouwbaarheidsberekeningen (zie 4.1) is redundantie van de productie meegenomen in de berekening. Hiervoor is gebruik gemaakt van de rekenmethodiek die ook wordt gebruikt voor een RBD.
7. Het werken met een veranderende faalkans als gevolg van veroudering, tijdsafhankelijkheid integreren. Geschikt hiervoor kan een dynamische foutenboomanalyse zijn (Fault Maintenance Trees, dit zijn tijdsafhankelijk foutenbomen waarin onderhoud mee-gesimuleerd kan worden).	Het bepalen van het effect van veroudering van assets was niet mogelijk door beperkte beschikbare data over faalgedrag.
8. De toepassing van de systematiek voor verschillende perioden in het jaar of voor een vast te stellen referentieperiode, omdat verbruik/druk en dus OLM bij gegeven threshold afhankelijk is van gemiddelde dag of maxdag.	Bij de berekeningen zijn de uitvalscenario's toegepast op kritische referentieperioden. Hierover is overleg geweest met Vitens.
9. Onderzoek of en hoeveel simulaties noodzakelijk zijn voor een voldoende nauwkeurig resultaat.	Gebleken is dat leidingnetberekeningen op basis van uurwaarden een voldoende representatief beeld geven van een leveringsonderbreking.
10. Optimalisatie van de simulaties om rekentijd te beperken (de huidige rekentijd van 1 faalscenario bedraagt ongeveer 7 à 8 uur).	Door gebruik te maken van uurwaarden, in plaats van minuutwaarden (fase 1) is een aanzienlijke reductie bereikt van de rekentijd.

Zoals in Tabel 6 aangegeven bleek het niet eenvoudig om betrouwbare gegevens te verzamelen over het faalgedrag van componenten. In eerste instantie is een uitvraag opgesteld over de door bedrijven gebruikte informatiesystemen waaruit faalgedrag van componenten kan worden afgeleid (zie paragraaf 2.3). Dit bleek onvoldoende beschikbaar, zodat is besloten om gegevens te verkrijgen voor middel van expertworkshops. Ook in deze workshops bleek het moeilijk om vanuit een groep experts te komen tot door kennis gedragen consensus over waarden als de MTBF en de MTTR. Op basis van de aangedragen gegevens is door KWR, in samenspraak met Vitens een nadere kwantificering gegeven. Dit maakt duidelijk dat de elementaire informatie voor een analyse voor de betrouwbaarheid en beschikbaarheid van productielocaties nog grotendeels afwezig is.

Voor productielocatie Oosterbeek bleek dat, op basis van de geschatte faalgegevens en de aanwezige redundantie, alleen het falen van een filter, waarbij een andere filter in onderhoud is, en er dus nog maar één in bedrijf is, het grootste effect heeft op de levering. Daarnaast hebben uitvalscenario's die betrekking hebben op het functioneren van de gehele productielocatie, te weten de elektriciteitsvoorziening (inclusief back-up), de besturing en kritische terreinleidingen, een groot effect op de levering. Vitens kan met dit gegeven een (voorlopige) prioritering aanbrengen in het onderhoudsbeleid.

Met oog op het uitvoeren van de hydraulische berekeningen met Epanet bleek dat sommige uitvalscenario's betrekking hebben op lange perioden van uitval (een MTTR van dagen of soms maanden). Om dit betrouwbaar door te kunnen rekenen, moet een langere rekenperiode worden aangehouden dan de 120 uur in deze analyse. In dat geval zullen ook verbruiken over een lange tijd beschikbaar moeten zijn, waarbij de rekenperiode ook verbruiken zal hebben die aanzienlijk lager zijn dan de maatgevende maximum dag. De vraag is echter of deze langdurige analyses meerwaarde opleveren. Omdat het verbruik in die lange periode in de regel zal afnemen, zal ook de berekende OLM verminderen. Een andere benadering is om eerst een 24 uur berekening uit te voeren voor een uitvalscenario op de referentiedag. Als de voorraad in de reinwaterreservoirs na 24 uur weer is aangevuld, zal de OLM in de daaropvolgende dag kleiner zijn. Er kan dan besloten worden om in de periode van uitval een selectie van de dagen door te rekenen waarover uitval plaatsvindt.

Vitens leverde een hydraulisch model aan met positieve en negatieve uurpatronen op uurbasis. De positieve uurpatronen hadden betrekking op alle verbruiken en op de gemeten volumestromen van de instroom in het reservoir. De negatieve patronen hadden betrekking op de gemeten volumestromen op de pompen. Met een dergelijke aanpak is het alleen mogelijk om een situatie uit het verleden te reproduceren. De berekeningen in dit project betroffen scenario's op basis van hypothetische randvoorwaarden. Hiervoor zijn metingen niet of beperkt bruikbaar en is het noodzakelijk het leidingnet zo exact mogelijk te modelleren, dus inclusief reservoir, pompen (en pompschakelingen) en de aanwezige drukreducerafsluiters. Voor de pompen was dit beperkt mogelijk omdat in het leveringsgebied toerengeregelde pompen aanwezig zijn en het met Epanet niet mogelijk is dergelijke pompen te modelleren. Om die reden zijn zogenaamde vaste pompkrommen gehanteerd. Hiermee kan de berekende uitgaande druk afwijken van wat daadwerkelijk zal optreden. Deze afwijking zal ook betrekking hebben op de druk bij verbruikers en invloed hebben op de randvoorwaarde van levering, te weten de drukgrens van 5 mwk ten opzichte van het maaiveld. Het moeten inzetten van vaste pompkrommen leidt in sommige gevallen in het model tot grote drukschommelingen bij het af en aanschakelen van deze pompen. Verder dient opgemerkt te worden dat de aangeleverde pompkrommen dateren uit 2002 voor productielocatie Oosterbeek 1997 voor reservoir Doorwerth. Er is geen informatie verkregen of het gedrag van de pompen nog steeds overeenkomt met deze pompkrommen. Dit kan leiden tot afwijkingen in de berekende OLM's.

Op basis van de in dit onderzoek uitgewerkte analyse is een vergelijkingsmaatstaf ontwikkeld, de berekende OLM, waarmee het mogelijk is een onderlinge vergelijking uit te voeren scenario's (zoals het afwezig zijn van mitigatiemaatregelen of een verhoogde watervraag), voor een productielocatie die componenten te identificeren die de hoogste kans hebben op een eventuele leveringsonderbreking en kunnen productielocaties onderling worden vergeleken. In hoeverre de uiteindelijk berekende waarde (een berekende OLM van 3,86 minuten op jaarbasis) overeenkomt met daadwerkelijk geregistreerde OLM zal moeten blijken, bijvoorbeeld door een vergelijking uit te voeren met geregistreerde OLM als gevolg van uitval van productielocaties.

Het onderling vergelijken van kans- en effectscores is lastig. Het is mogelijk risicoscores op te tellen van verschillende scenario's, deze zijn gerelateerd aan een berekende OLM. Het onafhankelijk optellen van kans- of effectscores van scenario's leidt tot een onjuiste voorstelling van zaken. Er is hier een voorstel gedaan voor een normalisatie. Het vergelijken van verschillende risicoprofielen blijft echter lastig en verdient een nadere uitwerking.

5.3 Aanbevelingen

Drinkwaterbedrijven wordt aanbevolen:

1. de beschreven methode voor het uitvoeren van een beschikbaarheidsanalyse van een productielocatie in samenhang met het betreffende leidingnet in de praktijk toe te passen en door te ontwikkelen, om te beginnen bij leveringsgebieden die door één productielocatie worden gevoed;
2. hierbij een multidisciplinaire aanpak te kiezen aangezien voor een goede uitvoering van deze analyse diverse specialismen zijn vereist (denk aan reliability engineering, onderhoudsmanagement, hydraulisch modelleren, beheer leidingnet);
3. gestructureerd faalgegevens te verzamelen van de belangrijkste componenten van productielocaties, deze te toetsen met andere bedrijven en zo veel mogelijk te werken met gestandaardiseerde faalscenario's;
4. een hernieuwde berekening uit te voeren waarbij de MTBF van de gekozen scenario's kleiner wordt genomen dan hier gehanteerd, om zo de gevoeligheid voor veroudering van een productielocatie te simuleren;
5. verdere stappen te nemen in het gebruik van leidingnetmodellen waarbij pompen, reservoirs en instellingen (controls) realistisch zijn gemodelleerd om daarmee betrouwbare scenariostudies uit te voeren;
6. een vergelijking uit te voeren tussen de hier berekende OLM en de geregistreerde OLM's als gevolg van geheel of gedeeltelijke uitval van productielocaties;
7. beleid op te stellen over randvoorwaarden die in deze analyse zijn gebruikt, waarbij valt te denken aan:
 - o maatgevende maximum dagen;
 - o de omvang en de tijd van inzet van mitigerende maatregelen;
 - o de duur van het in onderhoud zijn van componenten.

Vitens wordt aanbevolen:

1. de resultaten voor de casus Oosterbeek op eigen systemen te reproduceren en vervolgens te analyseren voor wat betreft de impact op risico- en onderhoudsmanagement;
2. het belang te wegen van de mitigatiemaatregel om water te leveren vanuit Wageningen, met oog op de duur tot inzet en de te leveren volumestroom;
3. het belang te wegen van een toename van het verbruik op de beschikbaarheid van een productielocatie.

Ter verbetering van de methodiek wordt aanbevolen:

1. na te gaan wat de mogelijkheden zijn om kennisuitwisseling te bevorderen over het functioneren/falen van belangrijke componenten van productielocaties (denk aan putten, filters, kelders, pompstations, etc);
2. in de Praktijkcodes Drinkwater naast technologische aspecten verder aandacht te besteden aan dominante faalwijzen en inspectiemethoden;
3. na te gaan hoe Epanet (of een ander hydraulisch rekenpakket) kan worden verbeterd om ook toerengeregelde pompen realistisch te modelleren.

6 Referenties

Beuken, Ralph, Anne Mathilde Hummelen en Stef Koop (2019): Assetmanagement: volwassenheid en kennisbehoefte, Volwassenheidsmeting, BTO 2019.208(s), KWR Water Research Institute, Nieuwegein.

Hamed A. (2017): Het schakelplan Pb Oosterbeek, 03 mei 2017, Vitens.

Jong, R.C.M. en C. Quintiliani (2021): Risicobedoelings-methodiek falen productielocaties op basis van OLM, Proof of principle, BTO 2021.046, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.

Meerkerk, M.A. en P.J.J.G. Geudens (2021): OLM in de benchmark; Definities OLM en beschrijving spreadsheet 'OLM formulier.xlsm', PCD 20: 2021, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.

Rijkswaterstaat (2018): Handreiking prestatiegestuurde risicoanalyses (PRA), Sturen op prestaties van systemen Publicatienummer 5333, Versie 1.0.1, <https://wiewatwater.nl/act/risicoanalyse/handreiking-prestatiegestuurde-risicoanalyses-pra-sturen-op-prestaties-systemen/attachment/handreiking-pra> .

Vries, D., C.M. Agudelo-Vera, J.R.G. van Summeren (2014): Systematiek voor integrale analyse van de drinkwaterketen ten behoeve van assetmanagement, BTO 2014.049, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

Wols, B.A., C. Bertelkamp en R.H.S. Beuken (2017): Risico's en risicobedoelingsmethodieken voor zuiveringsinstallaties, BTO 2017.032 KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

I Inventarisatie tools betrouwbaarheidsanalyses

Voorgelegde vragen:

- Het type tool.
- De leverancier van de tool.
- Of het een “plug and play” tool of dat zijn onderdelen zelf zijn ontwikkeld.
- Vanaf welk jaar is de tool in gebruik is.
- Voor welke taken/onderzoeken de tool binnen het bedrijf gebruikt wordt.
- Hoe de ervaringen zijn met deze tool.
- Of de tool voldoende nauwkeurig is voor het beoogde doel.
- Of er uitbreidingen/aanpassingen in voorbereiding zijn.
- Welke data in de tool gebruikt wordt.
- Op welke wijze deze data gegenereerd wordt

Inventarisatie specialistische reliability tools en databases					
Versie 2022-04-01 Ron Jong					
	Brabant Water / Roland van Son			Oasen / Robert Groenendijk	
Type tool	Amprover	Model Mooi	Bow-tie	Optimizer+	Onderhoudsbeheerssysteem Ultimo
Leverancier	Mainovation/Traduco	Interne medewerker (Roel Diemel)	Niet bekend	Wonderware Benelux	Ultimo
Plug and play of onderdelen zelf ontwikkeld	Plug an play	Geheel binnen Brabant Water ontwikkeld	Plug and play	Plug and play	In de basis plug and play, maar inmiddels hebben we wel zelf enkele functionaliteiten ontwikkeld
Vanaf welk jaar in gebruik	2020	Jaren geleden	Wordt niet meer actief gebruikt	2015?	2017
Voor welke taken/onderzoeken wordt de tool binnen het bedrijf gebruikt	FMECA en RBD	Varianten studies optimale vervangingsmoment	Scenario tool voor risico's hierbij worden de barrières in beeld gebracht.	Voor het doen van risicostudies (FMECA)	Voor elke vorm van onderhoud is het nodig om deze middelen een tooling te faciliteren. Binnen Oasen is er gekozen voor Ultimo als het pakket waarin: - Alle assets die onderhoud behoeven zijn vastgelegd; - Hiermee wordt bedoeld: - Assets welke onderhoud behoeven; - Assets waarbij de noodzaak leeft om storingen van te registreren - Assets welke risicovol zijn in het proces (volgt uit een FMECA); - Assets welke een hoge vervangingswaarde hebben of grote hoeveelheid van dezelfde soort assets (bijv. 1 grote pomp vs alle verlichting op een locatie). - Per asset een hoeveelheid basisgegevens; - Per asset zowel de inspectie, onderhouds- als storingshistorie vastgelegd - Per asset de onderhoudsactiviteiten met hun frequentie is vastgelegd - Per asset is vastgelegd wanneer deze vervangen moet worden incl. de bijbehorende kosten (MIOP)
Hoe zijn de ervaringen met deze tool	We zijn nog in ontwikkeling. Er zijn voordelen en nadelen.	Positief, Het ontbreekt nog wel aan een goede handleiding en voorbeelden.	Te kort gebruikt om daadwerkelijk in te ontwikkelen	Ingewikkelde tool. Zonder nauwkeurige data kan je weinig met de tool	Zeer goed.
Is de tool voldoende nauwkeurig voor het beoogde zijn doel	Wel voor werktuigbouwkundige componenten niet voor E&PA installaties	Uitstekend	Voldoende	Op dit moment hebben wij niet eigen faaldata	De tooling is voldoende nauwkeurig. Het gaat met name om de data
Hoe is het vertrouwen in de tool ten opzichte van ervaringen van direct betrokkenen?	Redelijk	Goed	Goed	Prima.	Na een lange aanloopperiode goed.
Zijn er uitbreidingen/aanpassingen in voorbereiding	Tool wordt in 2022 aangehouden en verder gevuld.	Niet nodig (voor zover bekend)	Niet bekend	Nee	Ja. We zijn in staat om eigen functionaliteiten in het systeem te bouwen
Welke data wordt gebruikt in de tool	MTTR, MTBF, SAP structuur, faalvormen	Capex opex, risicokosten, risicomatrix	Ervaringscijfers, risicoinschattingen, risicomatrix, kansen en effectwaarden	MTTR en MTBF data wordt gebruikt in de tool	Allerlei data welke een raakvlak hebben met onderhoud en beheer
Hoe wordt deze data gegenereerd	Externe data bases, interne data bases, expertise medewerkers	Calculaties, Capex Royal Haskoning DHV tool	Sessies	Op dit moment hebben wij geen eigen data dus zijn wij aangehaakt bij een algemene bibliotheek. Wij toetsen deze data wel eens met onze eigen ervaringen.	In Ultimo wordt geen data gegenereerd, maar wordt data ingevoerd waarna je allerlei analyses kan maken.
Ervaring met andere tools	Powersuite van CMS, Excel	Excel	Nee	Met Excel kan je hetzelfde doel bereiken en werkt soms gebruiksvriendelijker	Ik persoonlijk wel, Planon en Maximo

WML / Geert Linssen	Vitens / Peter Drolenga		PWN / Arian Boesveld	WbGr / Bernard Enthoven
Powersuite	Optimizer+	Event mapping	Geen In SAP PM wordt de configuratie geregistreerd. De documentatie in tool Meridian.	Optimizer+ HAZOP
Pragma (voorheen CMS-Assetmanagement)		CoThink RATIO-methode		AVEVA Excel
Voornamelijk Plug and play. Enkele conversiescripts zelf ontwikkeld om data om te kunnen zetten in SAP.				Plug&play; koppeling met Infor EAM
2012	Niet actief in gebruik	2019		2014
Opstellen van FMECA's. Beheren van onderhoudsconcept.	Op onze SharePoint-pagina vind ik diverse documenten omtrent de tool 'Optimizer', maar volgens mij wordt deze niet (actief) gebruikt binnen Vitens. We gaan in de toekomst wel werken met zo'n soort tool verwacht ik. Op dit moment zijn we bezig met het implementeren van het nieuwe onderhoudsbeleid, waarbij we het onderhoud willen onderbouwen met FMECA's. Uiteindelijk is een bruikbare tool hiervoor noodzakelijk.	Event Mapping wordt gebruikt om een Root Cause Analyse bij grote storingen uit te voeren. Inmiddels hebben we zo'n 30 incidenten op deze manier geëvalueerd. Daarnaast hebben we IBI (=Investeringsprognose Bovengrondse Infra). Deze tool gebruiken we om op basis van conditiemetingen het investeringsmoment van modules (zoals winput of filter) te voorspellen. Beide tools zijn niet geschikt voor het genereren van bv. MTBF'en of MTTR'en. Uiteraard hebben we wel storingsdata etc. tot onze beschikking.		Functionele decompositie: ontwerpen/onderhouden: upload en download compatibiliteit met EAM-db Risico matrix FMECA Beschikbaarheidsanalyse Levenscyclusanalyse en Onderhoudsoptimalisatie: afweging beschikbaarheid <-> GAO, TAO, SAO, Redundantie <-> kosten; omvat alternatieven afweging Uitermate geschikt voor de ontwerpfase en het beoordelen van wijzigingen
OK, alleen niet geschikt voor opstellen van Reliability block diagrams.				Goed Vereist regelmatig gebruik door reliability engineer cq ondersteuning door consultant Vereist een EAM database
Ja				? Onbekend
OK, er zijn wel maar een stuk of 5 kerngebruikers.				Goed
Is constant in ontwikkeling. Ook op ingave van klantgebruik.				nee
Assetregister uit boomstructuur vanuit SAP, Risicomatrix, faaldata, kosten etc.				Risico matrix: bedrijfswaarden en acceptatie grenzen: dit komt uit het SAMP P&ID & Faalmechanisme Opbouw van elementen: Faalmechanisme MTBF en MTTR en hun kansverdelingen
Wordt voornamelijk handmatig ingegeven en bepaald op basis van expert-judgement. Wel eenvoudige mogelijkheid om generieke data in te voeren voor assets.				Risico matrix: bedrijfswaarden en acceptatie grenzen: dit komt uit het SAMP P&ID & Faalmechanisme: komt uit het ontwerpproces Opbouw van elementen: Faalmechanisme: kennis en kunde MTBF en MTTR: ervaringen in combinatie met data-analyse
Niet zelf. Wel een pilot uitgevoerd met firma NRG waarin een beschikbaarheidsmodel is opgesteld voor een pompstation. Hiervan hebben we echter alleen de uitkomsten gekregen en niet de software			Bij nieuwe of gewijzigde installaties wordt, bij behoefte, een RCM analyse uitgevoerd. Deze wordt gedaan in Excel. Op basis hiervan worden de beheeracties vastgesteld en beschreven. Preventieve onderhoudsplannen worden in SAP PM aangemaakt met een verwijzing naar taakkaarten.	nee

II Verzamelen storingsdata productielocatie

Voor het opstellen van de beschikbaarheid van Vitens Pb Oosterbeek, is detail info nodig over de beschikbaarheid van de componenten winputten, snelfilters, reinwaterreservoirs en HD-pompen, alsmede van de productielocatie in zijn geheel. Tijdens drie workshops met experts van drinkwaterbedrijven is per component een overzicht gemaakt van de belangrijkste onderdelen, de meest voorkomende storingstypen en zijn waarden bepaald voor de MTBF en MTTR. Tevens is gepoogd een inschatting te maken van de spreiding (standaarddeviatie) voor de MTBF en MTTR. Gepoogd is om kennis over het functioneren van de componenten te baseren op zo breed mogelijk aanwezige kennis bij drinkwaterbedrijven en deze zo goed mogelijk van toepassing te laten zijn op de specifieke situatie van productielocatie Oosterbeek.

De workshops vonden plaats op:

1. 22 november 2021 Het element winput
2. 20 december 2021 De elementen HD pomp en reservoir
3. 24 januari 2022 De elementen marmerfilter en productiebedrijf

Deelnemers aan de workshops waren (in wisselende samenstelling):

- Vitens Peter Drolenga, Ayoub Elbanay, Ruud Krab, Jerry Bilderbeek
- WML Geert Linssen
- Oasen Robbert Groenendijk, Guido Kersten
- WbGroningen Bernard Enthoven, Sjoerd Rijpkema
- Brabant Water Roland van Son, Nino Wouters
- Dunea Patrick Reniers, Anton Ammerlaan
- PWN Arian Boesveld, Eric de Vos, Gerhard Coetzee, Tim Beemster
- KWR Ralph Beuken, Ron Jong en Eric Broers

In de volgende paragrafen worden de opbrengsten van deze workshops beschreven.

II.I Storingsdata winput

Op 22 november 2021 is tijdens een online workshop eerst gestart met de decompositie van het component winput. De systeemgrenzen van het element winput zijn gedefinieerd: van de boorgatwand tot aan de muurdoorvoer (incl. terreinleiding). Als belangrijkste elementen van een winput zijn gedefinieerd:

1. Filter omstorting
2. Winput met filterbuis
3. (Onderwater)pomp
4. Stijgbuis
5. Terugslagklep
6. Kwaliteitsprobleem ondergrond
7. Kwantiteitsprobleem ondergrond
8. E&PA storing (kan leiden tot problemen winveld, buiten beschouwing)
9. Luchtfilter
10. Bronkop (incl. wartel), afdichting
11. Meetapparatuur (volumestroom, druk)

12. Inbraakbeveiliging
13. Water op de vloer alarm

Tijdens de workshop zijn de meest voorkomende storingsmogelijkheden van de elementen van de winput doorgenomen en is daarvan de MTBF en MTTR bepaald op basis van storing gegevens en aanwezige expert kennis. Door de experts is vastgesteld dat je mechanische verstopping ziet aankomen en dat dit niet tot een storing gerekend mag worden. Kwantiteitsprobleem in de ondergrond zijn niet van toepassing in Oosterbeek, meestal is er geen filter aanwezig bij Vitens, met de bronkop zijn geen problemen bekend en meetapparatuur kan wel probleem geven maar genereert vaak geen storing. De storingsdata is weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7 Storingsdata winput

Storingstype	MTBF [jaar]	MTTR/ quick repair [uur]	Herkomst MTBF en MTTR	Verdeling/variatie MTBF of MTTR?	Bijzonderheden
Zandlevering vanuit filter omstorting	Onbekend	504	Vitens		Kun je oplappen, kan ook niet-repareerbaar zijn
Chemische Verstopping filter winput	20 jr	168 (of langer bij tekort aannemer)	Vitens	MTBF: 4-5 jr (grote onzekerheid)	Wordt gemonitord. Als je te laat bent, kan blijvend falen optreden. In 20 jaar 12 keer voor 9 putten
Falen onderwaterpomp	38 jaar	96 (bij reserve op plank) + 72 wachttijd op biologisch monster/72	BW		Er zijn pompen op voorraad, vaak niet de goede. Vitens eigen revisie, dus vaak een reserve snel klaar, alleen een nieuwe motor kost veel tijd. Bij calamiteit nemen we bij geen reserve een net ander pomp.
Scheur in filter+stijgbuis (PVC)	1250	EOL winput (8760)	PWN		Niet in Oosterbeek, komt voor bij bijv. verkeerd productieproces PVC
Terugslagklep onderwaterpomp blijft hangen	10	96	Vitens		Bij calamiteiten niet altijd uit bedrijf
Lokale verontreiniging winveld (1 put)	50	EOL winput (8760)	KWR		Rekenvoorbeeld, is niet aan de orde in Oosterbeek

II.II Storingsdata reinwaterreservoir

Op 20 december 2021 is tijdens de tweede online workshop een decompositie gemaakt van het component reinwaterreservoir. Als elementen van een reservoir zijn door de deskundigen gedefinieerd:

1. Betonnen constructie
2. Inlaat
3. Uitlaat
4. Niveaupnemers (regulier en alarm)
5. Afsluiters
6. Toegang (deur, bordes)
7. Ventilatie
8. Lekbeveiliging?
9. Overstortleiding
10. Omloopleiding
11. Zuigkuil
12. Gronddek
13. Fundatie

14. Doorvoeren star-flexibel

Tijdens de workshop zijn de meest voorkomende storingsmogelijkheden van de elementen van het reservoir doorgenomen en is daarvan de MTBF en MTTR bepaald op basis van storing gegevens en aanwezige expert kennis. De binnendringing van vervuiling wordt als enige relevante storingstype gezien te worden. Hieraan kunnen twee typen oorzaken ten grondslag liggen (zie ook Tabel 8):

- constructief falen veroorzaakt door:
 - scheuren (dak, muur, bodem, dilatatievoeg)
 - roesten wapening, rafeling
 - lekken muurdoorvoer (leiding en opnemers)
- beheerfouten, veroorzaakt door:
 - binnendringen vuil via een ventilatie opening
 - terugstromen water vanuit overstortleiding
 - ongedierte
 - lekkende afsluiter, terugloop water van filter
 - inbraak, ongeoorloofde entree

Tabel 8 Storingsdata reinwaterreservoir

	MTBF [jaar]	MTTR/ quick repair [uur]	Herkomst MTBF en MTTR	Verdeling/variatie MTBF of MTTR?	Bijzonderheden
Binnendringen besmetting					
Bij constructief falen	100	2160/24	Compromis	50% (MTBF)	
Bij eenvoudige besmetting	100	120/2	Compromis	50% (MTBF)	Sedimentvorming, biofilm, nagroei

Uitgangspunt bij de MTBF en MTTR in Tabel 8 is, is dat eens per 5 jaar een inspectie die wordt uitgevoerd die 1 week duurt. Het kan voorkomen dat gedurende dit onderhoud een ander reservoir faalt.

II.III Storingsdata HD pomp

Op 20 december 2021 is tijdens de tweede online workshop een decompositie gemaakt van het component HD (hoge druk) pompen. Als elementen van een HD-pompen zijn door de deskundigen gedefinieerd:

1. Pomphuis
2. Waaier
3. Elektromotor
4. Lager/mechanical seal
5. Frequentieomvormer
6. Terugslagklep
7. Afsluiters
8. P/Q meters
9. Elektriciteit

Tijdens de workshop zijn de meest voorkomende storingsmogelijkheden van de elementen van de HD-pompen doorgenomen en is daarvan de MTBF en MTTR bepaald op basis van storing gegevens en aanwezige expert kennis.

Bij storingen van elementen als de mechanical seal, het lager en de terugslagklep blijft de pomp in bedrijf en zal de storing niet tot verstoring leiden. De oorzaak van de storingen zijn vaak niet duidelijk vast te stellen, er zijn echter wel getallen beschikbaar waarmee gerekend kan worden, zie Tabel 9.

Tabel 9 Storingsdata HD pomp

	MTBF [jaar]	MTTR/ quick repair [uur]	Herkomst MTBF en MTTR	Verdeling/variantie MTBF of MTTR?	Bijzonderheden
Vervangen complete pomp	50	5400/24	Vitens	MTTR 3 maanden	
Wikkelen elektromotor	20	720/24	Vitens		Of waaier
Vervangen FO ¹	14	708/24	PWN	45 weken	In geval van storing, vervangen FO bij onderhoud telt niet mee

¹ De storingsdata van het vervangen van de FO is door PWN aangeleverd. In 2011 zijn van 101 HD pompen 7 FO's uitgevallen. Dat is gemiddeld eens per 14 jaar (101/7/jaar) reparatie kost tussen de paar weken en 1,5 maand (tussen de 336 en 1080, 708 uur gemiddeld)

II.IV Storingsdata marmerfilter

De laatste workshop vond online plaats op 24 januari 2022. Op productielocatie Oosterbeek maakt men gebruik van marmerfilters, met marmer als filtermateriaal. Als elementen van een marmerfilter zijn door de deskundigen gedefinieerd:

1. Filterketel
2. Doppenbodem
3. Afsluiters
4. Spoelvoorziening
5. Marmer vulinstallatie (handmatig)
6. Niveaumeter
7. PA

De marmer vulinstallatie wordt handmatig bediend en zal niet snel tot een storing leiden, de installatie kan ook een paar weken gemist worden, waarbij de filterbed hoogte verder zal afnemen dan gebruikelijk. Verstopping van de filterbodem, doorslaan van een filter (ijzer, mangaan of ammonium) zullen geen storing veroorzaken en worden gezien als achterstallig onderhoud.

Door PWN en WbG (Tabel 10) is het volgende uitgezocht aangaande storingsregistraties van zandfilters, waarbij enige vergelijkbaarheid is met de marmerfilters van Oosterbeek:

- PWN: Afsluiter storingen
Deze zijn meestal verantwoordelijk voor het vastlopen van het spoelprogramma, in 14 jaar 20 storingen op een populatie van 66 zandfilters. Dat houdt in 0,02 storingen per filter per jaar, een MTBF van 50 jaar. Gemiddelde reparatietijd is 1 dag (MTTR).
- PWN: Spoelpomp storingen
In 14 jaar 9 storingen op een populatie van 9 pompen. Dat houdt in 0,07 storing per pomp per jaar, een MTBF van 14 jaar. De gemiddelde MTTR betreft 3 dagen.
- PWN: Spoelluchtblowers storingen
In 14 jaar 5 storingen op een populatie van 9 blowers, dat houdt in 0,04 storingen per blower per jaar, een MTBF van 25 jaar. De gemiddelde MTTR betreft 3 dagen.

Tabel 10 WbG: De top 5 storingen van een snelfilter (is op marmervulinstallatie na gelijk aan een marmerfilter)

	MTBF (jaar)	MTTR (dag)	MTTR (dag)
		Indien op voorraad in huis/leverancier	Indien niet op voorraad
Afsluiter storing	10-15	0.5	90
Uitval meetapparatuur/regeling, niveau	7	0.5	21
Spoelluchtpomp en/of blower valt uit: enkelvoudig uitgevoerd	15-20	3	90
Lekkage filterketel tgv roest (start met loslaten coating)	15-20 (1 ^{ste} keer; daarna elke 5 jaar)	7	
Storing marmervulinstallatie, is handmatig	?		

De waarden in Tabel 11 zijn gebaseerd op info van WbG (Tabel 10) en PWN en aangevuld met indicatieve getallen van KWR.

Tabel 11 Storingsdata marmerfilter

	MTBF [jaar]	MTTR/quick repair [uur]	Herkomst MTBF en MTTR	Verdeling/variatie MTBF of MTTR?	Bijzonderheden
Uitval meetapparatuur	7	294	WbG	MTTR 0,5–21 dagen	Storing niveau regeling
Afsluiter storing	12.5	1080	PWN/WbG	MTTR 0,5–90 dagen	
Spoellucht pomp of blower valt uit	17,5	1116	PWN/WbG	MTTR 3-90 dagen	Hangt wel heel sterk van oorzaak storing af
Lekkage filterketel	17,5	168	WbG	MTBF 15-20 jaar	Start met loslaten coating, is eigenlijk achterstallig onderhoud
Technisch probleem	3	24	KWR		Bijvoorbeeld PA storing
Bacteriologische besmetting	10	120/72	KWR		

II.V Storingsdata gehele productielocatie

Tijdens de workshop van 24 januari 2022 zijn ook storingen in kaart gebracht die invloed hebben op de hele productielocatie. Rampen zijn hierbij buiten beschouwing gelaten (VEWIN normen, externe hazards) en een overschrijding van waterkwaliteitsnormen leidt in de praktijk meestal niet tot een onderbreking van de drinkwaterlevering. Een kookadvies dat afgegeven kan worden bij een bacteriologische besmetting komt wel eens voor, maar leidt niet tot een onderbreking van de waterlevering. Verder is uitval van de stuurlichtvoorziening niet beschouwd. Dit komt wel voor maar door de relatief lage kosten hiervan is deze meestal zo redundant uitgevoerd dat dit niet leidt tot een storing.

De meest voorkomende storingsmogelijkheden die een gehele productielocatie stil kunnen leggen, zijn:

- Uitval energievoorziening in combinatie met een NSA die niet of te laat opstart
- Uitval besturing/PA/ICT
- Leidingbreuk in het productiebedrijf of breuk in en terreinleiding

Door PWN is uitgezocht hoe vaak uitval van de energievoorziening optreedt.

Bij PWN bestaat de voeding uit Hoog- (HS) en LaagSpanning. (LS), als het energievoorziening betreft is het antwoord gericht op HS. De kans op deze storing bestaat, maar deze is behoorlijk klein. Reëel is dat eens per 5 jaar de spanning van Liander wegvalt en dat 1 op de 4 keer de noodstroom niet direct bijkomt. Dan komt het eens per 20 jaar voor, maar als de interval in beide situaties iets groter is (8 om 6) dan kan de MTBF ook zomaar eens in de 50 jaar zijn. Bijbehorende MTTR: (wetende dat de hoofdennergievoorziening bij Liander ligt) kan per productielocatie en gebeurtenis erg verschillen. Dit kan variëren van enkele uren bij een meer standaard storing tot enkele dagen bij een uitzonderlijke storing zoals deze bij WPJ kan voorkomen. Het is dan waarschijnlijker dat WPJ op noodstroom bedrijf gaat en hierbij zal het ook enkele uren duren voordat een bedrijfsvoerder dit in gang heeft gezet als automatisch stagneert.

Storingsinfo van WbG is samengevat in Tabel 12.

Tabel 12 WbG: De top 4 productiebedrijf storingen (overall)

	MTBF	MTTR (dag)	MTTR(dag)
Uitval energie- voorziening en NSA komt niet/laten in	15-20	2	90
Uitval besturing/PA/ICT	15-20	2	30
Leidingbreuk in productiebedrijf	50-75	7	90
Uitval stuurlucht (is deze dubbel uitgevoerd?)	15-20	3	60

De waarden in Tabel 13 zijn gebaseerd op info van WbG (Tabel 12), PWN en aanvullende mindeling verstrekte informatie van Vitens.

Tabel 13 Storingsdata productiebedrijf

	MTBF (jaar)	MTTR/ quick repair (uur)	Herkomst MTBF en MTTR	Verdeling/variatie MTBF of MTTR?	Bijzonderheden
Uitval energie voorziening	17,5	48 / 2	WbG/PWN	MTTR 2-90 dagen	NSA komt niet in
Uitval besturing	17,5	6 / 2	WbG/ Vitens	MTTR 0,25-30 dagen	PA/ICT (bij Vitens MTTR max 8 uur)
Leidingbreuk in Pb of op terrein	38	96 / 12	WbG/ Vitens	MTTR 4-90 dagen	

III Betrouwbaarheid productielocatie Oosterbeek

Betrouwbaarheid is de kans dat een systeem of een onderdeel daarvan gedurende een bepaalde periode zonder falen zijn functie vervult, onder gegeven omstandigheden. Betrouwbaarheid is een waarde tussen 1 en 0, waarbij een 1 aangeeft dat de functie altijd geleverd kan worden en een 0 dat deze nooit geleverd kan worden. Bij een verouderend systeem zal in de betrouwbaarheid afnemen gedurende de tijd.

Per component is de betrouwbaarheid berekend door gebruik te maken van de MTBF van belangrijkste faalgebeurtenissen zoals weergegeven in Bijlage II.

De betrouwbaarheid op componentniveau is bepaald door eerst de betrouwbaarheid te berekenen die samenhangt met de belangrijkste faalmechanismen. Vervolgens zijn de verschillende betrouwbaarheden per faalmechanismen geaggregeerd tot een betrouwbaarheid per component. Hierbij de volgende formules gebruikt.

$$R_f = 1 - \left(\frac{1}{MTBF}\right) \quad (\text{Vergelijking 5})$$

$$R_c = \prod_{i=1}^n R_{fi} \quad (\text{Vergelijking 6})$$

Waarin: R_f : de betrouwbaarheid per faalmechanisme
 $MTBF$: de mean time between failures, per faalmechanisme
 R_c : de betrouwbaarheid component
 n : het aantal beschouwde faalmechanismen

De beschikbaarheid van een systeem dat bestaat uit een aantal parallel geplaatste componenten en waarbij rekening wordt gehouden van de gelijktijdige uitval van meerdere componenten, wordt berekend met onderstaande formule (ook wel de m-out-of-n-redundancy formule genaamd).

$$R_s = \sum_{k=m}^n \frac{n!}{k!(n-k)!} (R_c)^k (1 - R_c)^{(n-k)} \quad (\text{Vergelijking 7})$$

Waarin: R_s : de betrouwbaarheid op systeemniveau
 n : het aantal in parallel geplaatste componenten
 m : het aantal componenten dat beschikbaar moet zijn
 R_c : de betrouwbaarheid op componentniveau

Voor de faalscenario's die betrekking hebben op uitval van de gehele productielocatie geldt dat de betrouwbaarheid van de faalgebeurtenis gelijk is aan de betrouwbaarheid van het gehele systeem (productielocatie).

Op basis van bovenstaande uitgangspunten is de betrouwbaarheid bepaald, zie Tabel 4. Voor de onderliggende berekeningen wordt verwezen naar Figuur 17 tot en met Figuur 20.

[illegible]

Figuur 17 Systeembeschikbaarheid als gevolg van de uitval van putten

Filters		Afsluit storing	Meet en regelapparatuur	Spoellicht pomp of	Lekkage filterketel	Bacteriologische			
	MTBF	12,5	7	17,5	17,5	10			
	Betrouwbaarheid per faalgeb.	0,9200	0,8571	0,9429	0,9429	0,9000			
	Betrouwbaarheid per component	0,63092152							
		Falen	capaciteit	250 m3/h	3 filters	stap	3	2	1
		Betr. systeem	MTBF agr (j	Jaalkans (n/jaar)					
	Faalkans meerdere filters	3	0	19,9			1	3	3
		2	0,69189417	250	3,25		1	3	
		1	0,25114585	500	1,34	0,7489	1		
								0,251145855	0,146916104
								0,251145855	0,146916104
								0,251145855	0,085943

Figuur 18 Systeembeschikbaarheid als gevolg van de uitval van filters

[illegible]

Figuur 19 Systeembeschikbaarheid als gevolg van de uitval van reinwaterreservoirs

HD-pompen Laag		Vervangen pomp		Elektromotor		FO Uitgevallen									
	MTBF	50		20		14									
	Betrouwbaarheid per faalgeb.	0,9800			0,9500		0,9286								
	Betrouwbaarheid per component	0,8645													
				capaciteit	120 m3/h			3 pompen	stap	3		2	1		
	Falen	Betr. systeem	m3/h	MTBF agrg (j	Jaalkans (n/jaar)										
	Faalkans meerdere pompen	3	0,99751219	0	402	0,0025				1		3	3	0,646092936	0,101267314
		2	0,94989488	120	20,0	0,0501				1		3		0,646092936	0,101267314
		1	0,64609294	240	2,83	0,3539				1				0,646092936	
HD-pompen Hoog		Vervangen pomp		Elektromotor		FO Uitgevallen									
	MTBF	50		20		14									
	Betrouwbaarheid per faalgeb.	0,9800			0,9500		0,9286								
	Betrouwbaarheid per component	0,8645													
				capaciteit	130 m3/h			3 pompen	stap	3		2	1		
	Falen	Betr. systeem	m3/h	MTBF agrg (j	Jaalkans (n/jaar)										
	Faalkans meerdere pompen	3	0,99751219	0	402	0,0025				1		3	3	0,646092936	0,101267314
		2	0,94989488	130	20,0	0,0501				1		3		0,646092936	0,101267314
		1	0,64609294	260	2,83	0,3539				1				0,646092936	

Figuur 20 Systeembeschikbaarheid als gevolg van de uitval van HD-pompen voor Oosterbeek Laag en Oosterbeek Hoog

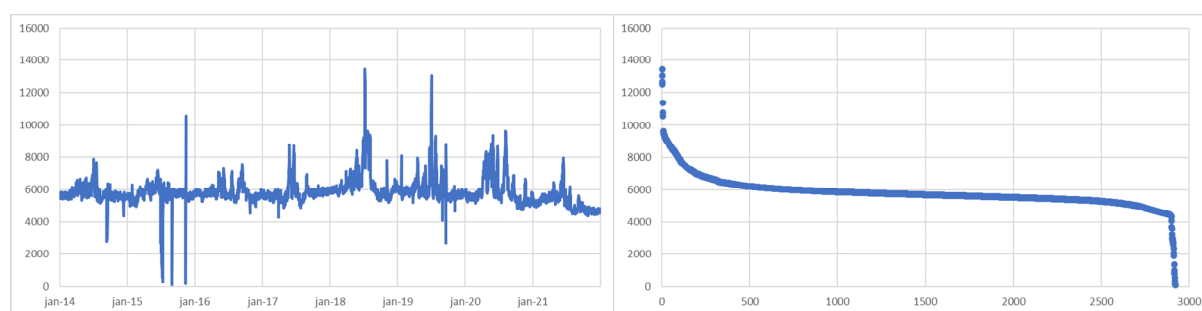
Voor de berekening van de beschikbaarheid van de scenario's 1, 2 en 3 kunnen de waarden aangehouden worden zoals bepaald in Tabel 14. De bijbehorende capaciteit die beschikbaar is, is 720 m³/u (gebaseerd op de 9 putten van 80 m³/u elk).

Tabel 14 Betrouwbaarheid van productielocatie Oosterbeek als gevolg van uitval van de gehele productielocatie

Uitvalscenario	Beschikbare capaciteit m³/u	Betrouwbaarheid (n/jaar)	Geaggregeerde MTBF (jaar)	Geaggregeerde faalkans (n/jaar)
1, energievoorziening en NSA	0	0,9429	17,5	0,0571
2, besturing (PA/ICT)	0	0,9429	17,5	0,0571
3, cruciale leidingbreuk	0	0,9737	38	0,0263

IV Dagverbruiken leveringsgebied Oosterbeek

Van Vitens zijn de uitgaande volumestromen verkregen van de productielocatie Oosterbeek van 2014 tot en met 2021, zie Figuur 21. Het gemiddelde over deze periode bedroeg 5820 m³/d. In overleg met Vitens is bepaald de periode van dinsdag 14 juli 2018 tot en met zaterdag 18 juli 2018 aan te houden als referentieperiode voor de maatgevende maximum dagen, zie Tabel 15. De reden om voor deze periode te kiezen is dat er zich gedurende vijf aaneengesloten dagen een hoog verbruik voordeed en dat de hoogste waarde een onderschrijdingkans kent van 99% (99% van de dagen heeft een lagere uitgaande hoeveelheid). Van de hoogste waarden (hoger dan 10.000 m³/d) is aangenomen dat het hier fouten of bijzondere situaties betrof.



Figuur 21 Volumestromen op 24-uur basis uitgaand productielocatie Oosterbeek voor de periode 2014 tot en met 2021(links). Volumestromen gesorteerd van hoog naar laag (rechts).

Tabel 15 Overzicht referentieperiode maatgevende maximum dagen (99% dag)

Dag	Volumestroom op dagbasis (m ³ /d)	Rangorde van deze dag	Onderschrijdingskans	Dagfactor
dinsdag 14 juli 2018	8402	67	97.71%	1,44
woensdag 15 juli 2018	8768	44	98.49%	1,51
donderdag 16 juli 2018	9041	27	99.08%	1,55
vrijdag 17 juli 2018	8436	63	97.84%	1,45
zaterdag 18 juli 2018	8514	56	98.08%	1,46

Als 90% dag wordt 28 augustus 2019 aangehouden. Dat wil zeggen dat binnen de reeks uitgaande volumestromen uit Oosterbeek van 2014 tot en met 2021, 90% van de dagen een lagere waarde kent. In Tabel 16 zijn de bijbehorende volumestromen weergegeven. De uitgaande hoeveelheid op Oosterbeek is 73% van de corresponderende dag in de referentieperiode.

Tabel 16 Overzicht referentieperiode maatgevende 90% maximum dagen

Dag	Volumestroom op dagbasis (m ³ /d)	Rangorde van deze dag	Onderschrijdingskans	Dagfactor
maandag 26 augustus 2019	7496	130	89%	1,29
dinsdag 27 augustus 2019	7196	164	82%	1,24
woensdag 28 augustus 2019	6635	293	73%	1,14
donderdag 29 augustus 2019	5650	1631	67%	0,97
vrijdag 30 augustus 2019	5971	794	70%	1,03

V Gebruikte pompgegevens

Pompstation Oosterbeek, levering aan Oosterbeek Hoog middels 4 pompen:

- *Pomp1: OBHoog130*
- *Pomp2: OBHoog130*
- *Pomp3: OBHoog130*
- *Pomp4: Nacht50*

Pompstation Oosterbeek, levering aan Oosterbeek Laag middels 3 pompen:

- *Pomp1: OBLaag120*
- *Pomp2: OBLaag120*
- *Pomp3: OBLaag120*

Reservoir Doorwerth, levering aan Oosterbeek Hoog middels 1 pomp:

- *Pomp1: Hee280*

OBHoog130		Nacht50		OBLaag120		Hee280	
Q (m³/u)	H (mwk)	Q (m³/u)	H (mwk)	Q (m³/u)	H (mwk)	Q (m³/u)	H (mwk)
0	118	0	95	0	79	0	14.3
20	117	10	94	20	78	50	14.2
40	116	20	93	40	77	100	14.1
60	114	30	90	60	76	150	13.9
80	112	40	84	80	74	200	13
100	106	50	76	100	70	250	11.2
120	100	60	64	120	66	300	8.6
140	92			140	62		

VI Inputfile Epanet

Hieronder is de inputfile weergegeven van het leidingnetmodel Oosterbeek. Vanwege de lengte van deze file is van de onderdelen [JUNCTIONS], [PIPES], [VALVES], [PATTERNS], [COORDINATES] en [VERTICES] slechts een deel weergegeven. **De onderdelen die door KWR zijn aangepast zijn geel gemarkeerd.**

[TITLE]

[JUNCTIONS]

```
;ID      Elevation  Demand Pattern
101812971  21.427  0.06258 GEN_09_04_Renkum_Heelsum ;
101812988  21.427  0 ;
1022459_1  33.816  0 ;
...
341927  28.885  0 ;
Pb_OoB_Arnh  14.55  0 ;
Pb_OoB_H_prv  14.55  0 ;
Pb_OoB_H  14.55  0 ;
Pb_OoB_L_prv  14.55  0 ;
Pb_OoB_L  14.55  0 ;
Pb_Wag  14.85  0 ;
Res_Dow  51  0 ;
Res_DoW_Dow  52.5  0 ;
Res_DoW_p_prv  52.5  0 ;
Res_DoW_p  52.5  0 ;
Res_DoW_z  54.5  0 ;
Pb_OoB_Arh_Q  14.55  0 ;
Res_Dow_Dow_Q  52.5  -1 GEN_09_Res_03_02_02_Vol_uit ;
Res_DoW_z_in_Q  32.5  1 GEN_09_Res_03_02_03 ;
Wag_OoB_Q  14.85  -1 GEN_10_Pomps_03_02_01_Vol ;
Pb_Ede_Q  28  1 GEN_08_Ede_Pomps_03_02_03_Vol ;
Pb_La_Cab  23.6  0 ;
GE-AMR-14579265-Q  15.075  1 GE-AMR-14579265-Q ;
GE-AMR-3547303-Q  10.531  1 GE-AMR-3547303-Q ;
GE-AMR-3554082-Q  20.281  1 GE-AMR-3554082-Q ;
Pb_La_Cab_Q  23.6  0 ;
Pb_OoB_hoog_P  14.55  -1 Flow_Pb_OoB_hoog_P ;
Pb_OoB_hoog.j1  14.55  0 ;
Pb_OoB_hoog.j2  14.55  0 ;
Pb_OoB_laag_P  14.55  -1 Flow_Pb_OoB_laag_P ;
Pb_OoB_laag.j1  14.55  0 ;
Pb_OoB_laag.j2  14.55  0 ;
Res_Dow_Hee_P  52.5  -1 Flow_Res_Dow_Hee_P ;
Res_Dow_Hee.j1  52.5  0 ;
Res_Dow_Hee.j2  52.5  0 ;
Res_Dow_Dow.j1  52.5  0 ;
Res_Dow_Dow.j2  52.5  0 ;
```

[RESERVOIRS]

```
;ID      Head Pattern
Pb_La_Cabine_P  1  GEO_06_Cab_Pomps_03_02_02_Druk ;
Pb_Wag_OoB_P  1  GEN_10_Pomps_03_02_01_Druk ;
```

[TANKS]

```
;ID      Elevation  Init Level  Min Level  Max Level  Diameter  Min Volume  Volume Curve  Overflow
Tk_OoB  14.55  3.57  1.00  6.15  16.012  0 ;
Tk_Dow  52.50  1.60  1.05  2.85  35.284  0 ;
```

[PIPES]

```
;ID      Node1      Node2      Length Diameter Roughness Minor Loss Status
Pb_OoB_hoog_P.Tk_OoB Pb_OoB_hoog_P Tk_OoB 1 400 0.01 0 Open ;
Tk_OoB.Pb_OoB_hoog.j1 Tk_OoB Pb_OoB_hoog.j1 1 400 0.01 0 Open ;
...
2527311_1.2527311_2.1 2527311_1 2527311_2 0.1134 103.4 1 0 Open ;
```

[PUMPS]

```
;ID      Node1      Node2      Properties
Pb_OoB_hoog.p1 Pb_OoB_hoog.j1 Pb_OoB_hoog.j2 HEAD OBHoog130 ;OB Hoog 130 bij 84
Pb_OoB_hoog.p2 Pb_OoB_hoog.j1 Pb_OoB_hoog.j2 HEAD OBHoog130 ;OB Hoog 130 bij 84
Pb_OoB_hoog.p3 Pb_OoB_hoog.j1 Pb_OoB_hoog.j2 HEAD OBHoog130 ;OB Hoog 130 bij 84
Pb_OoB_hoog.p4 Pb_OoB_hoog.j1 Pb_OoB_hoog.j2 HEAD Nacht50 ;Nacht 50 bij 70
Pb_OoB_laag.p1 Pb_OoB_laag.j1 Pb_OoB_laag.j2 HEAD OBLaag120 ;OB Laag 120 bij 55,5
```

Pb_OoB_laag.p2	Pb_OoB_laag.j1	Pb_OoB_laag.j2	HEAD OBLaag120	;OB Laag 120 bij 55,5
Pb_OoB_laag.p3	Pb_OoB_laag.j1	Pb_OoB_laag.j2	HEAD OBLaag120	;OB Laag 120 bij 55,5
Res_Dow_Hee.p1	Res_Dow_Hee.j1	Res_Dow_Hee.j2	HEAD Hee280	;Renkum 280
Res_Dow_Dow.p1	Res_Dow_Dow.j1	Res_Dow_Dow.j2	HEAD Dow200	;Doorwerth 200
Res_Dow_Dow.p2	Res_Dow_Dow.j1	Res_Dow_Dow.j2	HEAD Dow280	;Doorwerth 280

[VALVES]

;ID	Node1	Node2	Diameter	Type	Setting	Minor Loss
1022459_1.1022459_2.1	1022459_1	1022459_2	103	TCV		2.35 2.35 ;
1022503_1.1022503_2.1	1022503_1	1022503_2	103	TCV		2.35 2.35 ;
...						
411677_1.411677_2.1	411677_1	411677_2	461	TCV		2.35 2.35 ;
327411_1.327411_2.1	327411_1	327411_2	188	TCV		35 0 ;
1	342255	342206	150	PRV		40 1.5 ;
212330773_1.212330773_2.1	212330773_1	212330773_2	151	PRV		35 1.5 ;
Red_Do_Hev	1061479	382238	100	PRV		33 1.5 ;
Pb_OoB_H_prv.Pb_OoB_H	Pb_OoB_H_prv	Pb_OoB_H	400	PRV		73 0.1 ;
Pb_OoB_L_prv.Pb_OoB_L	Pb_OoB_L_prv	Pb_OoB_L	400	PRV		56 0.1 ;
Res_DoW_p_prv.Res_DoW_p	Res_DoW_p_prv	Res_DoW_p	250	PRV		5 0.1 ;

[TAGS]

;type name tag

[DEMANDS]

```
;ID Demand Pattern
1849443 0.82968 Renkum-Heelsum_AMR@;
1849443 0.143721 GEN_09_04_Renkum_Heelsum;GEN_09_04_Renkum_Heelsum
962704_1 0.791781 Oosterbeek-hoog_AMR@;
962704_1 0.025571 GEN_09_01_Oosterbeek_hoog;GEN_09_01_Oosterbeek_hoog
```

[STATUS]

;ID	Setting
Pb_OoB_hoog.p4	Closed
1026154_1.1026154_2.1	Closed
1035752_1.1035752_2.1	Closed
1048506_1.1048506_2.1	Closed
1062511_1.1062511_2.1	Closed
1066075_1.1066075_2.1	Closed
1067266_1.1067266_2.1	Closed
189872615_1.189872615_2.1	Closed
195622977_1.195622977_2.1	Closed
237318374_1.237318374_2.1	Closed
400872_1.400872_2.1	Closed
Pb_OoB_hoog.p4	Closed

[PATTERNS]

;ID	Multipliers
GEN_09_Pomps_03_02_01_Druk	86.885000 86.847000 86.808000 86.770000 86.731000 86.693000
GEN_09_Pomps_03_02_01_Druk	86.678000 86.702000 86.726000 86.749000 86.773000 86.797000
...	
GE-AMR-3563387-Q	0.88 0.85 0.82 0.79 1.0 0.65
GE-AMR-3563387-Q	0.31 0.31
Flow_Pb_OoB_hoog_P 217	
Flow_Pb_OoB_laag_P 352	
Flow_Res_Dow_Hee_P 274	
GEN_09_Res_03_02_02_Vol uit 125	

[CURVES]

;ID X-Value Y-Value

;PUMP: OBHoog130

OBHoog130	0.000000	118.000000 ;
OBHoog130	20.000000	117.000000 ;
OBHoog130	40.000000	116.000000 ;
OBHoog130	60.000000	114.000000 ;
OBHoog130	80.000000	112.000000 ;
OBHoog130	100.000000	106.000000 ;
OBHoog130	120.000000	100.000000 ;
OBHoog130	140.000000	92.000000 ;

;PUMP: Nacht50

Nacht50	0.000000	95.000000 ;
Nacht50	10.000000	94.000000 ;
Nacht50	20.000000	93.000000 ;
Nacht50	30.000000	90.000000 ;
Nacht50	40.000000	84.000000 ;
Nacht50	50.000000	76.000000 ;
Nacht50	60.000000	64.000000 ;

;PUMP: OBLaag120

OBLaag120	0.000000	79.000000 ;
OBLaag120	20.000000	78.000000 ;

```
OBLaag120 40.000000 77.000000 ;
OBLaag120 60.000000 76.000000 ;
OBLaag120 80.000000 74.000000 ;
OBLaag120 100.000000 70.000000 ;
OBLaag120 120.000000 66.000000 ;
OBLaag120 140.000000 62.000000 ;
```

```
;UNKNOWN: Dow200
```

```
Dow200 0.000000 34.500000 ;
Dow200 50.000000 34.400000 ;
Dow200 100.000000 34.300000 ;
Dow200 150.000000 34.000000 ;
Dow200 200.000000 32.000000 ;
Dow200 250.000000 27.500000 ;
Dow200 300.000000 23.000000 ;
```

```
;UNKNOWN: Dow280
```

```
Dow280 0.000000 40.500000 ;
Dow280 50.000000 40.400000 ;
Dow280 100.000000 39.500000 ;
Dow280 150.000000 37.500000 ;
Dow280 200.000000 34.000000 ;
Dow280 250.000000 28.000000 ;
Dow280 300.000000 22.500000 ;
```

```
;PUMP: Hee280
```

```
Hee280 0.000000 14.300000 ;
Hee280 50.000000 14.200000 ;
Hee280 100.000000 14.100000 ;
Hee280 150.000000 13.900000 ;
Hee280 200.000000 13.000000 ;
Hee280 250.000000 11.200000 ;
Hee280 300.000000 8.600000 ;
```

```
[CONTROLS]
```

```
[RULES]
```

```
[ENERGY]
```

```
GLOBAL EFFICIENCY 75.0000
GLOBAL PRICE 0.0000
DEMAND CHARGE 0.0000
```

```
[EMITTERS]
```

```
;ID Flow coefficient
```

```
[QUALITY]
```

```
[SOURCES]
```

```
;Node Type Quality Pattern
```

```
[REACTIONS]
```

```
;Type Pipe/Tank Coefficient
```

```
ORDER BULK 1
ORDER TANK 1
ORDER WALL 1
GLOBAL BULK 0.0000
GLOBAL WALL 0.0000
LIMITING POTENTIAL 0.0000
ROUGHNESS CORRELATION 0.0000
```

```
[MIXING]
```

```
;Tank ID Model Fraction
```

```
[TIMES]
```

```
DURATION 120:00:00
HYDRAULIC TIMESTEP 01:00:00
QUALITY TIMESTEP 00:00:00
PATTERN TIMESTEP 01:00:00
PATTERN START 00:00:00
REPORT TIMESTEP 01:00:00
REPORT START 00:00:00
START CLOCKTIME 00:00:00 AM
RULE TIMESTEP 00:06:00
STATISTIC NONE
```

```
[REPORT]
```

```
SUMMARY NO
PAGE 0
```

[OPTIONS]

UNITS CMH
HEADLOSS D-W
SPECIFIC GRAVITY 1
VISCOSITY 1
TRIALS 40
ACCURACY 0.01
CHECKFREQ 2
MAXCHECK 10
UNBALANCED CONTINUE 10
DEMAND MULTIPLIER 1
DEMAND MODEL PDA
MINIMUM PRESSURE 5.00
REQUIRED PRESSURE 20.00
PRESSURE EXPONENT 0.8121
EMITTER EXPONENT 0.5
QUALITY NONE
DIFFUSIVITY 1
TOLERANCE 0.01

[COORDINATES]

;Node X-Coord Y-Coord
101812971 178961.540000000 443469.470000000
101812988 178959.540000000 443469.340000000
...
Tk_Dow_Hee 182832.085000000 443145.632000000

[VERTICES]

;Link X-Coord Y-Coord
1022459_1.1029440.1 186164.010000000 443999.800000000
1022503_1.1023022.1 185001.150000000 444350.970000000
...
401114_1.401114_2.1 183613.860000000 447634.040000000

[LABELS]

186969.831	443535.604	"Hoog"
186965.918	443535.169	"Laag"
186490.553	444026.976	"GE-MOEM"
185385.978	445015.124	"GE-MOJA"
179596.704	444225.586	"GE-MRED"

[BACKDROP]

DIMENSIONS 174557.063 441314.407 188335.377 452460.124
UNITS NONE
OFFSET 0.00 0.00

[END]